

*Département de Génie Mécanique*

*Faculté de Technologie*

Mémoire présenté en vue de l'obtention du  
**Master en génie thermique et énergie renouvelables**

THEME DU MEMOIRE

**Etude d'une installation solaire pour une  
maison individuelle dans le site de TLEMEN**

Présenté par :

M<sup>lle</sup> BEKHECHI Nihel

Soutenu le

Président: Monsieur AZZI AHED

Encadreur : ALIANE KHALED

Examineurs : BENMOUSSAT ABDERRAHIM  
BENRAMDANE MOHHAMED

# REMERCIEMENTS

*Avant tout nous remercions le bon dieu nous avoir donné la chance d'étudier et de progresser chaque jour de notre vie.*

*On s'adresse notre plus sincère remerciement à notre encadreur Monsieur **ALIAN Khaled** Professeur à l'université de Tlemcen faculté de Technologie pour ses conseils précieux, son aide et sa grande patience*

*Nous tenons à exprimer nos respectueuses gratitudees à Monsieur **AZZI AHMED** professeur à l'université de Tlemcen faculté de Technologie, qui nous donne le privilège de l'avoir comme président de jury.*

*Nos remerciements s'adressent également à Monsieur **BENRAMDANE MOHAMMED** professeur à l'université de Tlemcen faculté de Technologie d'avoir bien voulu accepter d'examiner ce travail et de faire partie du jury.*

*Nous remercions Monsieur **BENMOUSSAT ABDERRAHIM** professeur à l'université de Tlemcen faculté de Technologie d'avoir accepté de nous faire l'honneur de juger ce travail et participer à notre jury de ce mémoire.*

# SOMMAIRE

---

<b>Sommaire</b> .....	I
<b>Liste des figures</b> .....	VII
<b>Liste des tableaux</b> .....	XIII
<b>Nomenclatures</b> .....	XIV
<b>Introduction générale</b> .....	1
<b>Chapitre I : Généralités sur le gisement solaire, les énergies renouvelables et l'énergie solaire</b>	
I-1 Introduction.....	4
I-2 Le rayonnement solaire.....	4
I-3 La géométrie solaire.....	5
I-3-1 Le système terre-soleil.....	5
I-4 La sphère céleste.....	6
I-5 Coordonnées célestes.....	6
I-5-1 Coordonnées géographiques.....	6
I-5-2 Coordonnées horaires.....	8
I-5-3 Coordonnées horizontales.....	9
I-6 Temps solaires.....	9
I-7 Estimation horaires de l'ensoleillement.....	10
I-7-1 Répartition du rayonnement solaire.....	10
I-7-2 Direction d rayonnement solaire.....	13

# SOMMAIRE

---

I-8	Caractéristiques géographiques de la ville de Tlemcen.....	14
I-9	Les énergies renouvelables.....	15
I-9-1	Définition.....	15
I-9-2	Les différents types d'énergies renouvelables.....	16
I-9-3	Importance des énergies renouvelables.....	19
I-10	Energie solaire.....	20
I-11	L'Algerie et l'énergie solaire.....	21
I-12	Conclusion.....	21
 <b>Chapitre II : Les capteurs solaires</b>		
II-1	Introduction.....	22
II-2	Conversion thermique.....	22
II-2-1	Les capteurs solaires thermiques.....	22
II-2-2	Les types de capteurs solaires thermiques.....	24
II-2-3	Les capteurs solaires plans.....	26
II-3	Conversion photovoltaïque.....	30
II-3-1	La cellule photovoltaïque.....	31
II-3-2	Principe de la cellule photovoltaïque .....	32
II-3-3	Les différentes technologies.....	32
II-3-4	Systeme amorphes : avantages et limites.....	34
II-4	Les paramètres influant sur le fonctionnement d'un capteur solaire.....	35

# SOMMAIRE

---

II-4-1 Les paramètres internes.....	35
II-4-2 Les paramètres externes.....	37
II-5 Pertes thermiques dans un capteur solaire plan.....	38
II-5-1 Pertes par convection.....	38
II-5-2 Pertes par conduction.....	39
II-5-3 Pertes par rayonnement.....	39
II-5-4 Evaluation du coefficient des pertes vers l'avant.....	40
II-5-5 Evaluation du coefficient des pertes vers l'arrière.....	41
II-6 Capteur solaire par concentration.....	42
II-6-1 Capteur solaire parabolique.....	42
II-6-2 Capteur solaire cylindro-paraboliques.....	44
II-6-3 Centrale à tour.....	45
II-7 Conclusion.....	45

## **Chapitre III : Chauffage et climatisation par voie solaire**

III-1 Introduction.....	46
III-2 Chauffage solaire.....	46
III-2-1 La production directe de la chaleur pour l'habitat.....	46
III-2-2 Le chauffage solaire des maisons.....	48
III-2-3 Le mur de Trombe-Michel.....	49
III-2-4 Système de chauffage solaire.....	51

# SOMMAIRE

---

III-3Climatisation solaire.....	54
III-3-1Compsantes de système de climatisation solaire.....	54
III-3-2Sous système de distribution et équipements de conditionnement d'air..	54
III-3Les batteries froides à eau glacée.....	59
III-3-4Système de production de froid.....	60
III-3-4-1Groupes de production frigorifique conventionnelle.....	60
III-3-4-2Description du cycle.....	61
III-3-5Utilisation des machines frigorifiques à compression mécanique.....	62
III-3-6Groupes de production frigorifique à sorption.....	63
III-3-7Groupes de production frigorifique à absorption.....	63
III-3-7-1Description du cycle à absorption pour le couple eau/LiBr.....	64
III-3-7-2Principaux couples les fluides frigorigène/absorbant.....	65
III-3-7-3Utilisation de l'énergie solaire dans une machine à absorption.....	66
III-3-7-4L'efficacité énergétique ou COP froid.....	67
III-3-8Groupess de production de froid à adsorption.....	67
III-3-8-1Description du cycle à adsorption.....	68
III-3-8-2Utilisation de l'énergie solaire dans une machine à adsorption.....	71
III-3-8-3L'efficaciédu cycle ou COP froid.....	72
III-3-9Rafrachissement évaporaït potentialisé par dessication.....	72
III-3-10Le stockage de froid.....	74

# SOMMAIRE

---

III-3-11 Configuration générales des systèmes de climatisation solaire.....75

III-4 Conclusion.....76

## **Chapitre IV : Calculs du conditionnement d'air**

IV-1 Calculs des déperditions de l'habitat.....77

IV-1-1 Les caractéristiques des parois et les toitures .....78

IV-1-2 Calcul de du coefficient de déperdition volumique (G) .....79

IV- 2 Calcul des besoins en chauffage la saison hivernale.....83

IV-2-1 Calcul des besoins nets mensuels de chauffage de la maison .....83

IV- 3 Conditionnement d'hiver.....84

IV-3-1 Détermination des caractéristiques de l'air soufflé .....84

IV-3-2 Détermination des caractéristiques du mélange.....85

IV-3-3 Traitement de l'air.....86

IV-3-4 Caractéristiques des appareils.....88

IV-3-5 Calcul et dimensionnement de la batterie chaude.....88

IV-3-5-1 Calcul de la conductance vers l'avant.....88

IV-3-5-2 Calcul de l'efficacité du capteur.....91

IV-3-5-3 Détermination du nombre des capteurs solaires.....92

IV-4 Conditionnement d'été .....93

IV-4-1 Détermination des caractéristiques de l'air soufflé .....93

IV-4-2 Détermination des caractéristiques du mélange.....94

IV-4-3 Traitement de l'air.....94

IV-4-4 Caractéristiques des appareils .....95

IV-4-5 Calcul et dimensionnement de la batterie froide.....96

IV-4-5-1 Fonctionnement de la machine à absorption.....96

IV-4-5-2 Estimation du coefficient de performance.....105

# SOMMAIRE

---

## **Chapitre V : Simulation de la circulation d'air**

V-1 Introduction.....	107
V-1-1 Présentation de Gambit.....	107
V-1-1-1 Démarrage de Gambit.....	107
V-1-1-2 Construction de la géométrie.....	108
V-1-3 Présentation de Fluent.....	109
V-2 Simulation et interprétation des résultats.....	117
<b>Conclusion générale.....</b>	<b>128</b>
<b>Références.....</b>	<b>129</b>

# SOMMAIRE

---

# INTRODUCTION GENERALE

*« Rien ne se perd, rien ne se crée, tout se transforme ». Si scientifiquement l'énergie ne se crée ni ne se perd, il convient de porter toute notre attention sur les causes et effets de sa transformation en réduisant au maximum l'effet de l'entropie.*

*Les causes de la transformation de l'énergie sont essentiellement le besoin et la consommation de plus en plus croissante de l'humanité en ressources énergétiques, surtout depuis l'ère industrielle, que ce soit sous forme de sous-produits énergétiques matériels ou immatériels comme l'électricité ou la chaleur. Or les ressources énergétiques transformées provenaient essentiellement des sources d'énergies conventionnelles telles que l'énergie nucléaire ou les combustibles fossiles (charbon, pétrole et gaz naturel). Qui, à l'exception du nucléaire, sont des formes d'énergie solaire transformées depuis des milliards d'années. Leur renouvellement naturel ne peut rattraper la vitesse de leur épuisement. La transformation de l'énergie de plus en plus croissante et les moyens techniques employés avaient bien entendu des effets sur un système fermé tel que la planète terre.*

*Face aux prévisions d'épuisement inéluctable des ressources mondiales en énergie fossile, en énergie d'origine thermonucléaire aux multiples crises pétrolières, économiques, aux changements climatiques dus à l'effet de serre, la science c'est tout naturellement intéressée aux moyens et les méthodes respectant le long terme, à savoir les énergies dites renouvelables, nouvelles ou propres ont été redécouvertes et développées et sont redevenues attractifs, surtout depuis le choc pétrolier de 1973. On peut regrouper les sources d'énergie renouvelables en cinq secteurs traditionnels : le solaire (photovoltaïque et thermique), l'éolien, l'hydraulique (marémotrice et autres courants), la géothermique et la biomasse.*

*Par définition les énergies renouvelables sont inépuisables et donc non-fossiles. A leur base, on retrouve l'énergie solaire qui est responsable des énergies de mouvements (du vent et de l'eau) et matérialisée dans la biomasse, mais on ne peut pas exclure de nouvelles éventuellement découvertes dans l'avenir. L'optimum serait qu'elles soient 100% propres (ce qui inclut aussi le cycle de vie des installations de production et de transformation), ne présentent pas de risques ou inconvénients à court, à long et encore plus long terme, et qu'elles soient socialement et économiquement viables.*

*Le soleil est notre bonne étoile. C'est notre grand, et presque unique, pourvoyeur d'énergie sur Terre.*

*Bien sûr, le soleil nous chauffe et nous éclaire, mais il est aussi responsable du déplacement des masses d'air (l'énergie éolienne). Il est le moteur du cycle de l'eau, qui actionne les turbines de nos barrages hydro-électriques. Enfin, grâce*

# INTRODUCTION GENERALE

*aux plantes qui utilisent sa lumière pour convertir les éléments minéraux en aliments, l'énergie solaire entre dans toutes les chaînes alimentaires.*

*L'énergie solaire est l'énergie la plus répandue et la plus répartie dans le monde. En une année, l'humanité entière consomme 10 milliards de Tonnes équivalent pétrole (Tep). Cette quantité représente moins de 3 % de ce que le Soleil nous envoie gratuitement chaque jour.*

*Cette énergie est renouvelable tant que le soleil brillera, soit encore 4,5 milliards d'années, Et, autre avantage, leur utilisation ne rejette pas de gaz à effet de serre.*

*En fonction du type de rayonnement solaire, et de la technique utilisée, l'énergie solaire peut permettre de produire de la chaleur ou de l'électricité, elle n'a pas besoin de technologie de pointe pour son utilisation, propre ,non polluante disponible dans l'ensemble du globe terrestre différente intensité bien sûr .*

*Cependant il y a un certain nombre de facteurs rendent son exploitation difficile, principalement l'intermittence du rayonnement solaire et sa variation journalière et même suivant l'année, en effet l'énergie solaire reste tributaire des conditions météorologiques de plus il y a un déphasage entre les besoins en énergie (chaleur) et les apports générés par l'énergie solaire et vu cette indisponibilité il faut toujours prévoir un appoint en énergie pour chaque utilisation, les systèmes solaires sont souvent assistés énergétiquement.*

*Notre travail s'intéresse au côté thermique de l'énergie solaire ou cette dernière est transformée en chaleur à basse et moyenne températures, par des capteurs plans usant conjointement l'absorption par une surface sélective et l'effet de serre crée par un vitrage et servant à chauffer et climatiser l'habitation.*

*Le but de ce travail est la contribution à l'étude, la simulation d'une installation solaire pour une maison se trouvant dans le site de tlemcen.*

*Dans ce contexte nous abordons le sujet en cinq chapitres plus une introduction et une conclusion.*

***Au premier chapitre :***

*Ce chapitre présente les bases indispensables à la compréhension du sujet. Nous aborderons ainsi en premier lieu quelques notions sur la source d'énergie que présentent le soleil, et son application dans les différents domaines athéistiques de fonctionnement, ainsi que les énergies renouvelables et l'énergie solaire.*

***Le deuxième chapitre :***

*Ce chapitre est consacré pour les descriptions des différents types des capteurs solaires et surtout le capteur thermique plan et les différents éléments qui le constituent ainsi que ses paramètres et ses caractéristiques de fonctionnement et à la fin le chapitre se terminent par les bilans thermiques d'un capteur solaire thermique plan d'autres capteurs solaires thermiques.*

# INTRODUCTION GENERALE

***Au troisième chapitre :***

*Nous avons présentée des systèmes de chauffage et climatisation pour l'habitat et nous avons proposé un système de chauffage combiné puis nous avons présentée chaque sous système, et la climatisation avec ces composantes et équipements.*

***Pour le quatrième chapitre :***

*Dans ce chapitre nous avons procéder aux calculs des déperditions de l'habitat Ainsi que les besoins en chauffage, des conditionnements d'hiver et d'étés, le traitement de l'air et les calculs de dimensionnement du capteur solaire.*

***Le cinquième chapitre:***

*Dans ce chapitre nous avons exposé les aboutissements de la simulation avec discussion et interprétation des résultats obtenus pour le chauffage et la climatisation pour mieu connaitre la circulation et le mouvement d'air à l'intérieur de l'habitat.*

## I-1 Introduction

La caractérisation et le développement des capteurs solaires nécessitent une certaine connaissance à savoir l'énergie solaire issue du rayonnement solaire global. Pour cela on a commencé par un aperçu sur le rayonnement solaire, et quelques notions sur le gisement solaire comme la géométrie solaires, les données astronomiques.

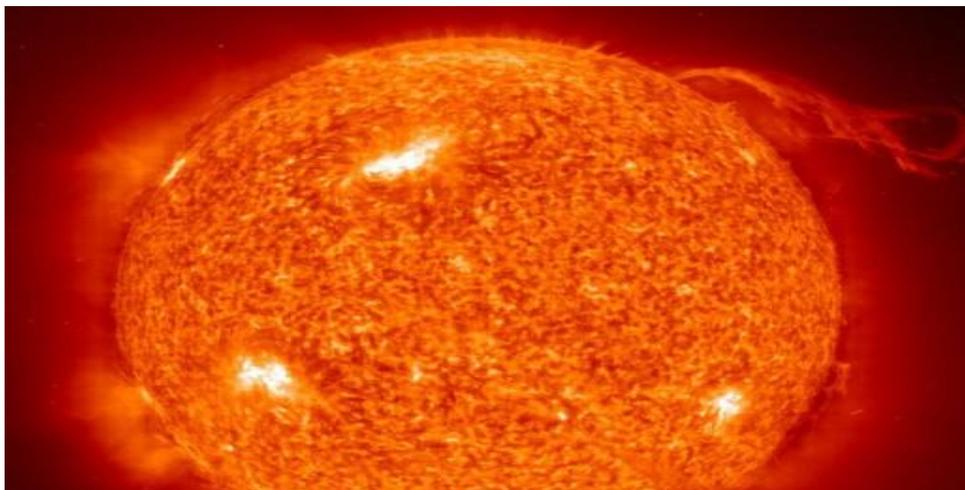
## I-2 Le rayonnement solaire

- **La source (le soleil)**

La connaissance de la vie des Etoiles nous permet d'évaluer l'avenir de notre soleil. Sa composition chimique est connue, et large prédominance d'hydrogène nous permet d'envisager l'avenir au-delà de quatre milliard d'année :

91,2%d'hydrogène ; 7,8%d'hélium ; 0,1%d'autres gaz : oxygène, azote, néon, fer, silicium, magnésium, soufre, autres.

Les éléments dominants de la matière minérale et organique sont : l'oxygène, hydrogène, hélium, aluminium, nickel, silicium, fer ,carbone azote, magnésium, sodium, potassium, soufre, et phosphore. Le rayonnement solaire peut être assimilé au rayonnement d'un corps noir à une température de 5777k [1]



*Figure 1.1 : le soleil*

## I-3 La géométrie solaire

### I-3-1 Le système Terre-Soleil

La Terre décrit en un an une orbite de 940 millions de km autour du soleil à une distance de 150 millions de km environ de celui-ci (Unité Astronomique) et à une vitesse de 30 km/s. Ce plan de rotation est le plan de l'écliptique. Tout en tournant autour du Soleil, la Terre tourne sur elle-même en 23 h 56 mn 4 s selon un axe nord-sud incliné de  $23^{\circ} 27'$  par rapport à celui de l'écliptique. Malgré un rapport de diamètre de près de 110 (1 400 000 km pour le soleil, 12 800 km pour la Terre), le croquis ci-dessus représente au mieux ce système : la terre est grossie et son orbite réduite, mais les angles sont respectés car cette diminution de la distance Terre-Soleil compense la différence des diamètres (ce qui, d'ailleurs rend possible l'éclipse. La terre traverse le grand axe de l'ellipse le 2 Janvier (position la plus proche) et le 2 Juillet (la plus éloignée du soleil). On appelle déclinaison l'angle formé par l'axe terre-soleil avec un plan de l'équateur à un moment donné de l'année. La déclinaison vaut donc :  $+23^{\circ}27'$  au solstice d'été,  $-23^{\circ}27'$  au solstice d'hiver, et elle est nulle aux équinoxes. Dans l'approximation d'une trajectoire circulaire.

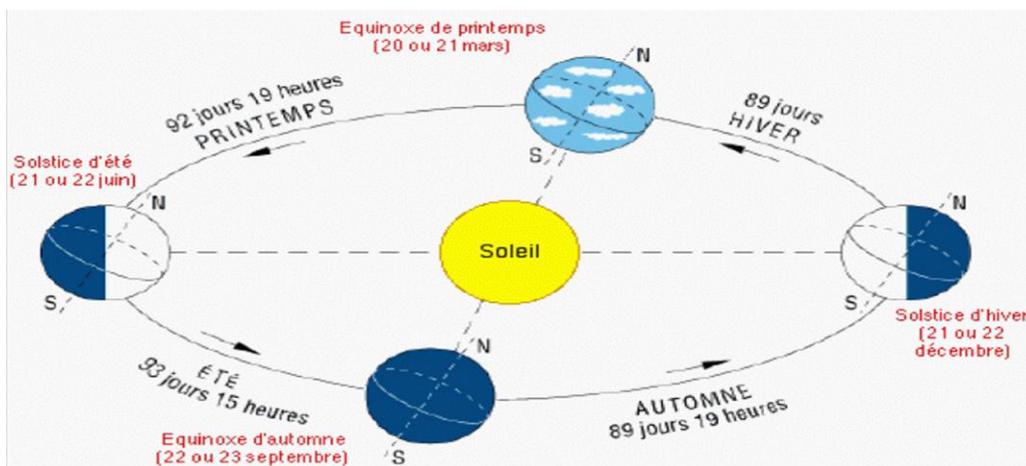


Figure 1. 2 : Plan de l'écliptique et l'orbite des saisons

## I-4 Sphère céleste

La sphère céleste est une sphère imaginaire de rayons quelconques et dont le centre est occupé par la Terre. Ce concept astronomique, hérité de l'antiquité, permet de représenter tous les astres tels qu'on les voit depuis la Terre. Ainsi, il est possible de positionner les astres dans le ciel en leur attribuant des coordonnées uniques.

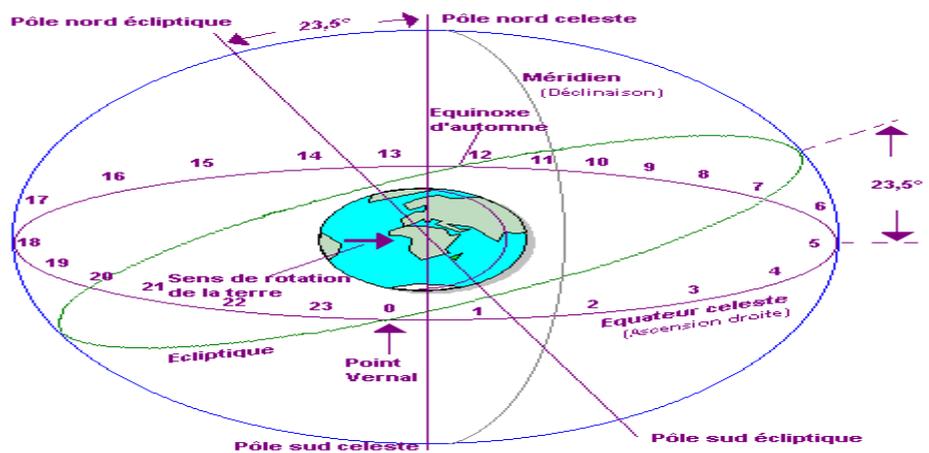


Figure 1. 3 : La sphère céleste

## I-5 Coordonnées célestes

### I-5-1 Coordonnées géographiques

Sont des coordonnées angulaires qui permettent le repérage d'un point sur la terre. (Figure 1-4)

#### a. La longitude (L)

La longitude d'un lieu correspond à l'angle formé par deux plans méridiens (passant par l'axe des pôles), l'un étant pris comme origine (méridien de Greenwich  $0^\circ$ ) et l'autre déterminé par le lieu envisagé.

La longitude d'un lieu peut aussi être comprise entre  $-180^\circ$  et  $+180^\circ$ , à tout écart de  $1^\circ$  de longitude correspond à un écart de 4 minutes de temps.

On affecte du signe (+) les méridiens situés à l'est de ce méridien, et du signe (-) les méridiens situés à l'ouest. [3]

# Chapitre I : généralités sur le gisement solaire, les énergies renouvelables et l'énergie solaire

## b. La latitude ( $\phi$ )

L'angle de latitude est l'angle entre une ligne tracée d'un point sur la surface de la terre avec le centre de cette dernière, et le cercle équatorial de la terre. L'intersection du cercle équatorial avec la surface de la terre forme l'équateur, est indiquée en tant que latitude de  $0^\circ$ , le pôle nord par latitude  $+90^\circ$  et le pôle sud par la latitude  $-90^\circ$ .

Cette convention de signe affecte le signe (+) à tous les lieux de l'hémisphère nord et le signe (-) tous les lieux de l'hémisphère sud. La latitude sera désignée ici par lettre ( $\phi$ ), et peut ainsi être composé entre  $-90^\circ$  et  $+90^\circ$ . Permet de repérer la distance angulaire d'un point quelconque à l'équateur. [3]

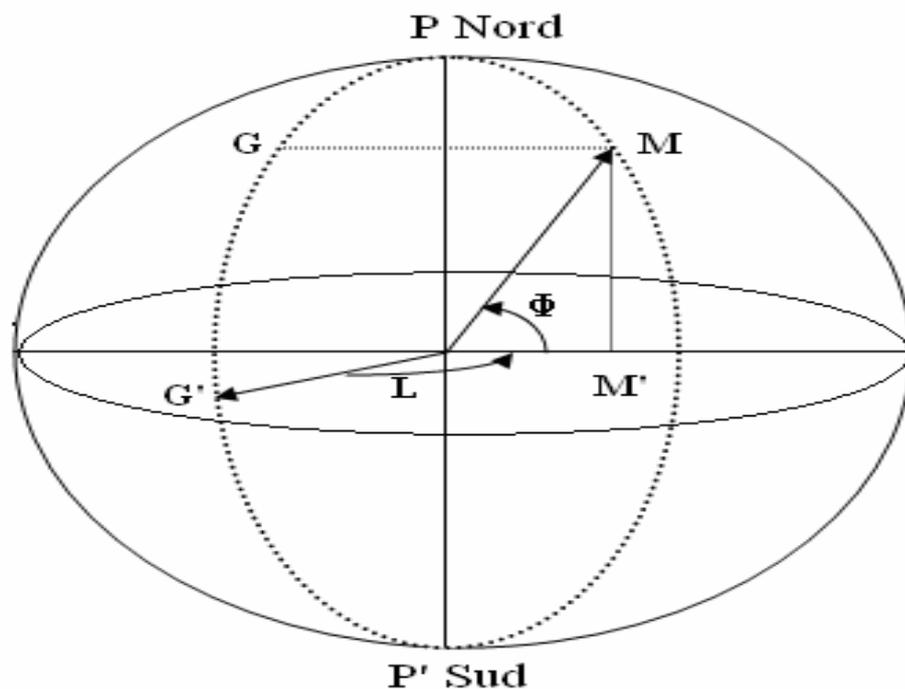


Figure 1.4 : Les coordonnées géographiques

## c. L'altitude

L'altitude d'un point correspond à la distance verticale en mètre entre ce point et une surface de référence théorique (niveau moyen de la mer).

## I-5-2 Coordonnées horaires

### a. L'angle horaire ( $\omega$ )

Est déterminé par la rotation régulière de la terre autour de son axe .Elle est comptée positivement dans le sens rétrograde de 0 à +360°, une heure sidérale vaut donc 15° d'angle et  $\omega = 0^\circ$  (12<sup>h</sup>.00) au méridien de Greenwich.

### b. La déclinaison ( $\delta$ )

C'est l'angle fait par le plan de l'équateur avec celui de l'écliptique. Elle est variée au cours de l'année de +23°27' à -23°27'et détermine l'inégalité des durées des jours.  $\delta$  est donnée par la relation suivante [5, 6, 7,8] :

$$\delta = 23,45. \sin\left[\frac{360}{365} \cdot (N + 284)\right] \quad (1.1)$$

Avec :

N : Le numéro du jour dans l'année compté à partir du 1<sup>er</sup> janvier (1 à 366).

Elle est comptée positivement de 0 à +90° de (E) vers P (pole boréal), et négativement de 0 à -90° de (E) vers P' (pole austral).

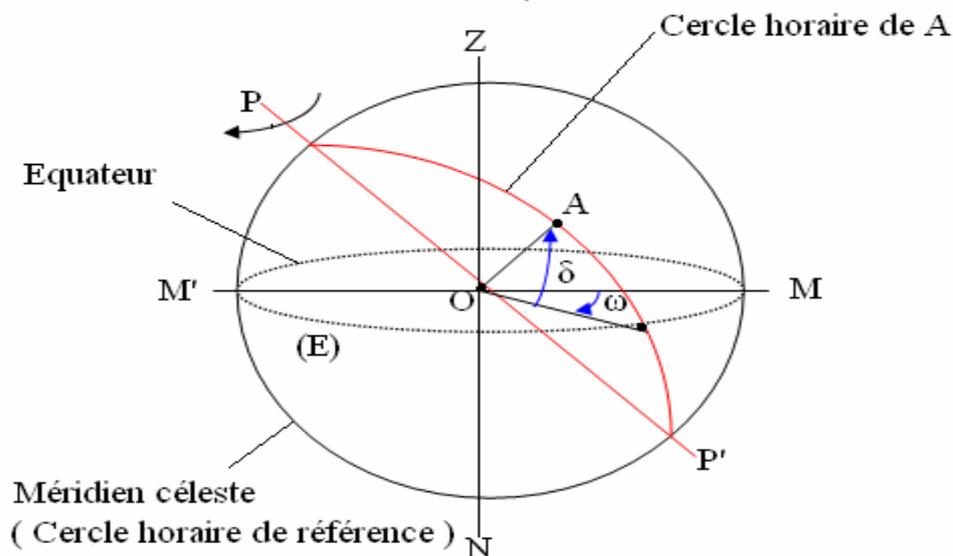


Figure 1. 5 : les coordonnées horaires

## I-5-3 Coordonnées horizontales

- a. La hauteur (h):** est l'angle entre la direction du soleil et sa projection. Elle est comptée positivement de 0 à +90° vers le zénith et négativement de 0 à -90° vers le nadir. Exprimée par la relation suivante :

$$\sinh = \sin\phi . \sin\delta + \cos\phi . \cos\delta . \cos\omega \quad (1.2)$$

- b. L'azimut (a) :** est l'angle entre la direction de soleil et la direction de sud. On peut le compter positivement de 0 à +180° vers l'ouest et négativement de 0 à -180° vers l'est. Donnée par la relation suivante :

$$\sin a = \frac{\cos\delta . \sin\omega}{\cosh} \quad (1.3)$$

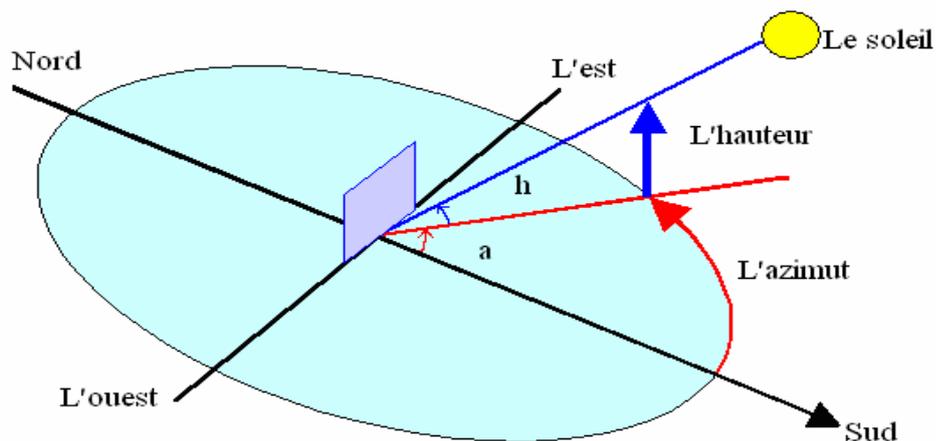


Figure 1.6 : les coordonnées horizontales

## I-6 Temps solaires

- **Temps solaire vrai ou apparent (TSV)**

Le temps solaire vrai ou apparent est basé sur le jour solaire apparent, qui est la durée entre deux retours successifs du Soleil au méridien local. Cette durée varie tout au long de l'année pour deux raisons :

# Chapitre I : généralités sur le gisement solaire, les énergies renouvelables et l'énergie solaire

---

L'inclinaison de l'axe de la Terre par rapport au plan de l'écliptique l'excentricité de l'orbite de la Terre .A cause de ces particularités, les jours solaires apparents sont plus courts en mars et septembre qu'en juin ou décembre. Il ne faut pas confondre le temps solaire vrai avec la durée d'ensoleillement qui varie en fonction de la latitude et de la saison.

- **Temps solaire moyen (TSM)**

Le temps solaire moyen est basé sur un soleil moyen fictif qui se déplacerait autour de l'équateur à vitesse constante tout au long de l'année. Cette moyenne est de 24 heures.

- **Temps civil**

Le temps civil est le temps moyen avec l'origine à minuit.

- **Équation du temps**

La différence entre le temps solaire moyen et le temps solaire apparent est appelée l'équation du temps. Sur Terre, elle varie entre 17 minutes en moins et 14 minutes en plus.

## **I-7 Estimations horaires de l'ensoleillement**

### **I-7-1 Répartition du rayonnement solaire**

Le rayonnement solaire est affaibli par la réflexion, les diffusions multiples et l'absorption par les particules de poussière et les molécules de gaz. Le rayonnement solaire est ainsi divisé en deux composantes :

$$G_g = G_{dir} + G_{dif} \quad (1.4)$$

Où :  $G_g$  : est le rayonnement solaire global.  
 $G_{dir}$  : est le rayonnement solaire direct.  
 $G_{dif}$  : est le rayonnement solaire diffus.

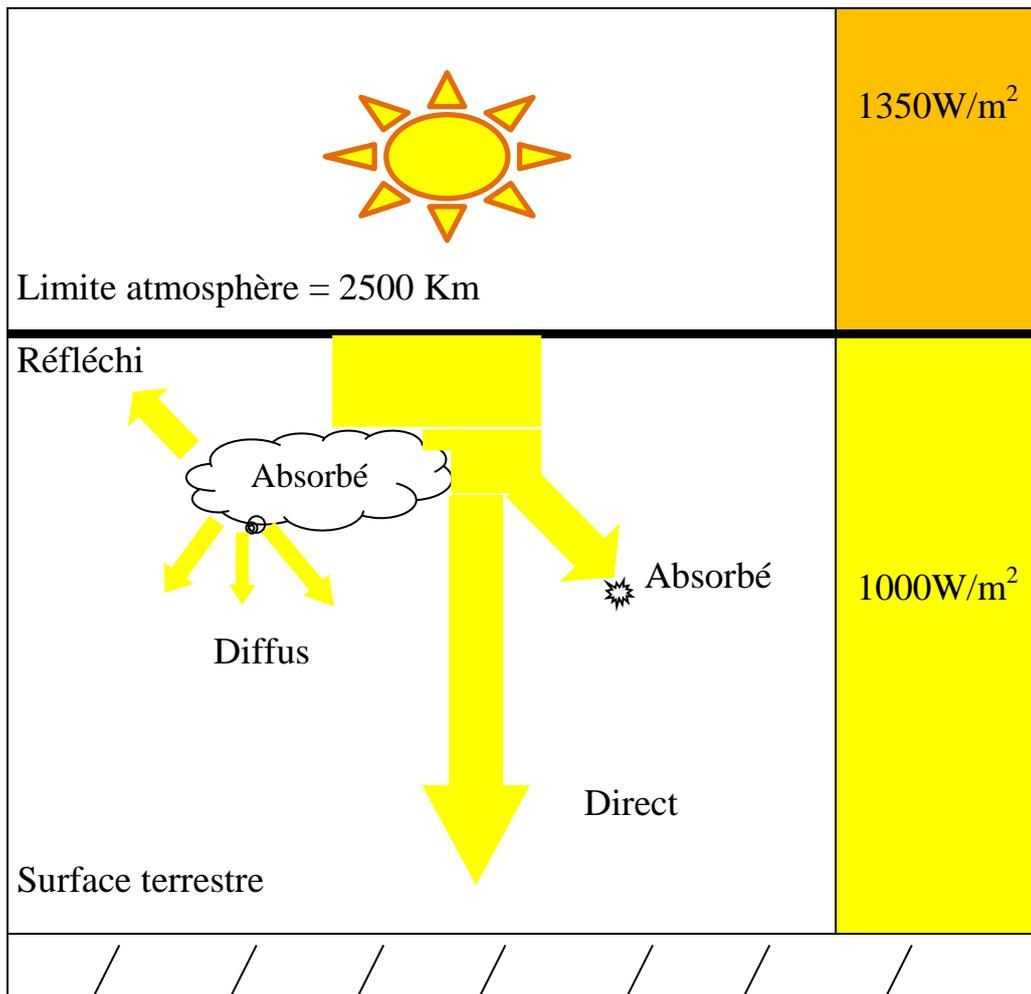


Figure 1. 7 : Schéma du rayonnement direct, diffus et global

### a. le rayonnement direct

C'est-à-dire la part du rayonnement qui traverse l'atmosphère sans rencontrer d'obstacles.

La relation suivante donne l'expression du rayonnement solaire direct [4] :

$$G_{\text{dir}} = I_c \cdot a \cdot \cos\theta \cdot \exp[-b/\sin h] \quad (1.5)$$

Tel que :

$\theta$  : l'angle incident.

h : la hauteur du soleil.

# Chapitre I : généralités sur le gisement solaire, les énergies renouvelables et l'énergie solaire

a et b sont des coefficients de trouble du ciel dont les valeurs sont données dans le tableau suivant :

	<b>Condition normales</b>	<b>Ciel dégagé et très pur</b>	<b>Zone industrielle</b>
<i>a</i>	0,88	0,87	0,91
<i>b</i>	0,26	0,17	0,43

Tableau 1-1 : coefficients de trouble du ciel [4]

## b. le rayonnement diffus

C'est-à-dire la part du rayonnement solaire qui est réfléchi ou absorbée par les particules de poussière et les molécules de gaz et atteint la surface de la terre dans tous les sens.

La relation suivante donne l'expression du rayonnement solaire diffus :

$$G_{\text{dif}} = \alpha_0 \cdot \frac{1 + \cos\beta}{2} + alb \cdot (I_0 \cdot \sinh + \alpha_0) \cdot \frac{1 - \cos\beta}{2} \quad (1.6)$$

Avec:

$$\alpha_0 = I_0 \cdot \sinh [0,271 - 0,2939 \cdot \exp(-b/\sinh)] \quad (1.7)$$

$\beta$ : l'inclinaison du capteur solaire  
 $alb$ : est l'albédo du sol

### ➤ L'albédo

L'albédo du sol est le rayonnement qui est réfléchi par le sol ou par des objets se trouvant à sa surface. Cet albédo peut être important lorsque le sol est particulièrement réfléchissant (eau, neige).

# Chapitre I : généralités sur le gisement solaire, les énergies renouvelables et l'énergie solaire

$$\text{Albédo} \quad alb = \frac{\text{énergie réfléchie}}{\text{énergie reçue}} \quad (1.8)$$

Ainsi pour un corps noir parfait, l'albédo est nul.

Nature du sol	Albédo
Neige fraîche	0,50 à 0,70
Sol rocheux	0,15 à 0,25
Sol cultivé	0,07 à 0,14
Foret	0,06 à 0,20
Etendue d'eau	0,05
Neige ancienne	0,8 à 0,9

Tableau 1.2 : Albédo typique de différents types de surfaces.

## I-7-2 Direction du rayonnement solaire

Soit un plan quelconque sur la terre à un instant quelconque. Repérons sa position par les deux angles  $\beta$ ,  $\alpha$ , Figure (1-8), tel que :

$\theta$  : angle de l'incidence.

$\beta$  : angle entre le plan horizontal et le plan considéré (inclinaison du capteur).

$\gamma$  : angle entre le méridien local et la normale (azimut du capteur)

$\vec{N}$  : Vecteur unitaire porté par la direction des rayons solaires.

$\vec{n}$  : Vecteur unitaire porté par la normale de la surface.

L'angle de l'incidence et la hauteur du soleil sont définis par les formules suivantes [4, 5, 7, 8] :

$$N.n = N.n \cdot \cos(i) \quad (1.9)$$

# Chapitre I : généralités sur le gisement solaire, les énergies renouvelables et l'énergie solaire

$$\cos \theta = \sin \delta \cdot \sin \phi \cdot \cos \beta + \cos \delta \cdot \cos \phi \cdot \cos \beta \cdot \cos \omega + \cos \delta \cdot \sin \beta \cdot \sin \gamma \cdot \sin \omega - \sin \delta \cdot \cos \phi \cdot \sin \beta \cdot \cos \gamma + \cos \delta \cdot \sin \phi \cdot \sin \beta \cdot \cos \gamma \cdot \cos \omega \quad (1.10)$$

Avec :

$\gamma = 0$  : Vers le sud,  $\gamma < 0$  : Vers le l'Est,  $\gamma > 0$  : Vers le l'Ouest.

$\beta > 0$  : Le plan regarde l'équateur,  $\beta = 90$  : Pour un plan vertical,  $\beta = 0$  : Pour un plan horizontal.

$\omega = 0$  : Au midi solaire,  $\omega < 0$  : Le matin,  $\omega > 0$  : Après midi.

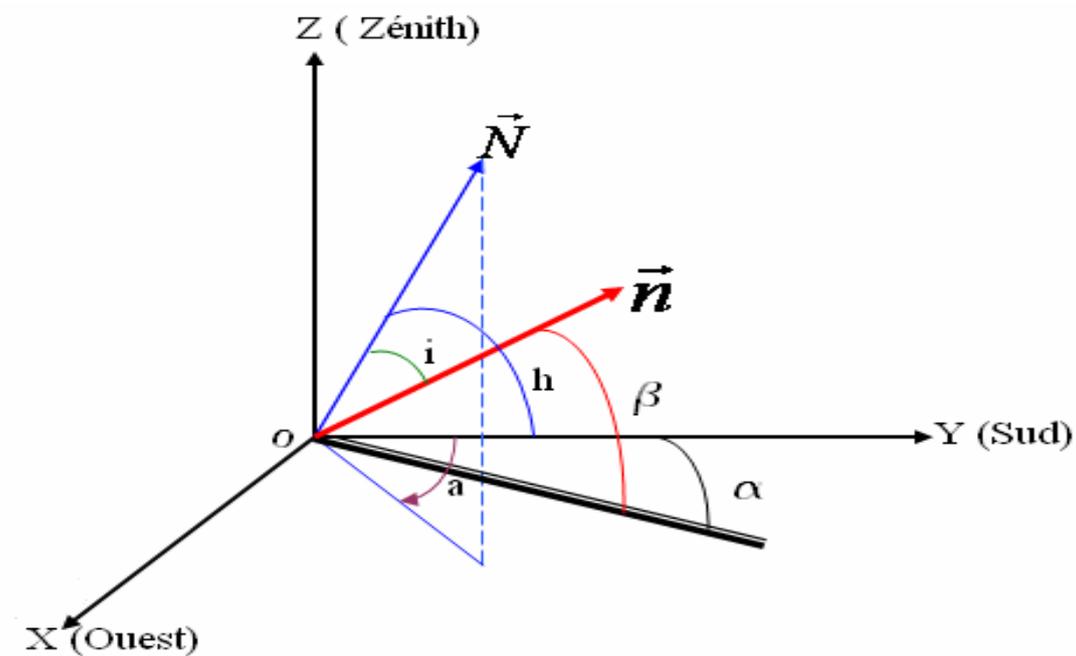


Figure 1. 8 : Direction du rayonnement solaire

## I-8 Caractéristiques géographiques de la ville de Tlemcen

Tlemcen est une ville au nord-ouest de l'Algérie, à 580 km de la capitale d'Alger, à latitude de  $34,56^\circ$ , une longitude de  $1,19^\circ$  et une altitude de 830 m. Elle est caractérisée par des conditions climatiques assez particulières à savoir des étés chauds et secs et des hivers froids et rigoureux. Il est important de faire remarquer que ce climat est quelque peu s'adoucir par l'influence de la mer méditerranéenne relativement toute proche.

# Chapitre I : généralités sur le gisement solaire, les énergies renouvelables et l'énergie solaire

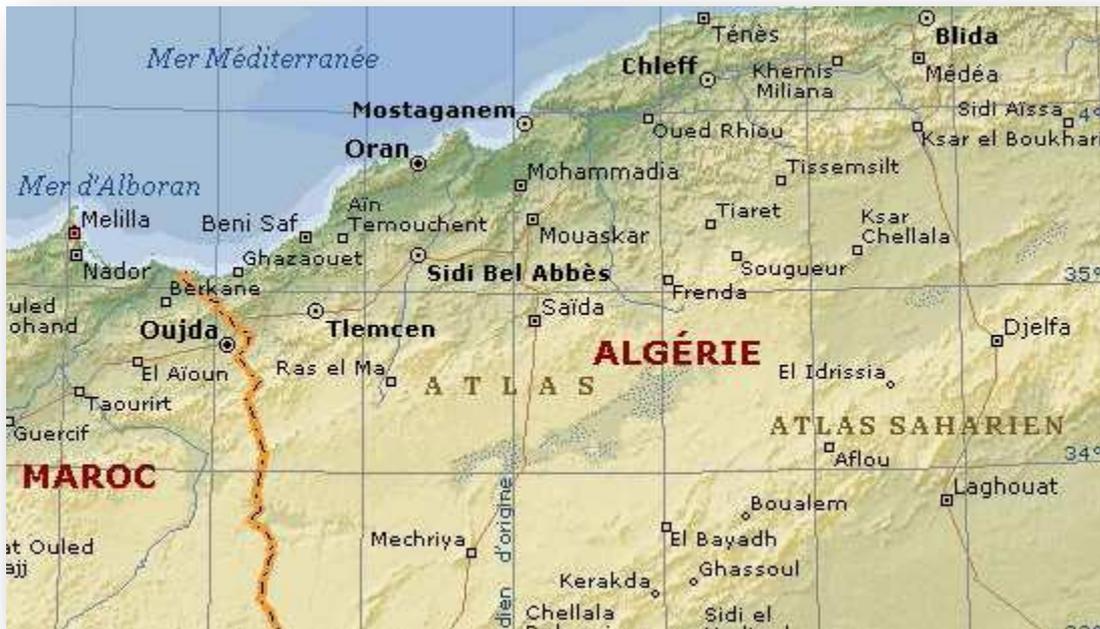


Figure 1.9 : Situation de la ville de Tlemcen (carte d'Algérie) [5]

## I-9 Les énergies renouvelables



Figure 1.10: Les énergies renouvelables

### I-9-1 Définition

Une énergie renouvelable, ou «EnR » en abrégé, est une source d'énergie qui se constitue ou se reconstitue plus rapidement qu'elle n'est utilisée ainsi, l'énergie solaire est inépuisable à l'échelle des temps humains, de même que les énergies qui en dérivent : l'énergie éolienne, l'énergie hydraulique (cycle de l'eau), la biomasse produite par photosynthèse et une partie des énergies marines.

# Chapitre I : généralités sur le gisement solaire, les énergies renouvelables et l'énergie solaire

---

Il en est de même pour l'énergie due à la gravité (énergie marémotrice) ou à la géodynamique interne (énergie géothermique).

En revanche, des sources d'énergie dont le renouvellement est infiniment plus lent que leur consommation, comme le pétrole, ne sont pas renouvelables.

## I-9-2 Différents types d'énergies renouvelables

- **Energie solaire**

L'énergie solaire est inépuisable, gratuite et non polluante et même si l'énergie solaire reçue par la terre est d'intensité variable, intermittente et peu dense, son utilisation offre de nombreuses possibilités.

Parmi ses nombreuses applications, on distingue le solaire thermique qui transforme le rayonnement solaire en chaleur et le solaire photovoltaïque qui convertit la lumière en électricité.



*Figure 1. 11 : Energie solaire*

- **Energie éolienne**

Depuis la découverte de la navigation à voile et les premiers moulins à vent dont on utilisait la force mécanique pour moudre du grain ou pomper de l'eau, les hommes utilisent l'énergie du vent pour se déplacer ou produire.

Les éoliennes d'aujourd'hui (ou aérogénérateurs) transforment l'énergie mécanique en énergie électrique. Une éolienne peut alimenter en électricité une habitation isolée ou être regroupée en parcs pour produire de l'électricité de masse.



*Figure 1. 12: Energie éolienne*

- **Energie hydraulique**

L'énergie hydraulique est la plus exploitée des énergies renouvelables. Depuis des millénaires, l'homme sait exploiter l'énergie des cours d'eau, en construisant des barrages, des moulins, ou des usines marémotrices. Les grandes centrales hydroélectriques permettent de réguler la production d'électricité en injectant l'électricité dans le réseau en fonction des besoins.

Les petites centrales hydroélectriques (ou microcentrales) souvent installées en site isolé, permettent de répondre aux besoins d'une ou plusieurs habitations, d'une exploitation agricole, d'un atelier d'artisan.



*Figure 1. 13: Energie hydraulique*

- **Biomasse**

La biomasse désigne la masse totale de matière vivante (végétaux, animaux, micro-organismes) présente dans un écosystème donné. La biomasse représente une énergie potentielle accumulée sous forme biochimique. On distingue trois grands secteurs de mise en valeur de cette énergie :

- 1- le bois-énergie : les applications utilisant le bois comme combustible vont des installations individuelles (cheminée, insert ou chaudière) aux réseaux de chauffage urbain ou industriel qui utilisent du bois broyé, sciure, copeaux,

## Chapitre I : généralités sur le gisement solaire, les énergies renouvelables et l'énergie solaire

---

écorces, paille... Un volume de plantation supérieur à l'abattage et des technologies plus performantes pour réduire la consommation de combustible, sont des éléments essentiels pour une mise en valeur cohérente du bois énergie.

2- les biocarburants : le blé, la betterave, le colza ou le tournesol permettent de produire des carburants (éthanol et biodiesel) dont le rendement et les bénéfices pour l'environnement sont appréciables.

3- le biogaz : le processus de production de biogaz résulte de la digestion de matières organiques par des bactéries. Les déchets de l'agro-industrie, de l'agriculture, des décharges d'ordures ménagères ou des boues issues des eaux usées, peuvent par fermentation produire chaleur et électricité.



*Figure 1. 14 : Biomasse*

- **Géothermie**

La géothermie consiste à capter l'énergie thermique emmagasinée dans les couches profondes de l'écorce terrestre ou dans le sol. On distingue

Quatre formes de géothermie, la haute, la moyenne, la basse et la très basse énergie.

La géothermie haute énergie permet d'exploiter des centrales géothermiques de forte puissance, qui sont le plus souvent installées dans des régions volcaniques.

La géothermie de moyenne et basse énergie permet d'assurer en totalité ou en partie le chauffage urbain de milliers de logements ou le fonctionnement

## Chapitre I : généralités sur le gisement solaire, les énergies renouvelables et l'énergie solaire

---

D'équipements industriels. La géothermie de très basse énergie, ou géothermie domestique permet de chauffer des habitations grâce à des pompes à chaleur géothermique.



*Figure 1. 15: Energie géothermique*

### **I-9-3 Importance des énergies renouvelables**

L'intérêt des énergies renouvelables pour le monde tient à trois facteurs.

- **L'augmentation du prix du pétrole**

En effet, peu de pays sont producteurs de pétrole et la plupart de ceux qui en produisent sont des producteurs marginaux. Les pays importateurs aux économies faibles peuvent difficilement faire face aux flambées des prix du pétrole.

- **La crise des compagnies d'électricité**

La plupart des compagnies d'électricité du continent sont en crise ce qui conduit à un rationnement dans la fourniture et à des coupures intempestives d'électricité (surtout en Afrique). La nécessité de diversifier les sources de production de l'énergie électrique s'impose.

- **La prise de conscience de l'impact des énergies fossiles sur l'environnement au niveau mondial**

Les initiatives environnementales issues d'une part du programme Action 21 de la Conférence des Nations Unies sur l'environnement et le développement durable tenue à Rio de Janeiro en 1992 et d'autre part de la Convention des

# Chapitre I : généralités sur le gisement solaire, les énergies renouvelables et l'énergie solaire

---

Nations Unies sur les changements climatiques ainsi que le protocole de Kyoto sur la réduction des gaz à effet de serre ont suscité la prise de conscience en Afrique de l'importance des énergies renouvelables pour la préservation de l'environnement.

C'est aussi très important de citer le facteur du comportement des consommateurs qui joue un rôle significatif étant donné que le caractère renouvelable d'une énergie dépend non seulement de la vitesse à laquelle la source se renouvelle, mais également de la rapidité à laquelle elle est consommée.

## **I-10 Energie solaire**

L'énergie solaire est l'énergie transmise par le Soleil sous la forme de lumière et de chaleur. Cette énergie est virtuellement inépuisable à l'échelle des temps humains, ce qui lui vaut d'être classée parmi les énergies renouvelables .

L'énergie solaire peut être utilisée directement par l'homme pour s'éclairer fenêtrés, puits de lumière, se chauffer et cuisiner chauffe-eau solaire, four solaire ou pour produire de l'électricité par l'intermédiaire de panneaux photovoltaïques.

Indirectement, l'énergie solaire est aussi la source de la plupart des énergies renouvelables et des hydrocarbures fossiles. Elle est en effet responsable de la mise en mouvement des masses d'eau énergies marines et d'air énergie éolienne, du cycle de l'eau énergie hydraulique et la photosynthèse biomasse et hydrocarbures. Seules trois types d'énergie ne dérivent pas de l'énergie solaire : l'énergie marémotrice, l'énergie géothermique, l'énergie nucléaire.

Le potentiel de cette source d'énergie est donc immense.

# Chapitre I : généralités sur le gisement solaire, les énergies renouvelables et l'énergie solaire

---

- **Energie solaire thermique**

Le solaire thermique consiste à utiliser la chaleur du rayonnement solaire. Il se décline de différentes façons : centrales solaires thermodynamiques, chauffe-eau et chauffage solaires, rafraîchissement solaire, cuisinières et sècheurs solaires.

## **I-11 L'Algérie et l'énergie solaire**

La situation géographique nous permet de constater qu'elle dispose d'un gisement solaire élevé ce qui conduit notre pays à utiliser les énergies renouvelables quotidiennement.

## **I-12 Conclusion**

Dans ce chapitre on a présenté un récapitulatif de quelques notions de bases relatives au gisement solaire, qui nous permet par la suite d'exploiter l'énergie solaire pour le chauffage et la climatisation par voie solaire.

### II-1 Introduction

Le soleil est la principale source d'énergie de la terre. Le rayonnement électromagnétique qu'il émet produit lumière et chaleur. Le contenu énergétique de ce rayonnement se compose pour 45 % de lumière visible et pour 49 % de rayonnement au-delà du rouge visible (chaleur infrarouge). Le rayonnement solaire est nécessaire au maintien des conditions de vie sur terre.

Il existe toute une gamme de capteurs solaires qui permettent de répondre aux différents besoins. Il faut choisir le type de capteurs qui correspond le mieux au niveau de température auquel on désire « travailler ». Bien entendu, plus le niveau de température est élevé, plus les technologies mises en œuvre sont évoluées et plus les coûts de production sont élevés.

Cette énergie peut être exploitée par deux grandes manières : conversion photovoltaïque ou conversion thermique.

### II-2 Conversion thermique

Le solaire thermique est une technique utilisée pour produire de la chaleur à partir du rayonnement du soleil, réservée aux régions fortement ensoleillées [6].

Il se présente de différentes façons : centrales solaires thermodynamiques, chauffe-eau et chauffage solaires, rafraîchissement solaire, cuisinières et sécheurs solaires.

La production de cette énergie peut être soit utilisée directement (pour chauffer un bâtiment par exemple) ou indirectement (comme la production de vapeur d'eau pour entraîner des alternateurs et ainsi obtenir une énergie électrique).

#### II-2-1 Les capteurs solaire thermiques

- **Définition**

On appelle capteur solaire thermique un appareil susceptible de transformer l'énergie du rayonnement solaire en énergie thermique qui peut être utilisée

après pour chauffer des locaux, fournir de l'eau chaude sanitaire, sécher les grains, faire fonctionner des moteurs thermiques.

- **Principe de fonctionnement d'un capteur thermique**

Certains matériaux laissent passer une gamme étendue de longueurs d'onde alors que le verre est transparent seulement au visible et au proche infrarouge.

Entourant un corps noir d'une cage de verre, la lumière traversant le verre chauffe le corps noir et la porte à une température de 30° à 100°C environ.

Ce corps noir faiblement chauffé va donc émettre dans l'infrarouge pour lequel le verre est opaque, l'infrarouge piégé dans la cage va retourner au corps noir contribuant ainsi un échauffement ; c'est l'effet de serre. [7]

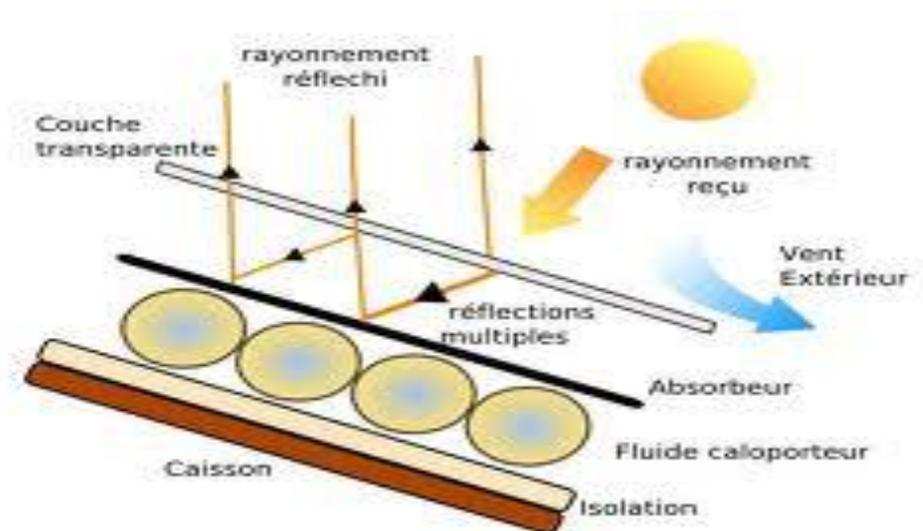


Figure 1. 1: Principe de fonctionnement d'un capteur solaire thermique [8]

- **L'effet de serre**

Le Soleil émet en permanence un rayonnement (mélange de lumière visible, d'infrarouges et d'ultraviolets) qui se propage dans l'espace. Une partie de ce rayonnement solaire qui traverse l'atmosphère terrestre est absorbée par la surface de la terre. Celle-ci émet en retour un rayonnement infrarouge (de la chaleur) en direction de l'espace. Cependant, une partie de ce rayonnement infrarouge est renvoyée en direction de la surface terrestre par certains gaz de l'atmosphère appelés « gaz à effet de serre »

### II-2-2 Les type des capteurs solaires thermique

Il existe trois types de panneaux solaires thermiques :

- **Les capteurs plans non vitrés dit " capteur moquette**

Ce sont de longs tubes de couleur noire, qui piège le mieux la chaleur, qui sont en plastique ou en métal, dans lesquels circule de l'eau. Ces capteurs sont bien adaptés pour le chauffage des piscines. [9]

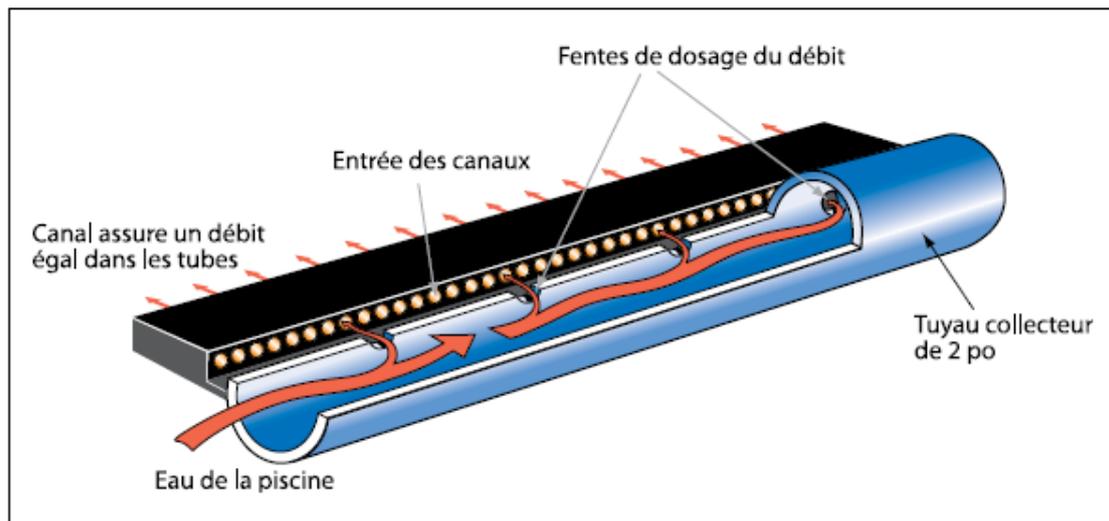


Figure 2. 2: Capteurs solaires sans vitrage. [10]

- **Les capteurs plans avec vitrage**

Ils comprennent un caisson isolant au-dessus duquel est fixée une vitre en verre ou en plastique.

A l'intérieur, une feuille métallique noire absorbe l'énergie rayonnée et qui est emprisonnée dans le caisson. Cette chaleur est transmise à un autre fluide caloporteur qui ne gèle pas en hiver. Ce fluide caloporteur circule librement dans des tuyaux vers le point d'utilisation. L'élévation de température par rapport à la température de l'air ambiant peut atteindre  $+70^{\circ}\text{C}$ . C'est l'idéal pour produire de l'eau chaude pour la maison ou pour le chauffage de tous les types de bâtiments. [11]

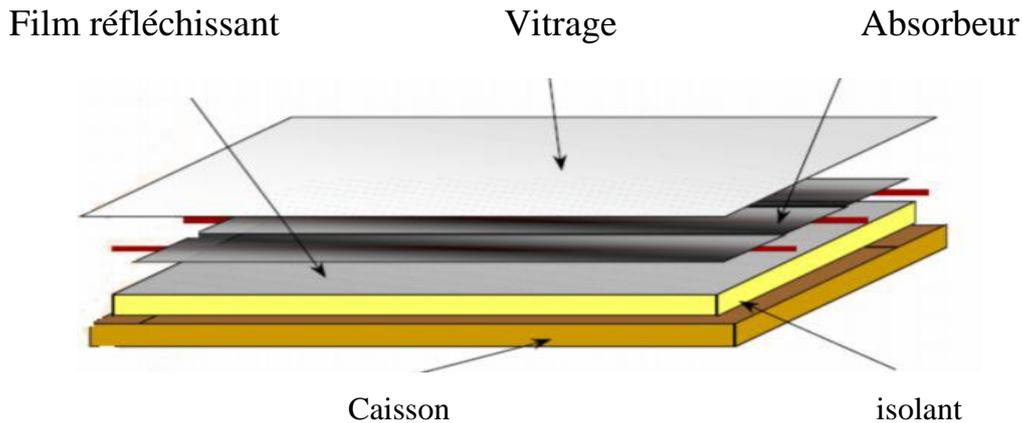


Figure 2.3: Composants types d'un capteur plan avec vitrage [12]

- **Les capteurs sous vide**

Ils se présentent sous la forme d'un panneau où sont alignés une série de tubes de verre transparent. Dans ces tubes, on a fait du vide, qui est un des meilleurs isolants thermiques existants. Dans chaque tube, un absorbeur capte la chaleur solaire et un système d'échangeur de chaleur et la transmet à un fluide caloporteur. Comme pour les autres capteurs, ce fluide circule vers les points d'utilisation. La température peut s'élever jusqu'à 100-140° C. Ces capteurs sont adaptés aux applications industrielles qui nécessitent de hautes températures.

Le système de circulation comporte une pompe de circulation ou un thermosiphon. [13]



Figure 2. 4: Capteurs solaire sous vide [14]

### II-2-3 Les capteurs solaires plans

Le capteur solaire plan est un système thermique qui permet la conversion de l'énergie solaire en énergie calorifique, la chaleur reçue de cette conversion est utilisée soit directement (cas de chauffage), soit elle même convertie en énergie mécanique par l'intermédiaire des cycles thermodynamique. Son principe de fonctionnement est basé sur l'effet de serre qui consiste à piéger le rayonnement solaire, ce dernier arrive au niveau du couvert et le traverse pour atteindre une surface revêtue d'une peinture noir, appelé absorbeur. [15]

- **Description du capteur plan**

Un capteur plan utilise l'effet de serre et parvient à récupérer environ 50% de l'énergie incidente. Il se compose des éléments suivants : le vitrage, l'absorbeur l'isolant, le fluide caloporteur et le boîtier.

- **Le vitrage (couvercle)**

Elle est transparente, formée de verre ou de plastique. Les avantages de ce dernier sont: le poids réduit et l'absence de fragilité, et ses inconvénients sont: faible résistance aux agents atmosphériques comme la pluie, la neige..., pour cela il est moins utilisé.

Le rôle de la couverture est essentiellement d'augmenter l'effet de serre au voisinage d'une isolation de la face avant de l'absorbeur et elle doit avoir les propriétés suivantes:

Transmettre le maximum d'énergie dans l'environnement de l'absorbeur.

Il existe deux types de vitrages : vitrage simple et vitrage double.

## Chapitre II : Les capteurs solaires

Matériaux	Transmissivité à incidence normale	
	$\lambda = 0.4-2.5 \mu\text{m}$	$\lambda = 20.-4.0 \mu$
<b>Le verre</b>	0.83-0.91	0.00-0.03
<b>Les plastiques en feuilles</b>	0.76-0.92	0.02-0.06
<b>Les plastiques en films</b>	0.85-0.87	0.2-0.26

Tableau 2.1 : Transmissivité de divers types de couvertures dans les gammes du visible et de l'infrarouge

### L'absorbeur

C'est une surface parcourue d'un réseau de tubulures, revêtue d'une peinture noire. L'absorbeur a pour rôle de transformer en chaleur le rayonnement électromagnétique qu'il reçoit et de transmettre cette chaleur au fluide caloporteur. Cette surface noire doit avoir les caractéristiques suivantes :

- ❖ Une bonne conductivité et diffusivité thermique.
- ❖ Un facteur d'absorption aussi voisin que possible de l'unité.
- ❖ Une bonne résistance chimique vis-à-vis du fluide.

Couches sélectives	absorptivité	émissivité	commentaire
<b>Noir de zinc</b>	0.9	0.1	-
<b>Oxyde de cuivre sur aluminium</b>	0.93	0.11	-
<b>Noir de cuivre sur cuivre</b>	0.85-0.94	0.08-0.12	-
<b>Noir de nickel sur nickel</b>	0.93	0.06	Influencé par l'humidité aux températures élevées
<b>Ni-Zn-S sur nickel</b>	0.96	0.07	-
<b>Noir de fer</b>	0.90	0.10	-
<b>Noir de chrome sur nickel</b>	0.92-0.94	0.07-0.12	Stable a hautes températures

Tableau 2. 2 : Propriétés de quelques couches sélectives [16]

## Chapitre II : Les capteurs solaires

---

L'absorbeur peut être [17] :

- En cuivre : c'est le meilleur (bon conducteur), et travaille très bien mécaniquement mais il est le plus coûteux.
- En acier : ayant une faible conductivité thermique et un coût moins élevé. En fait de nombreux capteurs utilisent comme absorbeur des radiateurs extra plats de chauffage central.
  - En aluminium : qui nécessite l'emploi d'un fluide caloporteur spécial pour des problèmes de corrosion.

- **L'isolant**

L'isolant joue un rôle très important dans les applications thermiques de l'énergie solaire, non seulement au niveau des absorbeurs, dont il faut limiter les pertes, mais aussi pour calorifuger les tuyauteries chargées de véhiculer la chaleur, et la maison elle-même, lorsqu'il s'agit de chauffage solaire.

Elle (l'isolation) est généralement constituée d'une couche isolante, qui diminue les pertes par convection et ralentit ainsi le refroidissement de la face opposée au rayonnement solaire. Le choix du matériau à utiliser dépend de :

Sa résistance aux températures de fonctionnement.[18]

Le choix des matériaux convenables à l'utilisation dépend de:

La permanence dans le temps de leurs caractéristiques (absence du vieillissement avec le temps, conductibilité thermique reste constante).

Résistance au choc qui modifie la répartition des produits utilisés dans la couche isolante.

Degrés de résistance à l'humidité, à l'eau de pluie (laines).Résistance au feu, aux rongeurs et insectes .Leur résistance aux températures de fonctionnement courantes.

## Chapitre II : Les capteurs solaires

Désignation	Conductivité thermique $W.m^{-1} . ^\circ C^{-1}$	Masse volumique $Kg.m^{-3}$	T° max °C	Observation
Laine de verre	0.050	70	/	Sensible à l'humidité (pare vapeur)
Laine de roche	0.050	80-150	150	/
Mousse de verre	0.057	123	150	/
Liège expansé	0.042	95	110	/
	0.074	105	110	
Polystyrène	0.042	15	85	Moulé
	0.0440	17	85	Comprimé
	0.035	35	85	Comprimé
Polyuréthane	0.027	35-45	110	Mousse

*Tableau 2.3: Quelques données relatives aux matériaux d'isolation arrière*

- **Le fluide caloporteur**

Est un moyen de transfert de la chaleur collectée par l'absorbeur à un fluide d'échange thermique appelé fluide de travail.

Les fluides caloporteurs utilisés sont :

L'air : qui est gratuit mais possédant une faible capacité calorifique comparativement à celle de l'eau (1 litres d'eau peut véhiculer une énergie équivalente qui peut véhiculer 3000 litres d'air).

L'eau : qui possède les avantages suivants :

Une grande chaleur massique, et une faible viscosité.

- **Le boîtier**

## Chapitre II : Les capteurs solaires

Il contient les trois éléments cités précédemment et dont les parois sont tapissées d'une couche isolante destinée à réduire les pertes de chaleur vers l'arrière et les côtés du capteur, celui-ci doit être solide et résistant à la corrosion.

### II-3 Conversion photovoltaïque

Tous les jours, le soleil fournit de l'énergie à la Terre. On peut utiliser cette énergie gratuite grâce à une technologie appelée photovoltaïque, qui transforme l'énergie solaire en électricité.

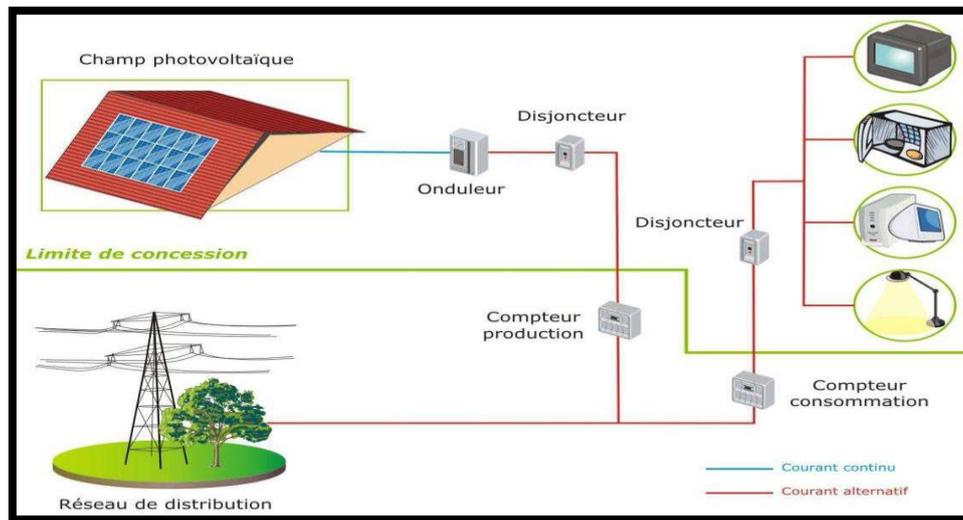


Figure 2. 5: Champ d'utilisation de photovoltaïque

#### II-3-1 La cellule photovoltaïque

- **Description**

Les modules ou panneaux photovoltaïques sont composés de semi-conducteurs qui permettent de transformer directement la lumière du soleil en électricité.

Ces modules peuvent s'avérer une source d'énergie qui est sûre, fiable, sans entretien et non polluante pendant très longtemps. La majorité des modules sur

## Chapitre II : Les capteurs solaires

le marché aujourd'hui sont pourvus de garanties de plus de 20 ans, et ils fonctionneront bien au-delà de cette période.



a)



b)

Figure 2.6: a) Silicium matière première, b) Cellule photovoltaïque

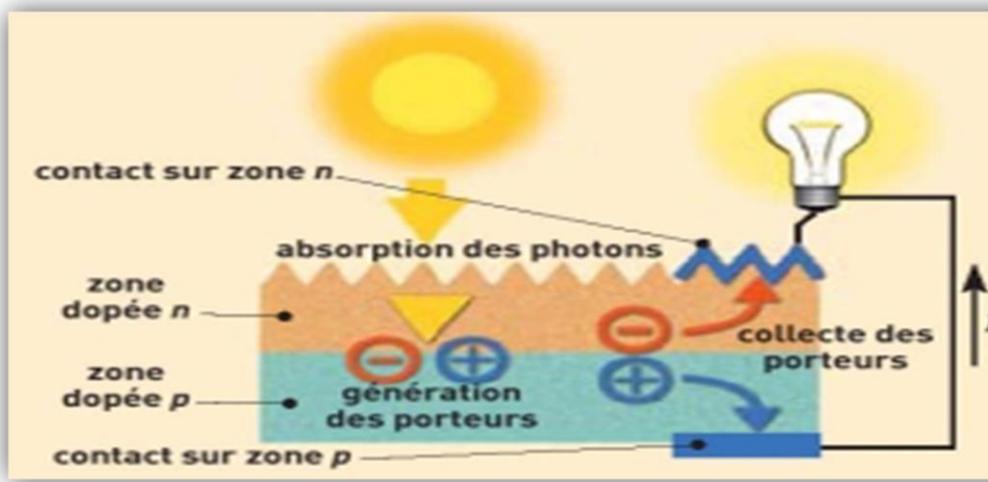


Figure 2.7 : Production d'électricité dans une cellule photovoltaïque

Un cristal semi-conducteur dopé P est recouvert d'une zone très mince dopée N et d'épaisseur  $e$  égale à quelques millièmes de mm. Entre les deux zones se trouve une jonction J.

La zone N est couverte par une grille métallique qui sert de cathode **k** tandis qu'une plaque métallique **a** recouvre l'autre face du cristal et joue le rôle d'anode. L'épaisseur totale du cristal est de l'ordre du mm. [19]

### II-3-2 Principe de la conversion photovoltaïque

La formation d'une jonction réalisée par sur-dopage du silicium représente le principe de base de la cellule solaire. La création d'une barrière de potentiel dans le semi-conducteur permet de séparer les électrons et les trous qui sont générés par l'absorption de la lumière dans le matériau. Les types de barrières les plus communes sont l'homojonction (jonction p/n dans le même semi-conducteur), l'hétérojonction (Jonction p/n entre deux matériaux différents) et les barrières Schottky (métal/ semi-conducteur). Lors de la formation de la jonction, les électrons diffusent vers la zone p et les trous vers la zone n (alignement du niveau de Fermi), afin de tendre vers un équilibre thermodynamique. Le dipôle, créé aux bords de la jonction, entraîne la formation d'un champ électrique qui s'oppose à l'équilibre à tout déplacement de charges. La polarisation de la jonction en direct permet alors de diminuer la hauteur de la barrière de potentiel et donc l'intensité de champ électrique permettant le passage de porteurs. A l'opposé, une polarisation inverse augmentera la hauteur de barrière.

### II-3-3 Les différentes technologies

Le silicium est actuellement le matériau le plus utilisé pour fabriquer les cellules photovoltaïques disponibles à un niveau industriel.

Il existe un grand nombre de technologies mettant en œuvre l'effet photovoltaïque. Beaucoup sont encore en phase de recherche et développement.

Les principales technologies industrialisées en quantité à ce jour sont : le silicium mono ou poly cristallin (plus de 80% de la production mondiale) et le silicium en couche mince à base de silicium amorphe ou CIS (Cuivre Indium Sélénium). [20]

- **Cellule en silicium monocristallin**

## Chapitre II : Les capteurs solaires

Lors du refroidissement, le silicium fondu se solidifie en ne formant qu'un seul cristal de grande dimension. On découpe ensuite le cristal en fines tranches qui donneront les cellules. Ces cellules sont en général d'un bleu uniforme.

- **Cellule en silicium poly cristallin**

Pendant le refroidissement du silicium, il se forme plusieurs cristaux. Ce genre de cellule est également bleu, mais pas uniforme, on distingue des motifs créés par les différents cristaux.

- **Cellule en silicium amorphe**

Le silicium n'est pas cristallisé, il est déposé sur une feuille de verre. La cellule est gris très foncé. C'est la cellule des calculatrices et des montres.

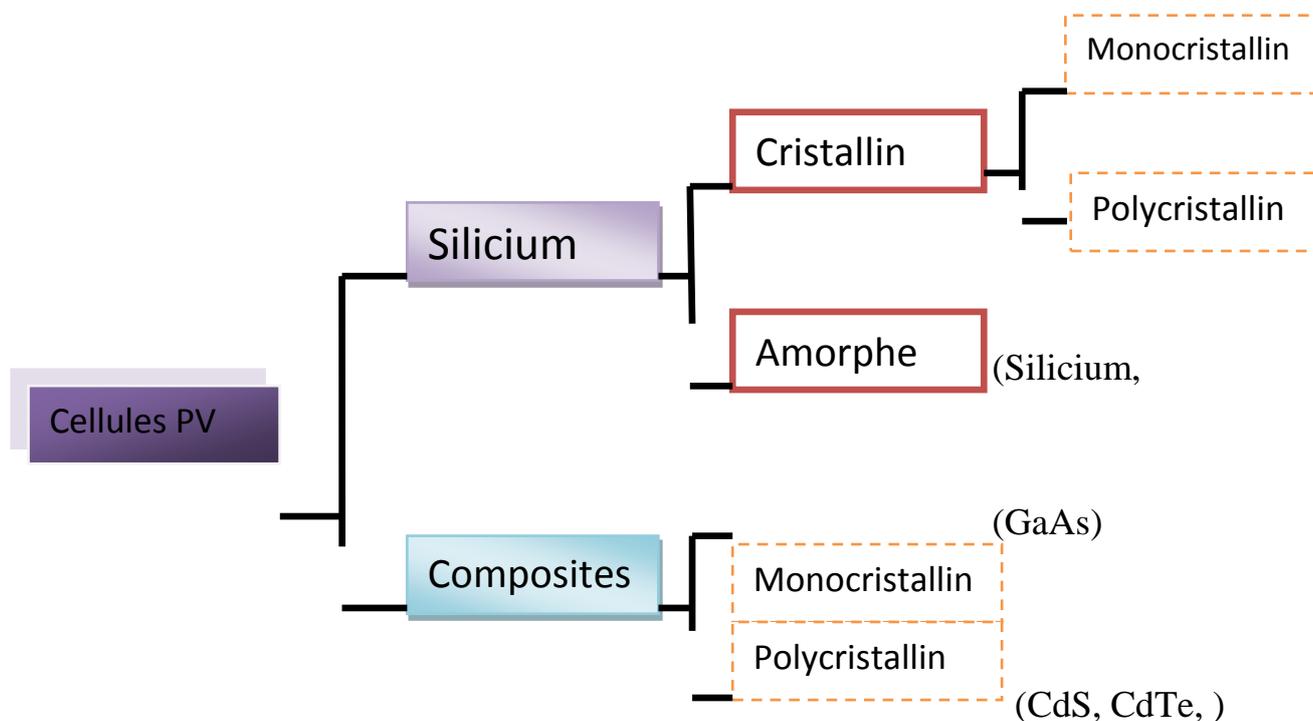


Figure 2. 8: Les différentes technologies des cellules photovoltaïques

On trouve aussi certaines cellules qui utilisent d'autres matériaux : [21]

GaAs : arséniure de galium. Matériau monocristallin, qui fournit des cellules en couches minces ayant un très bon rendement mais dont le prix les destine au domaine spatial.

CdTe : tellure de cadmium. Matériau poly cristallin déposé sur un substrat en verre.

CIS : diséléniure de cuivre et d'indium. Ce matériau donne des photopiles très stables dans le temps.

TiO<sub>2</sub> : dioxyde de titane. Cette technologie en est au stade expérimental.

Ces technologies sont encore très coûteuses mais elles laissent espérer des rendements bien supérieurs au silicium et une durée de vie plus grande.

### II-3-4 Systèmes photovoltaïques : avantages et limites

- **Avantages**

Les systèmes solaires électriques offrent de nombreux avantages, dont les suivants :

Ils sont de fonctionnements sûrs, non polluants et silencieux.

Ils sont très fiables. Ils n'exigent presque aucun entretien. Ils fonctionnent de façon rentable dans les régions éloignées et dans de nombreuses applications résidentielles et commerciales, ils sont flexibles et peuvent être élargis à n'importe quel moment pour répondre à vos besoins en matière d'électricité. Ils vous donnent une autonomie accrue – fonctionnement indépendant du réseau ou système de secours pendant les pannes d'électricité.

- **Limites**

Vous devriez être également conscient des limites pratiques des systèmes PV : Ils ne conviennent pas aux utilisations à forte consommation d'énergie comme le chauffage. Si vous souhaitez utiliser l'énergie solaire à cette fin, considérez d'autres solutions de recharge comme un chauffe-eau solaire, qui produit de la chaleur beaucoup plus efficacement.

Les systèmes raccordés au réseau sont rarement économiques, surtout parce que le coût actuel de la technologie PV est beaucoup plus élevé que celui de l'énergie traditionnelle

### **II-4 Les paramètres influant sur le fonctionnement d'un capteur solaire**

L'efficacité thermique du capteur solaire dépend fortement du matériel, de la forme, des dimensions, de la disposition du capteur et des conditions environnantes. Tous ces facteurs peuvent être classés en deux catégories principales :

#### **II-4-1 Les paramètres internes**

- **La vitre**

La plus part des capteurs solaires couverts utilisés sont à couverture simple, à double ou triple. Ils ont montré dans une étude expérimentale que la couverture triple donne des performances plus importantes que celle à double vitre grâce à la minimisation des pertes vers l'extérieur. Turhan. Koyuncu (2006), a aussi étudié expérimentalement l'influence du nombre de couvertures et il a trouvé que ce facteur influe fortement sur l'efficacité du capteur.

- **L'absorbeur**

L'augmentation de la surface du capteur accroît le taux du rayonnement solaire intercepté et la surface de contact entre l'absorbeur et le fluide caloporteur (augmentation de la surface d'échange), mais aussi elle augmente le coefficient des pertes thermiques entre la couverture et l'extérieur.

L'allongement du capteur solaire influe fortement sur son efficacité De ce fait des chercheurs ont proposé d'augmenter le transfert thermique entre l'absorbeur et le fluide caloporteur (sans toucher les dimensions du capteur) par l'ajout des obstacles (ailettes) alors les obstacles peuvent augmenter la surface d'échange, réduire les zones mortes et créer la turbulence.

- **Forme et diamètres des pipes**

## Chapitre II : Les capteurs solaires

---

Un autre facteur influe aussi sur l'efficacité du capteur, c'est bien, la tuyauterie, qui est généralement soudée à la partie inférieure de l'absorbeur et des fois fait partie de l'absorbeur, sa forme diffère d'un capteur à un autre.

Parmi ces différentes formes, la forme sinusoïdale est la plus efficace, puisque elle offre la plus grande surface d'échange et réduit les zones mortes. Le diamètre des pipes le plus efficace est de l'ordre de 6.35 mm.

- **La circulation du fluide caloporteur**

L'augmentation de la circulation du fluide caloporteur augmente la puissance du capteur solaire.

Le débit d'air a l'effet le plus fort sur l'efficacité d'échanges thermiques et par conséquent sur le rendement.

D'après le travail expérimental et numérique la diminution du débit massique augmente la température du fluide et décroît les gains globaux de la chaleur, au-dessus d'un débit de  $0.06 \text{ m}^3/\text{h}$ , la température du fluide n'augmente plus.

La façon de passage de l'air a une influence considérable sur l'efficacité du capteur solaire.

- **L'isolation**

Les pertes de chaleur principales du capteur sont de la couverture, puisque les cotées et le dos peuvent être isolés, alors que la face avant doit être exposée au rayonnement solaire et à la température ambiante. C'est pour cela l'air est utilisé fréquemment comme une isolation contre les pertes de chaleur conductives et convectives de l'absorbeur vers la vitre.

On peut réduire ces pertes en utilisant de l'isolation transparente (ici un film de bulles d'air). Des chercheurs ont montré qu'on peut utiliser l'aérogel (matériau poreux de faible conductivité thermique) comme une superbe isolant de la face avant du capteur solaire plan.

- **L'orientation et l'inclinaison du capteur**

L'influence de l'orientation d'un capteur et de son inclinaison avec l'horizontal est due au fait que ces deux dernières changent le rayonnement solaire atteignant la surface du capteur.

La meilleure orientation du capteur solaire est de l'orienter directement au sud.

L'angle optimum d'inclinaison est appliqué à une variété de systèmes, tels que, les capteurs plans ou paraboliques, les panneaux photovoltaïques, maisons solaires et serres installées dans une position fixe. Cet angle joue un rôle important en augmentant la collection d'énergie par les capteurs solaires.

### II-4-2 Paramètres externes

- **Obstacles**

Il s'agit avant tout des constructions et de la végétation, leur position dans la trajectoire solaire peut créer sur les surfaces captatrices une ombre nuisible au bon fonctionnement de l'installation.

- **Rayonnement solaire**

L'efficacité du capteur solaire est influée considérablement par le rayonnement solaire, et l'élévation de la température varie presque linéairement avec le rayonnement solaire incident.

- **Température**

La température de l'environnement influe fortement sur le fonctionnement du capteur solaire.

Des expériences ont montré dans une étude expérimentale que les capteurs peuvent être endommagés par le gel pendant la nuit couverte.

- **Vitesse du vent**

La vitesse du vent apparaît dans le coefficient de convection entre la vitre et l'extérieur qui agit sur la valeur des pertes, c'est pourquoi la connaissance des données météorologiques est important. Lorsque le coefficient de transfert thermique dû au vent est à son maximum (pour une longueur de 1m d'absorbeur

noir installé horizontalement) la réduction maximum de l'efficacité s'avère au plus bas niveau.

### II-5 Pertes thermiques dans un capteur solaire plan

Les pertes thermiques au niveau du capteur solaire peuvent avoir lieu par l'intervention des trois modes de transfert thermique: convection, conduction et rayonnement. Elles sont dues à la différence de température entre l'absorbeur et le milieu ambiant. Ces pertes ont lieu suivant les trois modes de transfert thermique, soit : conduction, convection ou rayonnement.

Pour évaluer toutes les pertes du capteur, on pose les hypothèses suivantes :

- 1) Le régime est permanent.
- 2) La puissance absorbée par la vitre est négligeable.
- 3) La conduction dans la vitre est négligeable.
- 4) Les pertes entre la face externe de l'isolant et celle de l'absorbeur sont confondues.

#### II-5-1 Pertes par convection

Ce mode de transfert intervient généralement entre la couverture et le milieu extérieur, l'absorbeur et la lame d'air, la lame d'air et la couverture.

Le coefficient de pertes thermiques augmente avec l'augmentation de l'émissivité de l'absorbeur, sa température, et le coefficient d'échange convectif avec l'air ambiant, alors qu'il diminue avec l'accroissement de la distance entre l'absorbeur et la vitre. Les obstacles soudés à l'absorbeur peuvent réduire les pertes par l'avant en diminuant la température de l'absorbeur.

- a) Le coefficient de perte par convection entre le vitrage et l'ambiance est calculé par la relation de HOTTEL et WOERTZ :

$$h_{cv} (v, a) = 5,67 + 3,86V_v \quad (2. 1)$$

Avec  $V_v$  : la vitesse du vent [m/s].

b) Le coefficient de perte par convection entre le vitrage et l'absorbeur lorsque l'angle d'inclinaison du capteur (pour un angle d'inclinaison qui varie entre  $0^\circ$  et  $75^\circ$ ) :

$$h_{cv}(ab, v) = Nu \cdot \lambda / dh \quad (2.2)$$

Avec:

$$\lambda = Pr \cdot v / Cp \quad (2.3)$$

$v$  : viscosité cinématique

$Cp$  : capacité calorifique

$\lambda$  : conductivité thermique de l'air

$dh$  : épaisseur de la lame d'air

Et le Nusselt moyen en fonction du nombre de Rayleigh est donné par la relation suivante :

$$Nu = 1 + \overline{1.44} \left[ 1 - \frac{1780(\sin 1.8\beta)^{1.6}}{Ra \cdot \cos\beta} \right] \left[ 1 - \frac{1708}{Ra \cdot \cos\beta} \right] - \left[ \left( \frac{Ra \cdot \cos\beta}{5830} \right)^{\frac{1}{3}} - 1 \right] \quad (2.4)$$

Le nombre de RAYLEIGH :

$$Ra = \frac{\beta g (T_h - T_c) L^3 Pr}{v^2} = Re * Pr \quad (2.5)$$

### II-5-2 Pertes par conduction

Les pertes par conduction peuvent avoir lieu entre l'absorbeur et la vitre lorsque ces derniers se trouvent sur une très faible distance, comme elles existent au niveau de l'isolation de la partie arrière et latérale du capteur.

### II-5-3 Pertes par rayonnement

Les matériaux utilisés comme couvertures laissent passer le rayonnement solaire incident mais ils sont opaques au rayonnement infrarouge réémis par l'absorbeur porté à la température de 35 à 100 °C (c'est l'effet de serre), la face interne de la couverture absorbe ce rayonnement infrarouge, puis elle subit une augmentation de température et rayonne à son tour moitié vers l'extérieur et moitié vers

l'absorbeur. Donc, les pertes par rayonnement sont diminuées de moitié. Il serait possible de réduire encore ces pertes en mettant plusieurs couvertures.

a) Coefficient de perte par rayonnement entre le vitrage et le ciel :

Sachant que la surface du ciel tend vers l'infini et  $F_{v-c} = 1$  (le facteur de forme entre vitre et ciel) :

$$h_r(v, c) = \varepsilon_v \cdot \sigma \cdot \frac{(T_v^2 + T_c^2)(T_v + T_c)}{(T_v + T_a)} \quad (2.6)$$

$$\text{Avec :} \quad T_c = 0.0522(T_a)^{1,5} \quad (2.7)$$

b) Coefficient de perte par rayonnement entre l'absorbeur et le vitrage :

La surface de l'absorbeur est la même que celle du vitrage (en général), le facteur de forme :  $F_{v-a} = 1$ , alors :

$$h_r(ab, v) = \varepsilon_a \cdot \sigma \cdot (T_{ab}^2 + T_v^2)(T_{ab} + T_v) \quad (2.8)$$

Avec  $\varepsilon_a$  : émissivité apparente du système interne donnée par :

$$\varepsilon_a = \left[ \frac{1}{\varepsilon_{ab}} + \frac{1}{\varepsilon_v} - 1 \right] \quad (2.9)$$

### II.5.4 Evaluation du coefficient des pertes vers l'avant

L'énergie absorbée par la vitre est nulle, cela veut dire que le flux d'énergie partant de l'absorbeur vers la vitre est le même que celui sortant de la vitre vers l'ambiance.

On estime le coefficient de perte vers l'avant par la relation suivante :

$$U_{av} = \left[ \frac{1}{h_{cv(ab,v)} + h_r(ab,v)} + \frac{1}{h_{cv(v,a)} + h_r(v,c)} \right]^{-1} \quad (2.10)$$

Vu à la complication de la détermination du coefficient des pertes thermiques vers l'avant par la méthode analytique (elle nécessite de connaître la température de la vitre) KLEIN a établi une relation empirique en faisant intervenir la température de l'absorbeur. Cette relation permet de calculer  $U_{av}$  pour les températures (20 -200°C)

$$U_{av} = \left[ \frac{N_v}{\frac{c}{T_{ab}} \left( \frac{T_{ab} - T_a}{N_v + F} \right)^e + \frac{1}{h_{cv}(v,a)}} \right]^{-1} + \frac{\sigma \cdot (T_{ab} + T_a)(T_{ab}^2 + T_a^2)}{[\varepsilon_{ab} + 0,00591 \cdot N_v \cdot h_{cv}(v,a)]^{-1}} + \frac{2N_v + F - 1 + 0,133\varepsilon_{ab}}{\varepsilon_v} - N_v \quad (2.11)$$

Avec :

$\varepsilon_v, \varepsilon_{ab}$  : émissivité du vitrage et de l'absorbeur.

$N_v$  : Nombre de vitrage.

$c$  : Facteur qui tient compte de l'influence de l'inclinaison

$$c = 520(1 - 0,000051 \beta^2) \quad \text{pour } 0 < \beta < 70^\circ$$

Pour  $70 < \beta < 90^\circ$  on prend  $\beta = 70^\circ$

$F$  : facteur qui tient compte de l'effet du vent :

$$F = [1 - 0,089 \cdot h_c(v, a) - 0,1166 \cdot h_{cv} \cdot \varepsilon_{ab}] \cdot [1 + 0,07866 N_v] \quad (2.12)$$

$$e = 0,43 (1 - 100/T_{ab}) \quad (2.13)$$

### II-5-5 Evaluation du coefficient des pertes vers l'arrière

Il est donné par :

$$U_{ar} = \frac{K_i}{e_i} \quad (2.14)$$

Avec:

$K_i$ : conductivité thermiques de l'isolant.

$e_i$  : épaisseur de l'isolant arrière.

### II-5-6 Evaluation du coefficient des pertes latérales:

$$U_{lat} = \frac{K_b}{e_b} \cdot \frac{S_i}{S_c} \quad (2.15)$$

Avec :

$$\frac{S_i}{S_c} = \frac{2 \cdot e \cdot (L+1)}{L \cdot l} \quad (2.16)$$

$S_i$  : la surface latérale du capteur.

$S_c$  : la surface du capteur.

L : la longueur du capteur.

l : la largeur du capteur.

$e_b$  : épaisseur latérale du capteur.

Les pertes latérales sont données par :

$$q_{p \text{ lat}} = U_{\text{lat}} (T_{\text{ab}} - T_a) \quad (2.17)$$

### II-6 Capteurs solaire par concentration

Les capteurs plans ne peuvent généralement pas porter les fluides caloporteurs à très hautes températures. En revanche, il est possible d'utiliser des capteurs par concentration (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**), mais ils sont plus complexes et plus onéreux.

Un capteur à concentration est un capteur solaire comportant un système optique (réflecteur, lentilles, ...) destiné à concentrer sur l'absorbeur le rayonnement reçu (d'où le nom de capteur à concentration).

Il existe quatre types de capteurs à concentration :

- Réflecteur cylindro-parabolique.
- Réflecteur parabolique.
- Centrale à tour.

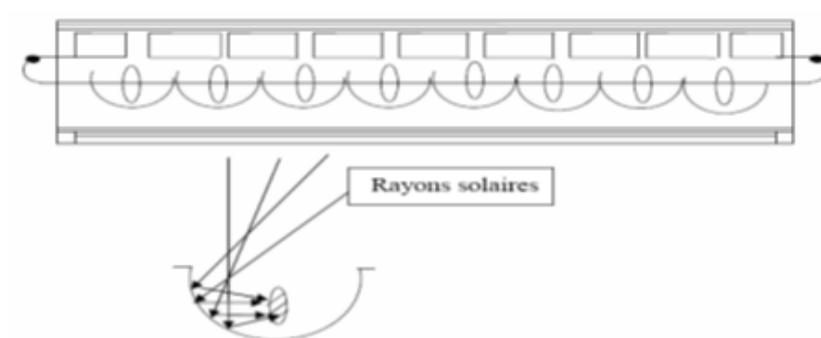


Figure : 2.9: Représentation schématique d'un capteur à concentration.

### II-6-1 Capteur solaire parabolique

Ressemblant à des paraboles de réception satellite, le capteur solaire parabolique (Figure 2.10) est un miroir qui concentre les rayons solaires dans un foyer ponctuel. Les progrès réalisés ont permis d'atteindre des rendements dépassant ceux des autres technologies thermo solaires.



Figure 2. 10: Capteur solaire parabolique

- **Principe de fonctionnement d'un capteur solaire parabolique**

Le principe de fonctionnement de ce type de capteur est décrit représenté dans (Figure 2.11). Le miroir parabolique réfléchit les rayons du soleil vers un point de convergence, le rayonnement solaire est alors concentré sur le récepteur qui monte en température.

Le récepteur en question est un moteur Stirling qui fonctionne grâce à la montée en température et en pression d'un gaz contenu dans une enceinte fermée. Ce moteur convertit l'énergie solaire thermique en énergie mécanique et ensuite en électricité. Tout au long de la journée, le socle de la parabole s'oriente automatiquement face au soleil pour suivre sa course et ainsi profiter d'un ensoleillement maximum.

## Chapitre II : Les capteurs solaires

Les systèmes à réflecteur parabolique peuvent atteindre 1 500 °C sur le récepteur, et parvenir à des rendements optimaux de conversion de l'énergie solaire en électricité en utilisant une faible quantité d'énergie.

La performance de l'ensemble du système est étroitement liée à la qualité optique de la parabole et au rendement du moteur Stirling. [22]

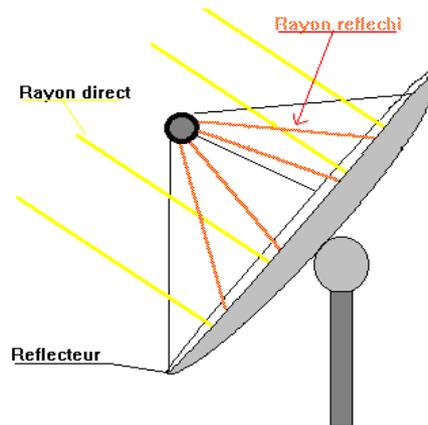


Figure 2. 11: Principe de fonctionnement d'un capteur à miroirs paraboliques

### II-6-2 Capteur solaire cylindro-parabolique

Un capteur cylindro-parabolique est un capteur à concentration à foyer linéaire utilisant un réflecteur cylindrique de section parabolique. Dans un concentrateur cylindro-parabolique, le fluide caloporteur (eau, huile thermique ou gaz) peut être porté à environ 400 °C.

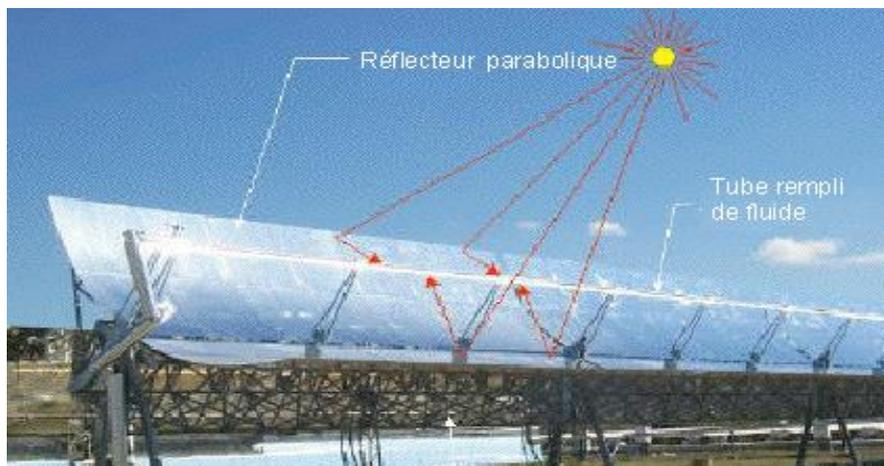


Figure 2.12: Système à réflecteur Capteurs cylindro-paraboliques

- **Principe de fonctionnement d'un capteur solaire cylindro-parabolique**

Le capteur cylindro-parabolique (Figure II. 11) s'oriente vers le soleil grâce à un dispositif de vérin électrique automatique et concentre le rayonnement solaire au niveau de l'absorbeur. Le fluide caloporteur circule dans le circuit de chauffage et conduit la chaleur vers la cuve de stockage; à l'aide d'une pompe à faible débit. L'eau, étant chauffé, produit de la vapeur qui entraînera une turbine actionnant une génératrice qui a son tour produit de l'électricité. La vapeur va ensuite être condensée afin de retourner à la cuve et refaire le cycle d'utilisation.

### II-6-3 Centrale à tour

Un héliostat utilise un ensemble de pointeurs solaires à double axe qui dirige l'énergie du soleil vers un grand absorbeur situé dans une tour. A ce jour, la seule application du capteur héliostat est la production d'énergie dans un système dénommé «centrale à tour». Une centrale à tour possède un ensemble de grands miroirs qui suit le mouvement du soleil. Les miroirs concentrent les rayons du soleil sur le récepteur en haut de la grande tour. Un ordinateur garde les miroirs alignés afin que les rayons du soleil, qui sont réfléchis, visent toujours le récepteur, où la température peut dépasser 1000 °C. De la vapeur à haute pression est générée afin de produire de l'électricité. [23]



Figure 2. 13: Système de centrale à tour

### **II-7 Conclusion**

Dans ce chapitre nous avons définis les différents types de capteurs ainsi que quelques équations du bilan thermique pour évaluer les différentes pertes sur les capteurs plans thermiques.

### III-1 Introduction

Le développement récent de l'énergie solaire dans le bâtiment a mis en évidence l'utilisation de collecteurs plans, couplés à un stockage thermique.

Tous les types de bâtiments, qu'ils soient d'habitation ou tertiaires, nécessitent des systèmes plus ou moins complexes afin de maintenir pour leurs occupants une ambiance confortable. Ces systèmes apportent, suivant les saisons, chaleur ou fraîcheur, avec plus ou moins d'efficacité une meilleure ambiance pour une moindre consommation. Le chauffage des locaux constitue une application particulièrement intéressante de l'énergie solaire par l'utilisation des capteurs à eau. Par leur développement industriel, ces matériels sont maintenant fiables et performants pour assurer un bon chauffage et une bonne climatisation pour l'habitation.

### III-2 Chauffage solaire

#### III-2-1 La production directe de la chaleur pour l'habitat

On peut obtenir directement de la chaleur à partir de l'énergie solaire ; il suffit d'exposer au rayonnement solaire un corps qui chauffe et qui peut échanger de la chaleur avec un système adapté. Ainsi, on peut chauffer des maisons 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 la maison)

Un mur Trombe-Michel (chauffe uniquement la maison).

Dans ces deux dispositifs, le principe de base est le même. Il consiste à chauffer un fluide (air ou eau) grâce à l'énergie solaire recueillie. Ce fluide, une fois chauffé, va céder sa chaleur à l'eau sanitaire, à l'eau du circuit de chauffage ou à l'air de la maison.

- **Le chauffe-eau solaire**

Des capteurs transforment l'énergie du rayonnement solaire en chaleur pour produire de l'eau chaude. Le chauffe-eau solaire est composé de 3 éléments principaux:

Des capteurs thermiques qui reçoivent le rayonnement solaire

Un ballon de stockage de l'eau chaude

Un système de régulation et de circulation entre les capteurs et le ballon.

Un chauffe-eau solaire assure les fonctions de captage de l'énergie solaire et de conversion en chaleur, de transfert de cette chaleur vers l'eau chaude sanitaire par une boucle fermée, de stockage de l'énergie dans le ballon solaire et de Distribution.

Pour un bon rendement de l'installation, une distance maximale de 25 m doit être respectée entre les capteurs et le ballon de stockage.

Tous les cas, l'énergie solaire sera complétée par une autre énergie.

Un chauffe-eau solaire individuel, ou CESI équipé de 4 m<sup>2</sup> de capteurs plein Sud et inclinés à 20°, peut couvrir jusqu'à 70 % des besoins en eau chaude sanitaire (200 l/jour à 50°).

Un système solaire combiné, ou SSC équipé de 10 m<sup>2</sup> de capteurs plein Sud et inclinés à 45°, peut couvrir jusqu'à 40 % des besoins en chauffage et eau chaude d'une maison traditionnelle de 130 m<sup>2</sup> environ.

Le chauffe-eau ne va pas être utilisé directement dans le capteur solaire à cause de l'antigel. C'est pour cela qu'on va se servir de cette eau (eau antigel) pour chauffer l'eau sanitaire, le schéma ci-dessous nous montre le montage d'un chauffe-eau-solaire :

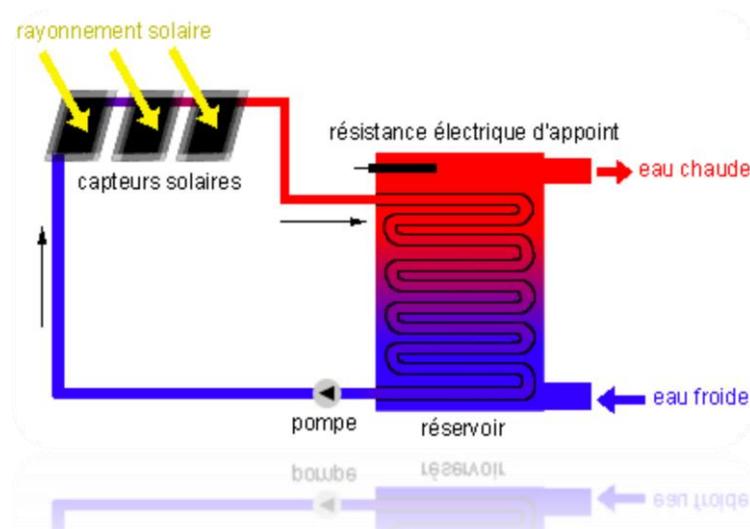


Figure 3. 1 : Schéma d'un chauffe-eau solaire.

Le fluide (eau antigel) du circuit fermé passe dans les capteurs où il se chauffe. Il échange ensuite sa chaleur avec l'eau du chauffe-eau. Tandis que l'eau du chauffe-eau se réchauffe, le fluide se refroidit. Il repasse alors à nouveau dans les capteurs (une pompe assure la circulation du fluide dans le circuit fermé). Et ainsi de suite. Par ce système, on peut obtenir de l'eau chaude pouvant atteindre au maximum une température de 80°.

### III-2-2 Le chauffage solaire des maisons

On utilise la chaleur emmagasinée par le fluide (eau antigel) pour chauffer la maison. C'est donc un chauffage solaire à eau chaude, dans lequel la chaleur peut être distribuée par des radiateurs ou par le sol (solution plus fréquente). Dans ce dispositif, le fluide échange sa chaleur avec la dalle qui elle-même va transmettre la chaleur reçue par le fluide à l'air de la maison. Ainsi, la dalle est un intermédiaire entre le fluide et l'air.

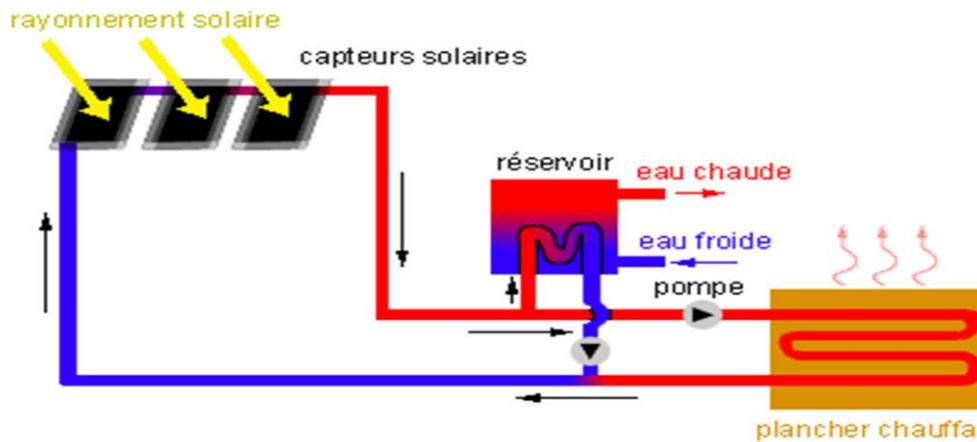


Figure 3.2 : Schéma d'une installation destiné pour le chauffage des maisons

Le réservoir d'eau chaude peut avoir deux fonctions :

Il peut servir la nuit à chauffer la dalle de la maison. En effet la nuit le fluide ne peut pas se chauffer via les capteurs solaires. Il faut donc une réserve de chaleur pour le chauffage central ou bien utiliser une chaufferie classique.

Il peut aussi tout simplement être utilisé comme chauffe-eau afin de fournir l'eau chaude sanitaire.

### III-2-3 Le mur de Trombe-Michel

Il doit son nom au Professeur Félix Trombe, célèbre pour ses travaux sur les fours solaires, et à l'architecte Jacques Michel, qui ont tous deux participé à son élaboration.

Le mur Trombe-Michel est un système directement incorporé au mur d'une maison. Une des parties d'un mur extérieur est remplacé par du double vitrage derrière lequel est situé un mur de béton (le mur de béton se trouve donc dans la maison).

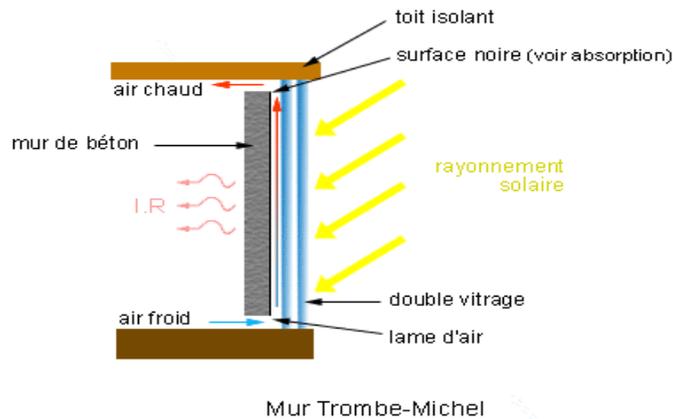


Figure 3.3 : Le mur de Trombe-Michel

C'est encore le principe de l'effet de serre qui est utilisé ; le mur capte la chaleur et en utilise une partie pour chauffer l'air situé entre le mur de béton et le double vitrage. L'air chaud étant moins dense que l'air froid, il monte. C'est cette circulation qui assure le chauffage de la maison (dans la pièce, l'air froid est chassé par l'air chaud entre le mur et le double vitrage).

L'épaisseur du mur est telle qu'elle permet de conserver une partie de la chaleur absorbée durant le jour et de la restituer plus tard (la nuit par exemple). Donc le chauffage se fait :

- soit directement par l'air
- soit par rayonnement lent (infrarouge) : le mur transmet lui-même par rayonnement IR à l'air de la maison une partie de la chaleur qu'il a reçue du soleil.

Il est important de préciser que ces systèmes sont dans la plupart des cas complétés par un système d'appoint (résistance placée dans le chauffe-eau ou chauffage classique) afin de compléter si nécessaire les besoins énergétiques.

### III-2-4 Système de chauffage solaire

Le principe de base du chauffage solaire : les capteurs ou panneaux solaires placés sur le toit ou dans le jardin contiennent de l'eau qui, une fois réchauffée, est diffusée dans la maison. Ensuite, 3 variantes possibles :

- Plancher direct solaire : lors d'une rénovation ou construction

L'eau, aussitôt chauffée par les capteurs solaires, circule dans un plancher chauffant.

La dalle de béton dans laquelle est noyé le circuit d'eau chaude permet de diffuser lentement et continuellement la chaleur.

A réaliser lors d'une construction ou d'une profonde rénovation : il faut refaire les planchers.

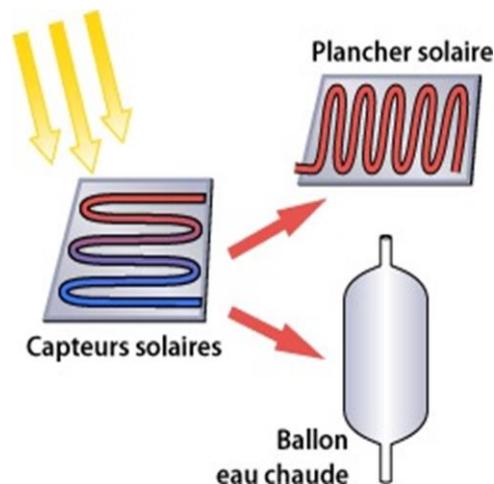


Figure 3.4 : Système de chauffage solaire

- Ballon en série de la chaudière

C'est un système simple qui vient s'intégrer à l'installation de chauffage central existante. Le chauffe-eau solaire sert à préchauffer l'eau. L'eau modérément chaude est transmise à la chaudière qui achève de chauffer l'eau, à température élevée cette fois-ci. Ce système n'impose pas de changer de chaudière ni de radiateurs.

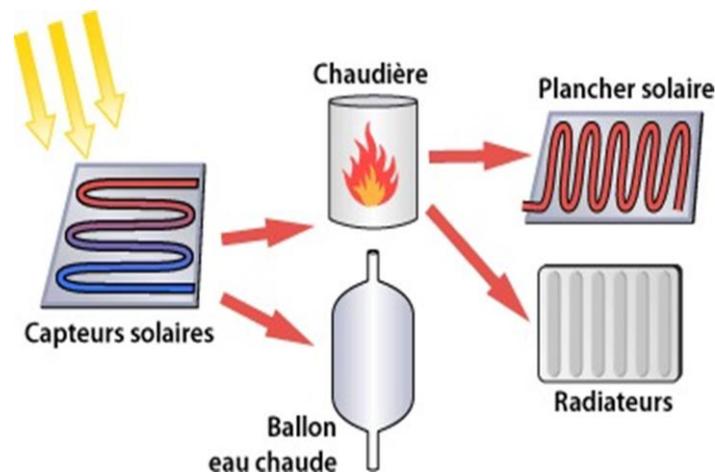


Figure 3.5 : Ballon en série de la chaudière

- Ballon d'eau chaude unique

Le système ne comporte qu'un seul ballon d'eau chaude de grand volume.

L'eau est chauffée par les capteurs solaires, et en appoint soit par une résistance électrique, soit par une chaudière indépendante.

Ce système n'impose pas de changer de chaudière ni de radiateurs.

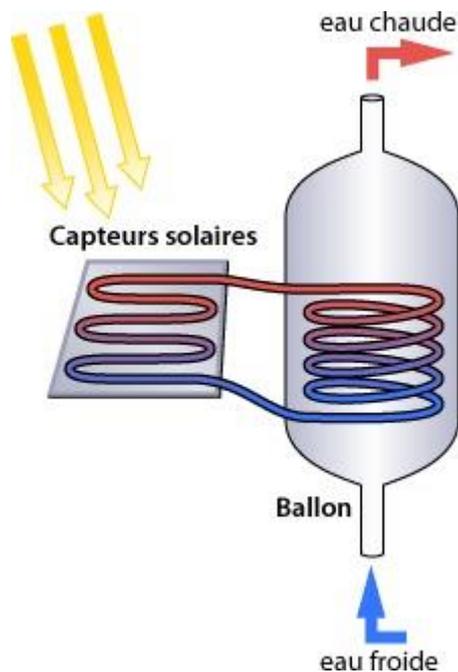


Figure 3.6 : Ballon d'eau chaude unique

Un chauffage solaire satisfait 30 à 60 % des besoins en chauffage

Moins il y a du soleil, plus on a besoin de chauffage et plus il y a de soleil, moins on a besoin de chauffage !

Pour assurer un chauffage suffisant et constant, il faut le compléter par un chauffage fonctionnant avec une autre énergie. On parle alors de systèmes biénergie, 2 solutions :

Compléter par un procédé de chauffage à eau chaude : chaudière gaz, électrique, pompe à chaleur.

Compléter par des poêles ou des radiateurs électriques indépendants, dans les pièces où il fait plus froid : chauffage d'appoint.

### III-3 Climatisation solaire

#### III-3-1 Composants des systèmes de climatisation solaire

Nous allons voir dans cette partie les différents éléments pouvant intervenir dans un système de climatisation solaire.

Nous aurons un bref aperçu des équipements terminaux, de distribution de la puissance frigorifique. Nous traiterons ensuite la partie solaire de l'installation, productrice d'énergie calorifique nécessaire à la production frigorifique.

#### III-3-2 Sous systèmes de distribution et équipements de conditionnement d'air

Les principaux terminaux utilisés dans des installations utilisant des groupes de production d'eau glacée.

Les DEC (Desiccant Evaporative Cooling), ils produisent directement de l'air conditionné, tout comme une centrale de traitement d'air conventionnelle. L'air traité sera donc fourni au local via un réseau de gaines et de bouches classiques.

Les différents terminaux que l'on va voir maintenant permettent de distribuer la puissance frigorifique produite par les groupes de production d'eau glacée mais n'assurent pas le renouvellement d'air. Ce dernier devra être réalisé par d'autres moyens comme les infiltrations naturelles du bâtiment.

- **Les ventilo-convecteurs**

Un radiateur traditionnel est alimenté par une eau à 50-70°C dans une ambiance à 21°. L'échange de chaleur s'effectue facilement grâce à un tel écart de température.

Mais pour fournir du froid, on fait circuler de l'eau (dite "glacée") à 5-10°C dans une ambiance à 24° : l'écart de température devient trop faible pour fournir une bonne puissance frigorifique. On passe dès lors à un échange forcé : un ventilateur est ajouté et le radiateur est remplacé par une batterie d'échange. En

pulsant de l'air sur l'échangeur, la puissance frigorifique est fortement augmentée mais le bruit envahit les locaux.

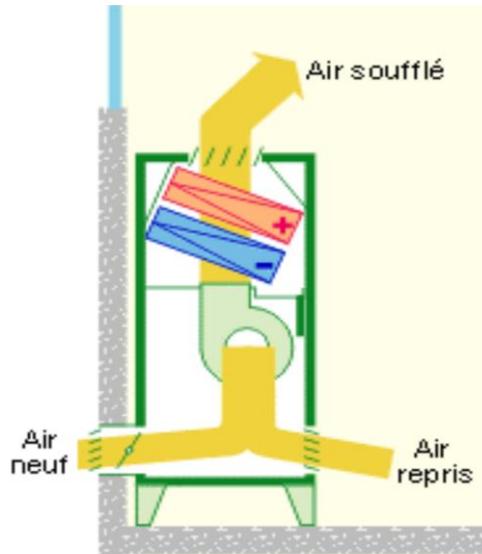


Figure 3. 7 : Les ventilo-convecteurs

Un ventilo-convecteur permet d'assurer le chauffage en hiver et le rafraîchissement en été grâce à sa batterie chaude et à sa batterie froide. Du fait de la ventilation forcée de l'air au travers de la batterie froide en été, l'échange par convection y est augmenté et permet d'obtenir un rafraîchissement tout à fait convenable au vu du faible écart de température entre l'eau circulant dans cette batterie froide (7-8°C).

Il existe quatre grandes familles

➤ **Les ventilos "à 2 tubes réversibles"**

Ils ne disposent que d'un seul échangeur, alimenté alternativement en eau chaude en hiver, et en eau glacée en été. Mais un risque de perte d'énergie apparaît par mélange entre eau froide et eau chaude si la zone neutre est trop faible (voir régulation des ventilos).

### ➤ **Les ventilos "à 4 tubes"**

Ils disposent de deux échangeurs, pouvant être connectés en permanence soit au réseau d'eau chaude, soit à celui d'eau glacée. La taille (le nombre de rangs) de l'échangeur de froid est plus élevée que celui de la batterie chaude, suite au delta  $T^\circ$  plus faible sous lequel travaille la batterie froide. On dit que "le pincement" est plus faible entre  $T^\circ$  eau et  $T^\circ$  air dans l'échangeur.

### ➤ **Les ventilos "à 2 tubes - 2 fils"**

Pour diminuer les coûts d'installation, on ne prévoit que le réseau d'alimentation en eau glacée. Pour assurer le chauffage d'hiver, un ventilos-convecteur permet d'assurer le chauffage en hiver et le rafraîchissement en été grâce à sa batterie chaude et à sa batterie froide. Du fait de la ventilation forcée de l'air au travers de la batterie froide en été, l'échange par convection y est augmenté et permet d'obtenir un rafraîchissement tout à fait convenable au vu du faible écart de température entre l'eau circulant dans cette batterie froide ( $7-8^\circ\text{C}$ ) et l'ambiance à maintenir ( $24^\circ\text{C}$ ).

### ➤ **Les ventilos "2 tubes réversibles + 2 fils"**

Ce dernier système peut être utilisé en fonctionnement deux tubes (c'est à dire eau glacée en été, eau chaude en hiver), la résistance électrique sert alors uniquement en résistance d'appoint en mi- saison.

Les ventilos-convecteurs assurent la distribution de puissance frigorifique mais pas, le renouvellement d'air neuf hygiénique. Ce dernier peut être assuré par les infiltrations naturelles

- **Les éjecto-convecteurs**

L'éjecto-convecteur est très semblable au ventilos-convecteur. Comme lui, il suppose deux réseaux distincts :

Un réseau d'eau pour apporter chaleur et froid au local.

Un réseau d'air pour assurer la pulsion minimale d'air neuf hygiénique.

## Chapitre III : Chauffage et climatisation par voie solaire

---

Ces deux apports se combinent astucieusement dans l'éjecto : l'air neuf pulsé à haute vitesse va induire le passage d'air secondaire dans les batteries d'eau chaude et d'eau glacée.

Et c'est là qu'une différence apparaît : le ventilo prévoit que l'air du local qui traverse les batteries soit pulsé par un ventilateur, alors que dans l'éjecto, c'est l'effet d'induction qui sera le moteur. L'air neuf pulsé entraîne de 2 à 5,5 fois son débit d'air ambiant au travers des batteries de chaud et de froid...

- **Les plafonds rayonnants froids**

L'eau circulant dans ces plafonds est d'environ 16°C, pour ne pas atteindre le point de rosée et ainsi générer de la condensation sur les panneaux. La puissance frigorifique nécessaire à la production de l'eau froide les alimentant est beaucoup plus faible que pour produire une eau à 7°C alimentant une batterie froide de centrale de traitement d'air conventionnelle. Ils sont adaptés aux régions à faible besoin de froid tel que la Belgique ou le Danemark où ils sont très développés.

Les occupants recevront une composante de rayonnement froid (en réalité, ils émettront de la chaleur vers ce plafond), et l'air du local sera lui aussi refroidi. Maintenir (24°C).

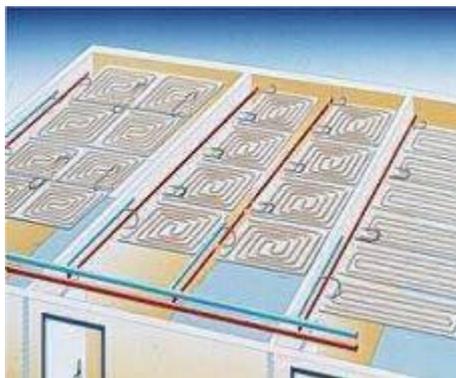


Figure 3. 8 : Les plafonds rayonnants froids

## Chapitre III : Chauffage et climatisation par voie solaire

---

Ces systèmes ont beaucoup de qualités (absence de bruit et de courants d'air, encombrement nul, faible consommation énergétique,...) mais aussi un gros défaut : une puissance frigorifique limitée (60 à 120 W/m<sup>2</sup>).

- **Les poutres froides**

Les poutres froides font partie des équipements de refroidissement des locaux. Il s'agit de tuyauteries parcourues par de l'eau glacée, serties d'ailettes pour favoriser l'échange convectif. Elles sont placées au plafond ou intégrées dans le faux plafond.



*Figure 3. 9 : Les poutres froides*

On distingue les poutres "actives" ou "dynamiques" (effet d'induction créé par l'air neuf) des poutres "passives" (convection naturelle uniquement). Cet échangeur travaille sous un faible écart de température, suite à la condition de non condensation. Sa puissance frigorifique varie selon la largeur de la poutre, la présence d'induction, l'écart de température,...

Cette technique s'adapte à la construction nouvelle, mais aussi en rénovation grâce au fait de ne pas devoir percer des parois pour le passage de gainages d'air volumineux.

La poutre froide convective se présente sous la forme d'un échangeur de grande longueur. Il est placé nu ou habillé pour être intégré à un faux plafond.

## Chapitre III : Chauffage et climatisation par voie solaire

Les poutres sont parcourues par de l'eau qui varie entre 15 et 19°C selon les besoins de refroidissement.

On ne peut descendre plus bas suite au risque de condensation de la vapeur d'eau contenue dans l'ambiance.

- **Les planchers rafraîchissants**

Le principe consiste à faire circuler dans la dalle, un serpentin dans lequel transite l'eau froide.

C'est un système peu coûteux à l'investissement (car directement inclus lors de la construction de la dalle).

La puissance frigorifique est faible (60 W/m<sup>2</sup>).

Il est possible de réaliser un stockage nocturne de frigorifiques dans la dalle.

Cette technique présente dès lors les avantages du système de stockage frigorifique dans des bâches d'eau glacée (production de frigorifiques au prix du kWh de nuit, diminution de la puissance frigorifique installée, ...)

### III-3-3 Les batteries froides à eau glacée

On peut également imaginer que l'eau glacée produite par le groupe frigorifique puisse alimenter la batterie froide d'une centrale de traitement d'air conventionnelle. L'air ainsi traité sera directement soufflé dans le local

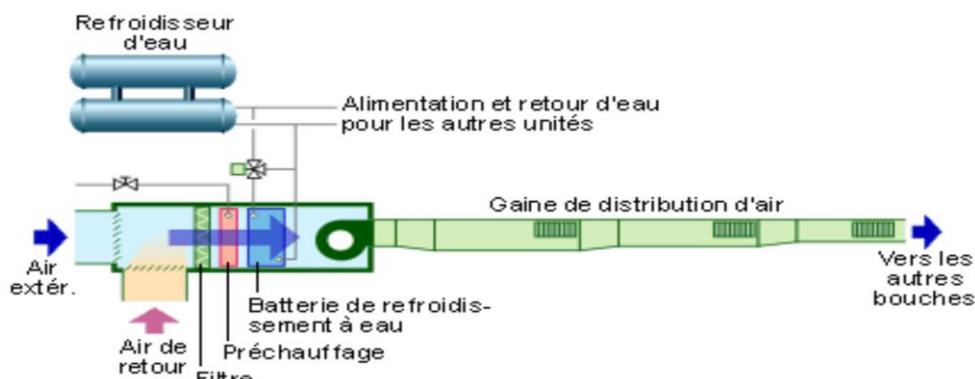


Figure 3.10 : Réfrigération par circuit d'eau glacée

### III-3-4 Systèmes de production de froid

On produit du froid est un abus de langage, il serait en fait plus rigoureux de dire que l'on soutire de la chaleur à une ambiance, un fluide, un solide... En effet la « production de froid » repose sur l'idée d'enlever de la chaleur à une source froide et de la restituer à une source chaude tout en apportant un travail. Ce transfert de chaleur se fait par l'intermédiaire d'un fluide dit frigorigène où encore réfrigérant.

Fluides frigorigènes de s'évaporer et de se condenser à des températures différentes fonction de leur pression.

#### III-3-4-1 Groupes de production frigorifique conventionnelle

- **Principe de fonctionnement**

Cette catégorie est la plus répandue, c'est d'ailleurs sur ce principe et avec le même cycle thermodynamique que fonctionnent la grande majorité des réfrigérateurs, des congélateurs mais aussi des climatiseurs individuels, des groupes frigorifiques reproduction d'eau glacée approvisionnant des batteries froide de centrales de traitement d'air, des pompes à chaleurs réversibles ...

La machine frigorifique se compose au minimum des 4 éléments suivants :

- **Détendeur**

Il permet de diminuer la pression et la température du fluide frigorigène.

- **Evaporateur**

Le fluide frigorigène refroidi et à basse pression s'y évapore en soutirant de l'énergie au milieu à refroidir (Source froide).

- **Compresseur**

Il permet d'augmenter la pression et la température du fluide frigorigène qui est à l'état gazeux.

- **Condenseur**

Le fluide frigorigène surchauffé et à haute pression (gaz) s'y condense en cédant de l'énergie à la source chaude.

## III-3-4-1-2 Description du cycle

Le fluide frigorigène liquide entre en ébullition et s'évapore en absorbant la chaleur du fluide extérieur. Dans un deuxième temps, le gaz formé est encore légèrement réchauffé par le fluide extérieur, c'est ce qu'on appelle la phase de surchauffe (entre 7 et 1).

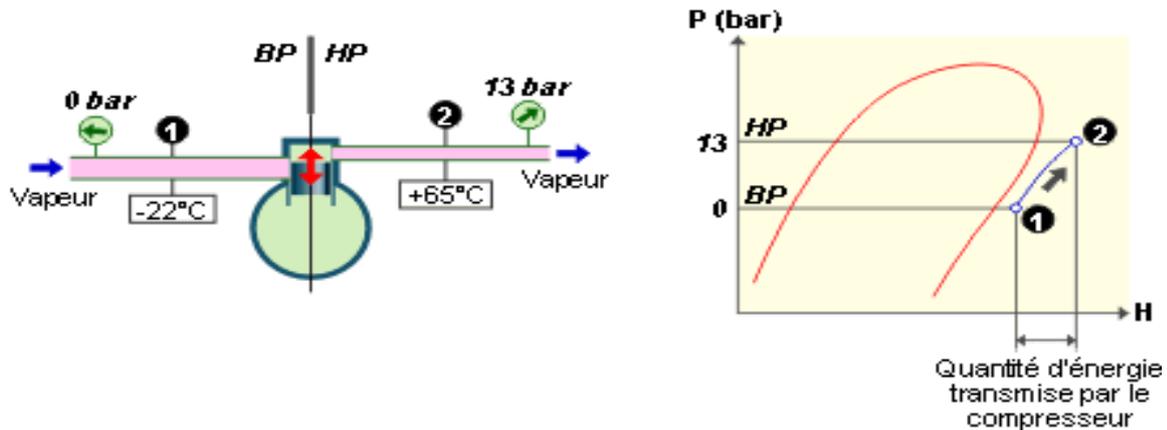


Figure 3. 11 : Cycle frigorifique

Le compresseur va tout d'abord aspirer le gaz frigorigène à basse pression et à basse température (1). L'énergie mécanique apportée par le compresseur va permettre d'élever la pression et la température du gaz frigorigène. Une augmentation d'enthalpie en résultera. Le gaz chaud provenant du compresseur va céder sa chaleur au fluide extérieur.

Les vapeurs de fluide frigorigène se refroidissent ("désurchauffe"), avant l'apparition de la première goutte de liquide (point 3). Puis la condensation s'effectue jusqu'à la disparition de la dernière bulle de vapeur (point 4). Le fluide liquide peut alors se refroidir de quelques degrés (sous-refroidissement) avant de quitter le condenseur.

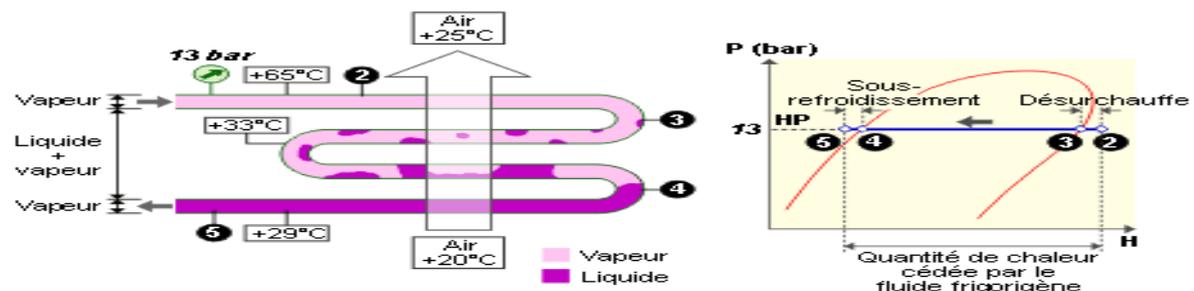


Figure 3.12 Compresseur

### III-3-5 Utilisation des machines frigorifiques à compression mécanique

Pour ce qui nous concerne la climatisation et plus particulièrement la climatisation de grands volumes par exemple dans le tertiaire, cette technique est la plus répandue et est utilisée dans les centrales de traitement d'air suivant 2 configurations principales :

Le fluide frigorigène refroidit l'air en passant directement dans la batterie de refroidissement : on parle de "système à détente directe" parce que l'évaporateur de la machine frigorifique prend la place de la batterie de froid dans le caisson de climatisation

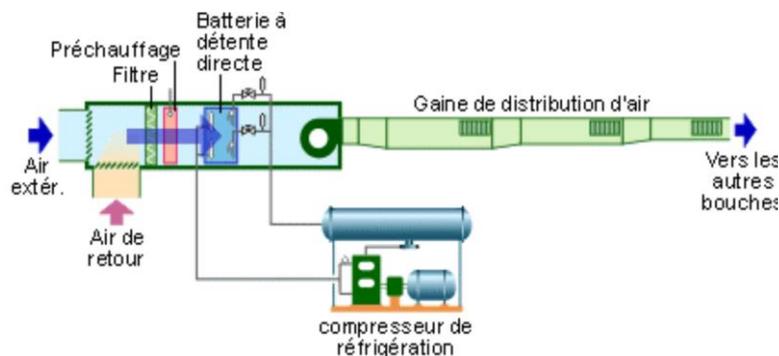


Figure 3.13 Réfrigération "à détente directe"

L'installation frigorifique prépare de l'eau froide à 6°C (généralement appelée "eau glacée"), eau qui alimentera la batterie de refroidissement du caisson de traitement d'air.

- **Réfrigération par circuit d'eau glacée**

Dans le cas où la machine frigorifique produit de l'eau glacée celle-ci peut être utilisée dans d'autres systèmes que des centrales de traitement d'air. On pense en l'occurrence aux ventilo-convecteurs, plafonds rayonnants froids.

### III-3-6 Groupes de production frigorifiques à Sorption

Le principe consiste à pulvériser de l'eau en fines gouttelettes dans un récipient sous vide. Du fait de la basse pression, l'eau s'évapore. Pour cela elle a besoin d'une certaine quantité de chaleur qui est extraite de l'eau à rafraîchir, circulant dans un circuit à travers le récipient.

Mais ce système ne peut fonctionner très longtemps : rapidement, le récipient à basse pression sera saturé de vapeur de fluide frigorigène, et le fluide frigorigène dispersé ne s'évaporerait plus. Il faut donc un moyen pour maintenir ou recréer le vide dans le récipient.

C'est là qu'intervient le sorbant. C'est soit un liquide, on parle alors d'absorbant, ou un solide poreux, on parle alors d'adsorbant. De ce principe de sorption découle 2 type de groupe de production de froid, en l'occurrence d'eau glacée :

- les groupes de production de froid à absorption
- les groupes de production de froid à adsorption

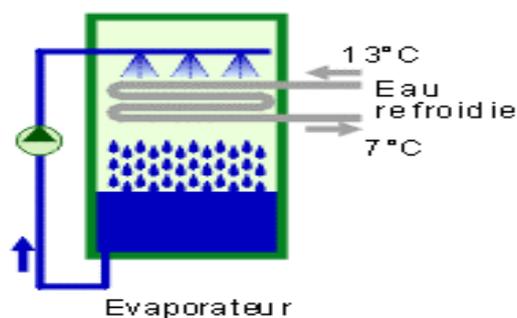


Figure 3. 14 : Evaporateur

### III-3-7 Groupes de production de froid à absorption

Le principe de base du fonctionnement d'une machine frigorifique à absorption reste le même que celui d'une machine à « compression mécanique » :

- Circulation d'un fluide frigorigène

- Evaporation du fluide avec production de froid
- Compression du fluide demandant un apport d'énergie
- Condensation du fluide avec production de chaleur

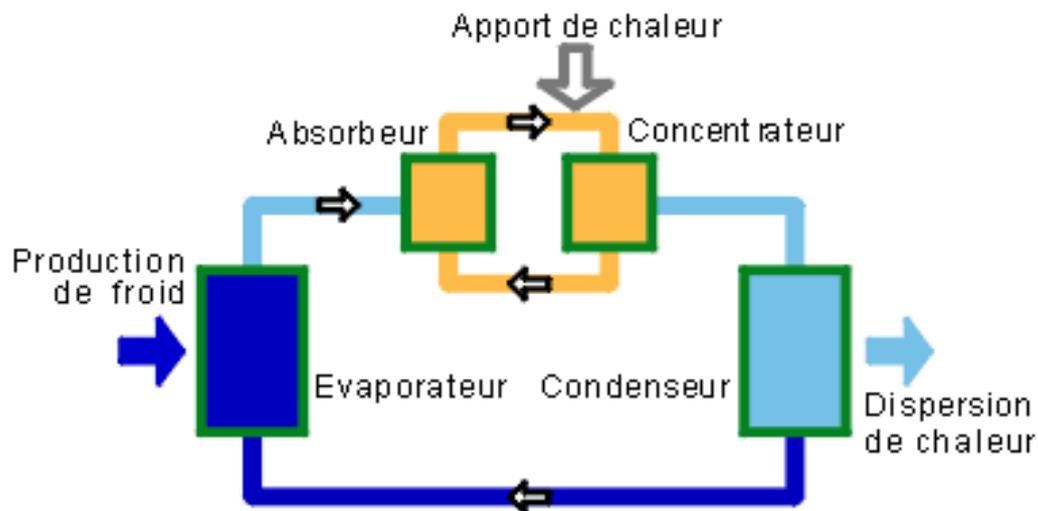


Figure 3.15: Machine frigorifique à absorption

### III-3-7-1 Description du cycle à Absorption pour le couple Eau/LiBr

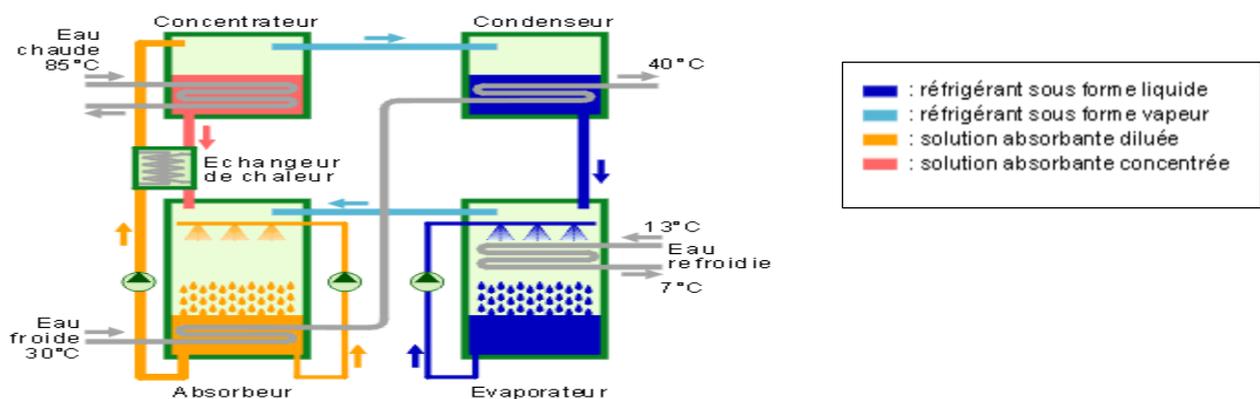


Figure 3.16 : Cycle à absorption le couple eau /bromure de lithium

Dans l'évaporateur, le réfrigérant (ici de l'eau) est pulvérisé dans une ambiance à très faible pression (vide poussé  $\approx 7$  mb). L'évaporateur est parcouru par un circuit à eau. En s'évaporant, le réfrigérant soustrait sa chaleur à cette eau qui est ainsi refroidie et peut ensuite alimenter des ventilo-convecteurs, une batterie froide de centrale de traitement d'air ou un plafond rayonnant ...

## Chapitre III : Chauffage et climatisation par voie solaire

---

La vapeur d'eau créée dans l'évaporateur est amenée à l'absorbeur. Il contient la solution absorbante (LiBr) qui est continuellement pompée dans le fond du récipient pour y être pulvérisée. Le LiBr absorbe la vapeur d'eau hors de l'évaporateur et y maintient ainsi la basse pression nécessaire à la vaporisation du réfrigérant.

La solution est donc régénérée dans le concentrateur ou désorbeur. Elle est réchauffée, par une batterie à eau chaude ou un brûleur à gaz (environ 85°C) et une partie de l'eau s'évapore. La solution régénérée retourne à l'absorbeur.

Enfin, la vapeur d'eau extraite du concentrateur est amenée dans le condenseur, où elle est refroidie par une circulation d'eau froide. L'eau condensée retourne à l'évaporateur et le cycle frigorifique peut recommencer.

Le fluide chaud sortant du désorbeur qui retourne à l'absorbeur préchauffe le fluide qui va vers le concentrateur grâce à l'échangeur de chaleur, économisant ainsi une partie de l'énergie nécessaire pour chauffer le fluide à régénérer.

Le phénomène d'absorption génère de la chaleur. La circulation d'eau froide dans le fluide absorbant évite sa montée en température, ce qui diminuerait son efficacité. L'eau de refroidissement de l'absorbeur peut ensuite passer dans la batterie de refroidissement du condenseur pour ensuite retourner vers la tour de refroidissement.

### **III -3-7-2 Principaux couples fluide frigorigène/absorbant**

- Eau+Bromure de Lithium (H<sub>2</sub>O/LiBr) : Température de l'eau refroidie à l'évaporateur > 5°C.

Ce sera donc le couple utilisé dans le groupe frigorifique à absorption destinés à la climatisation et au rafraîchissement des locaux. En effet les températures de l'eau nécessaire pour alimenter une batterie froide de CTA sont comprises entre 5°C et 10/12°C. Pour un plafond rayonnant par exemple, elles sont encore supérieures.

- Ammoniac+Eau (NH<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O) température de l'eau refroidie à l'évaporateur < 5°C et négative.

### III-3-7-3 Utilisation de l'énergie solaire dans une machine à absorption

Les machines frigorifiques à absorption nécessitent une source de chaleur permettant de régénérer l'absorbant dans le concentrateur (ou désorbeur).

Cette chaleur est fournie produite par une chaudière au fioul, au gaz, un réseau de chaleur ou une centrale de cogénération... Cependant, l'eau chaude solaire provenant de capteurs sous-vide peut tout à fait fournir cette énergie calorifique au désorbeur. La température de l'eau fournissant la chaleur au désorbeur est généralement comprise entre 70°C et 100°C, c'est pourquoi l'utilisation de capteurs sous vide est indispensable pour cette technologie de production de froid.

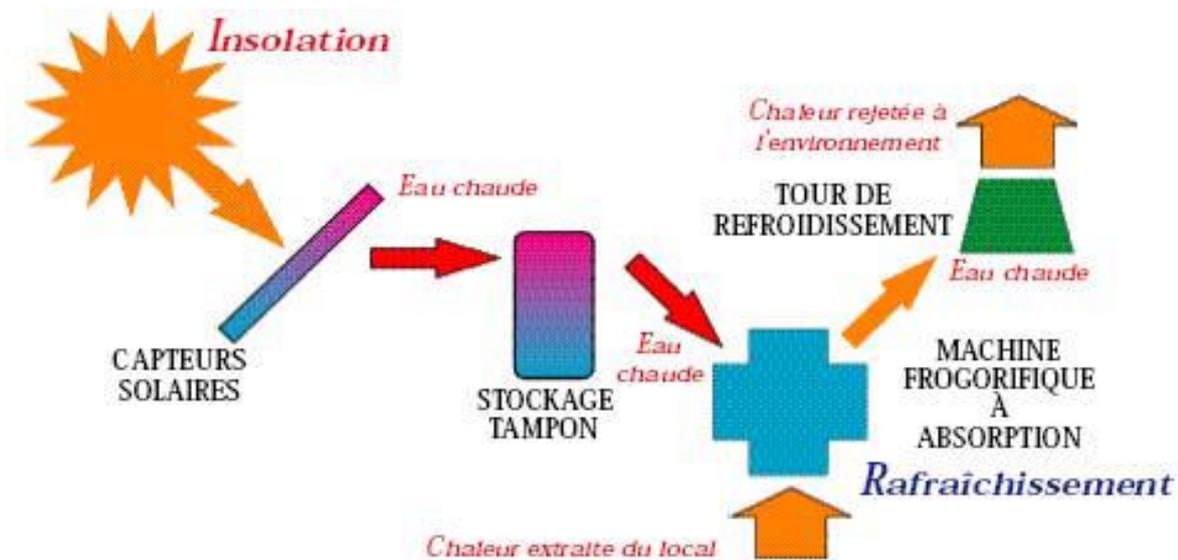


Figure 3.17 : Principe d'une installation de refroidissement solaire à absorption

- **Avantages de l'absorption**

Consommation d'électricité divisée par 20 par rapport aux machines à compression mécanique

Le fluide frigorigène est inoffensif (mis à part pour le couple Ammoniac+Eau cependant peu utilisé en climatisation)

Nuisance sonore du compresseur supprimée

Absence de pièce mécanique en rotation donc d'usure prématurée

- **Inconvénients De L'absorption**

Le principal inconvénient de ces groupes à absorption est leur coût à l'investissement beaucoup plus élevé que pour un groupe à compression mécanique traditionnel équivalent.

### III-3-7-4 L'efficacité énergétique ou COPfroid

Le COPfroid d'une machine à absorption est très inférieure à celui d'une machine à compression mécanique traditionnelle. Cependant, la valeur du COPfroid est essentiellement fonction de l'énergie apportée au désorbeur, l'énergie nécessaire au fonctionnement des circulateurs étant très faible ( $\approx 5\%$  de la puissance frigorifique du groupe) par rapport à  $Q_{\text{désorbeur}}$ .



Figure 3.18 : Groupe à absorption d'un hôtel à Benidorm

### III-3-8 Groupes de production de froid à adsorption

Le principe de base du fonctionnement d'une machine frigorifique à adsorption reste le même que celui d'une machine à « compression mécanique » ou que celui d'une machine à absorption, c'est à dire :

- Circulation d'un fluide frigorigène
- Evaporation du fluide avec production de froid
- Compression du fluide demandant un apport d'énergie

- Condensation du fluide avec production de chaleur

Cependant au niveau de la compression elle ne sera pas mécanique utilisant de l'électricité comme pour une machine à compression conventionnelle, mais elle sera thermochimique utilisant un apport calorifique ainsi qu'un sorbant comme pour les machines à absorption à la différence près, qu'ici le sorbant n'est pas un liquide mais un solide.

### III-3-8-1 Description du cycle à Adsorption

Comme dans toute machine frigorifique, on soutire de la chaleur au niveau de l'évaporateur à la source froide (ici, l'eau à refroidir) et la restitue au niveau du condenseur à la source chaude (ici l'eau de refroidissement).

A la différence des machines frigorifiques traditionnelles, la compression ainsi que la détente sont thermiques.

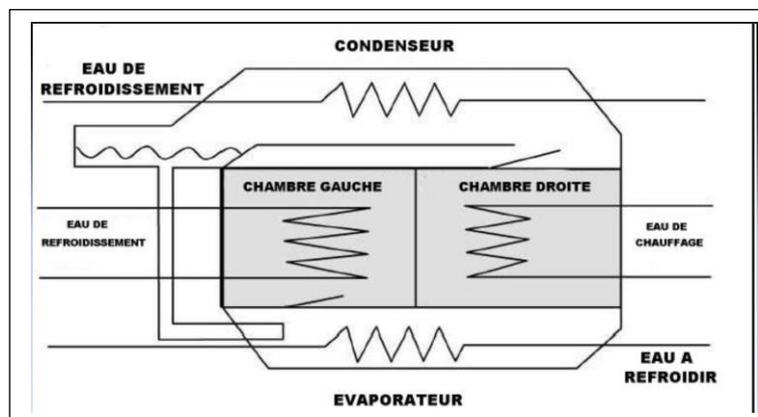


Figure 3.19 : Cycle à Adsorption Schéma du groupe frigorifique à adsorption

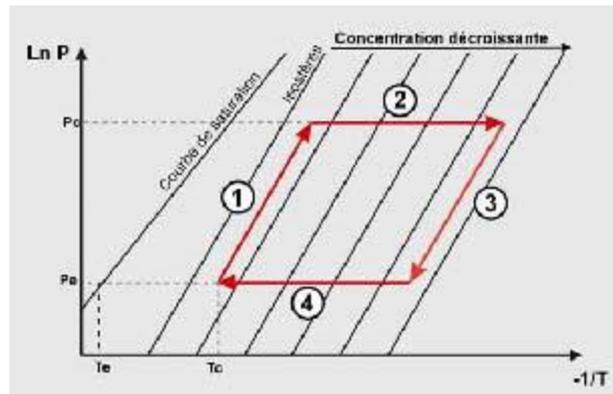


Figure 3.20 : diagramme de Oldham

Une étude du cycle de l'adsorbant. Il donne la teneur l'adsorbant en fluide frigorigène (isostères) en fonction de la température et de la pression, c'est le diagramme le plus utilisé et le plus pratique pour une étude du cycle de l'adsorbant.

### **Etape 1: Chauffage et compression thermique**

La chambre d'adsorption droite (dont l'adsorbant est saturé de vapeur de fluide frigorigène) est isolée et reçoit de la chaleur. La température de l'adsorbant augmente ainsi que sa pression.

### **Etape 2: Chauffage et désorption plus Condensation**

La chambre d'adsorption droite continue de recevoir de la chaleur tout en étant connecté au condenseur. La température de l'adsorbant continue d'augmenter ce qui induit la désorption de la vapeur. Cette vapeur désorbée à Haute Pression est liquéfiée dans le condenseur grâce à la circulation d'une eau de refroidissement ( $\approx 30^\circ\text{C}$ ) qui correspond à la source chaude.

### **Etape 3: Refroidissement et baisse de pression**

La chambre d'adsorption gauche (sans vapeur de fluide frigorigène) est isolée et refroidie par l'eau de refroidissement.

La température de l'adsorbant diminue ce qui induit une baisse de pression. équivalent de la détente pour les machines frigorifiques traditionnelles.

### Etape 4: Refroidissement et adsorption plus Evaporation

La chambre d'adsorption gauche continue de libérer de la chaleur tout en étant connectée à l'évaporateur ce qui y impose sa basse pression. La température de l'adsorbant continue de diminuer, ce qui induit l'adsorption de la vapeur (qui est exothermique). Cette vapeur adsorbée provient de la vaporisation effectuée dans l'évaporateur. La chaleur de vaporisation est prélevée à la source froide ( l'eau à refroidir).

Ce découpage en 4 étapes se veut pédagogique pour ainsi expliquer les changements d'état que subit une chambre d'adsorption.

En effet, l'étape 2 et l'étape 4 se font en même temps, c'est à dire que l'évaporation et la condensation se réalisent simultanément et ce grâce au fait qu'il y ait 2 chambres d'adsorption indépendantes.

Une fois que le cycle a été réalisé, la chambre d'adsorption gauche est alors saturée en vapeur de fluide frigorigène et la droite n'en a plus. Les 2 chambres ont donc échangé de Diagramme de Oldham.

C'est le diagramme le plus utilisé et le plus pratique pour une étude du cycle de l'adsorbant. Il donne la teneur de l'adsorbant en fluide frigorigène (isostères) en fonction de la température et de la pression.

Le cycle réel (d'un point de vue chronologique et fonctionnel) d'un groupe à adsorption est le suivant :

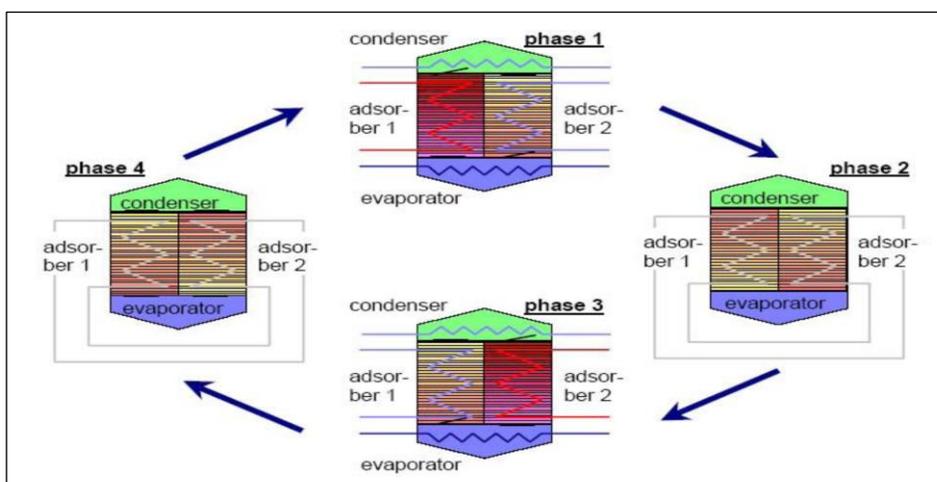


Figure 3. 21: Phases cycle à Adsorption

**Phase 1** : Durant cette phase, l'étape 2 et 4 vues précédemment se réalisent simultanément. C'est durant cette étape qu'il y a la production de froid. Elle dure environ 370 sec.

**Phase 2** : Durant cette phase, les 2 chambres d'adsorption sont connectées entre elles. Il s'opère ainsi un équilibrage des pressions et un préchauffage de la chambre d'adsorption gauche (saturée en eau). Cette phase dure environ 30 sec.

**Phase 3** : Cette phase est la même que la phase 1, si ce n'est que les chambres d'adsorption ont échangées leur rôle. Elle dure également 370 sec et il y a production de froid.

**Phase 4** : Cette phase est la même que la phase 2. Elle dure environ 30 sec.

Dans un groupe de production frigorifique à adsorption, la production de froid se réalise donc de manière quasi continue. En effet comme on l'a vu, on refroidit à l'évaporateur de l'eau pendant 370 sec avant de devoir échanger le rôle de chaque chambre d'adsorption, ceci dure 30 sec avant qu'un cycle de production de froid redémarre pour 370 sec. Un cycle dure donc entre 6 et 7 minutes.

### **III-3-8-2 Utilisation de l'énergie solaire dans une machine à Adsorption**

Les machines frigorifiques à adsorption nécessitent une source de chaleur permettant de régénérer l'adsorbant dans les chambres d'adsorption. Cette chaleur est généralement fournie par une chaudière au fioul, au gaz, un réseau de chaleur, une centrale de cogénération et elle peut donc l'être également par des capteurs solaires thermiques. La température de l'eau fournissant la chaleur de régénération est généralement comprise entre 55°C et 80°C. Les puissances frigorifiques des machines à adsorption disponibles et adaptées à une utilisation avec des capteurs solaires se situent entre 50 kWf et 430 kWf.

- ***Avantages de l'adsorption***

- Les températures de l'eau chaude requises pour le fonctionnement du groupe à adsorption autorisent l'utilisation dans certains cas de capteurs plans.
- Le fluide frigorigène est inoffensif dans la quasi-totalité des installations.

- **Inconvénients de l'adsorption**

- Les groupes à adsorption sont plus chers, plus lourds et plus volumineux que les groupe à absorption et leur choix moins grand.

### III-3-8-3 L'efficacité énergétique ou COPfroid

Le COPfroid d'une machine à adsorption est très inférieure à celui d'une machine à compression mécanique traditionnelle. Cependant, la valeur du COPfroid est essentiellement fonction de l'énergie calorifique apportée aux chambres d'adsorption pour la régénération de l'adsorbant (l'énergie nécessaire au fonctionnement des circulateurs étant faible par rapport à Q chambre a dsorption).

### III-3-9 Le rafraîchissement évaporatif potentialisé par dessiccation

Les installations de rafraîchissement évaporatif potentialisé par dessiccation produisent directement de l'air frais, contrairement aux groupes frigorifiques à compression mécanique, à absorption ou à adsorption qui eux refroidissent un fluide intermédiaire (en l'occurrence l'eau alimentant par exemple des ventilo-convecteurs, des plafonds rayonnants ou un batterie froide à eau glacée de CTA). Une des particularités de ce système est qu'il est composé de deux gaines d'air (air entrant, air sortant) placées côte à côte.

On trouve également, en plus par rapport à une centrale de traitement d'air classique une roue dessicatrice ou déshumidificatrice placée en tandem avec une roue thermique (échangeur de chaleur).

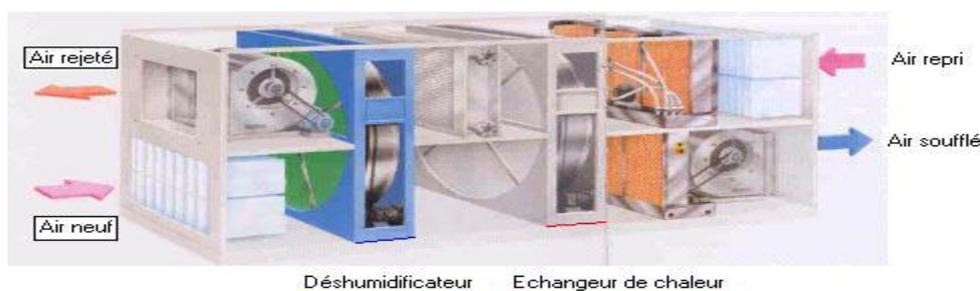


Figure 3.22 : Centrale de traitement d'air classique avec roue déshumidificatrice

Ces installations n'utilisent pas non plus de batterie froide conventionnelle (à détente directe ou à eau glacée) mais s'appuient sur l'idée de refroidir de l'air non saturé en vapeur d'eau par humidification de celui-ci. En effet en pulvérisant de fines gouttelettes d'eau dans un flux d'air, celles-ci s'évaporent en soutirant de l'énergie à l'air les traversant et refroidissent ce dernier.

Globalement, dans le système "eau + air", rien ne se perd, rien ne se crée. L'énergie totale est conservée : l'énergie de l'air "sec et chaud" est égale à l'énergie de l'air "froid et humide". On dit que la transformation est "isenthalpique" ou encore "adiabatique". Sur le diagramme de l'air humide, l'évolution de l'air suit une isenthalpe. Au maximum, l'air peut atteindre la saturation.

- **Evolution des caractéristiques de l'air entrant et de l'air sortant**

- **Flux d'air neuf (entrant)** (voir figure 3-22)

1-2 : L'air est déshumidifié au travers de la roue à dessiccation. Il en résulte une diminution de son taux d'humidité et une augmentation de sa température (l'adsorption est exothermique).

2-3 : L'air passe dans l'échangeur thermique et est refroidi par l'air passant dans la gaine supérieur défini par le point 7. Il en résulte une diminution de température.

3-4 : L'air passe dans l'humidificateur, son taux d'humidité augmente et sa température diminue du fait de l'évaporation de l'eau.

4-5 : L'air se réchauffe légèrement du fait du passage dans le ventilateur.

*Flux d'air vicié (sortant)*

6-7 : L'air passe dans l'humidificateur, son taux d'humidité augmente et sa température diminue du fait de l'évaporation de l'eau.

7-8 : L'air refroidi par évaporation directe passe dans l'échangeur thermique et refroidi l'air entrant passant dans la gaine inférieure. Sa température augmente.

8-9 : L'air passe dans la batterie chaude de régénération. Sa température augmente.

9-10 : La température de l'air sortant est suffisante et permet de régénérer la roue déssicatrice en la traversant.. L'adsorbant de la roue déssicatrice désorbe la vapeur d'eau et soutire de l'énergie à l'air (la désorption étant endothermique). Il en résulte une augmentation de l'humidité de l'air et une baisse de sa température.

10-11 : L'air se réchauffe légèrement du fait du passage dans le ventilateur.

### **III-3-10 Le stockage de froid**

Dans les systèmes de climatisation utilisant de l'eau glacée, un ballon de stockage de « froid » peut être utilisé. Le principal avantage est de pouvoir découpler le fonctionnement du groupe frigorifique de production d'eau glacée, de la demande de climatisation.

Dans la climatisation conventionnelle, c'est à dire utilisant des groupes frigorifiques de production d'eau glacée à compression mécanique cette possibilité de stocker des « kW froid » est très intéressante. En effet cela permet de produire de l'eau glacée la nuit, c'est à dire quand le prix du kWh électrique est le moins cher, de la stocker et de l'utiliser le jour quand il y a un besoin de climatisation.

- **La bâche d'eau glacée**

Il s'agit d'un réservoir d'eau glacée, disposé sur le circuit d'eau glacée des installations de climatisation. Il permet d'accumuler du froid, particulièrement durant la nuit.

On l'appelle encore "ballon d'eau glacée" ou "bâche d'eau glacée". Il se dissocie de son "concurrent", le stockage par bac à glace, par le fait que la réserve de froid ne se fait que sur la chaleur sensible de l'eau, entre 12° et 5°C. D'où :

### ➤ **Inconvénient**

Le stockage de kWh frigorifiques est fort limité...

### ➤ **Avantages**

La machine frigorifique conserve ses caractéristiques traditionnelles de température de travail, et donc son rendement.

- l'installation est simple et sa régulation aussi.

- pour les grands bâtiments, il est parfois possible de valoriser le réservoir d'eau obligatoire pour la protection incendie

### • **Bac à glace**

Il s'agit d'un réservoir de glace, disposé en parallèle ou en série avec le circuit d'eau glacée des installations de climatisation. Il permet d'accumuler du froid, particulièrement durant la nuit.

Il se dissocie de son "concurrent", le ballon d'eau glacée, par le fait que la réserve de froid profite de la chaleur latente de l'eau ou d'un sel :

Au moment du refroidissement (phase de stockage), il y a cristallisation ou solidification, en plus du refroidissement de l'eau et de la glace.

## **III-3-11 Configurations générales des systèmes de climatisation solaire**

Nous avons décrit les différents composants pouvant intervenir dans une installation de climatisation solaire thermique.

### • **Climatisations solaires thermiques autonomes et climatisations solaires thermiques avec appoint**

Une des décisions fondamentales au niveau de la conception de systèmes de climatisation solaire est la fraction solaire, c'est à dire la proportion d'énergie fournie par les panneaux solaires par rapport au besoin total d'énergie pour assurer la climatisation des locaux.

### ➤ **Climatisation solaire thermique avec appoint**

On peut décrire cette catégorie en abordant différents points la caractérisant :

La stratégie générale de ces systèmes est d'utiliser toute l'énergie solaire disponible pour la climatisation si cette dernière est nécessaire. Le but est d'obtenir les conditions de confort désirées avec l'utilisation maximum d'énergie solaire et donc sans utiliser de source de chaleur d'appoint.

### ➤ **Climatisations solaires thermiques autonomes**

Il est important de noter que la première catégorie se définit par opposition à la seconde, c'est à dire qu'elle ne possédera pas de système fournissant un appoint de chaleur pour compléter l'apport d'énergie calorifique solaire. La totalité de l'énergie calorifique nécessaire au fonctionnement de la climatisation sera fournie par le soleil.

Pour autant elle ne sera pas totalement autonome énergétiquement. En l'occurrence, elle aura besoin d'énergie électrique pour le fonctionnement des ventilateurs, des divers circulateurs ainsi que pour les divers systèmes de régulation et de gestion de l'installation.

### **III-4 Conclusion**

Dans ce chapitre nous avons présentée des systèmes de chauffage et climatisation pour l'habitat et nous avons proposé un système de chauffage combiné puis nous avons présentée chaque sous système, et la climatisation avec ces composantes et équipements.

### IV-1 Calcul des déperditions de l'habitat

Dans le cadre de notre étude nous avons procédé au dimensionnement d'une habitation dans le climat de Tlemcen qu'on a équipé d'un chauffage et d'une climatisation par voie solaire, il s'agit d'une maison bâtit sur terre pleine « pas de cave » et d'un seul niveau« voire figure 4-1», les caractéristiques de la maison sont résumé dans le «tableau 4-1 ».

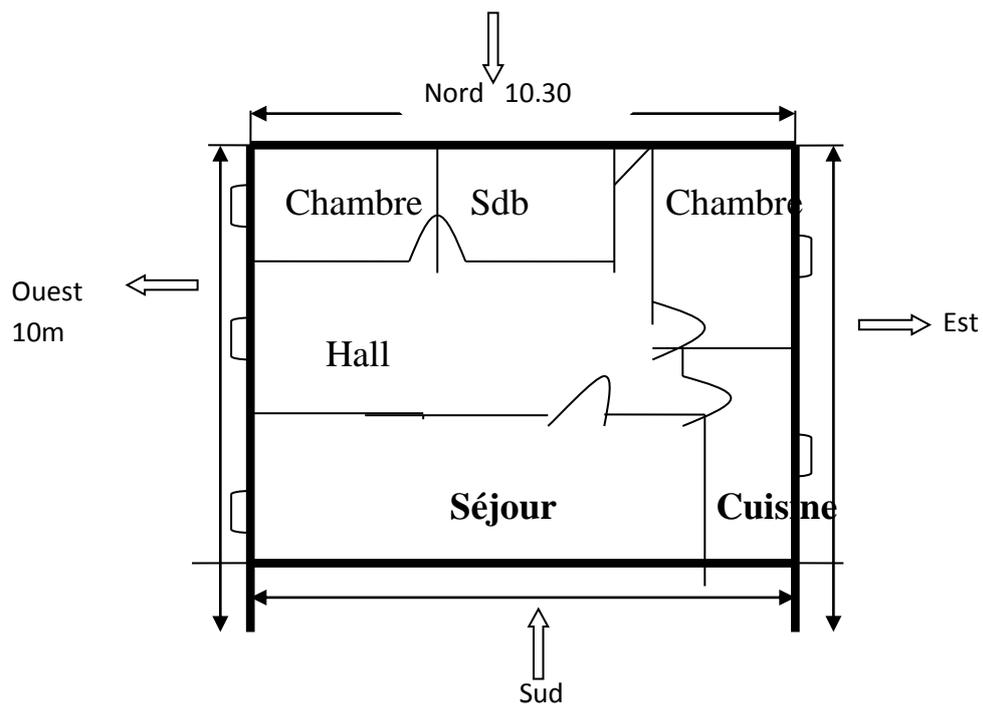


Figure 4.1 : Schéma de l'habitation

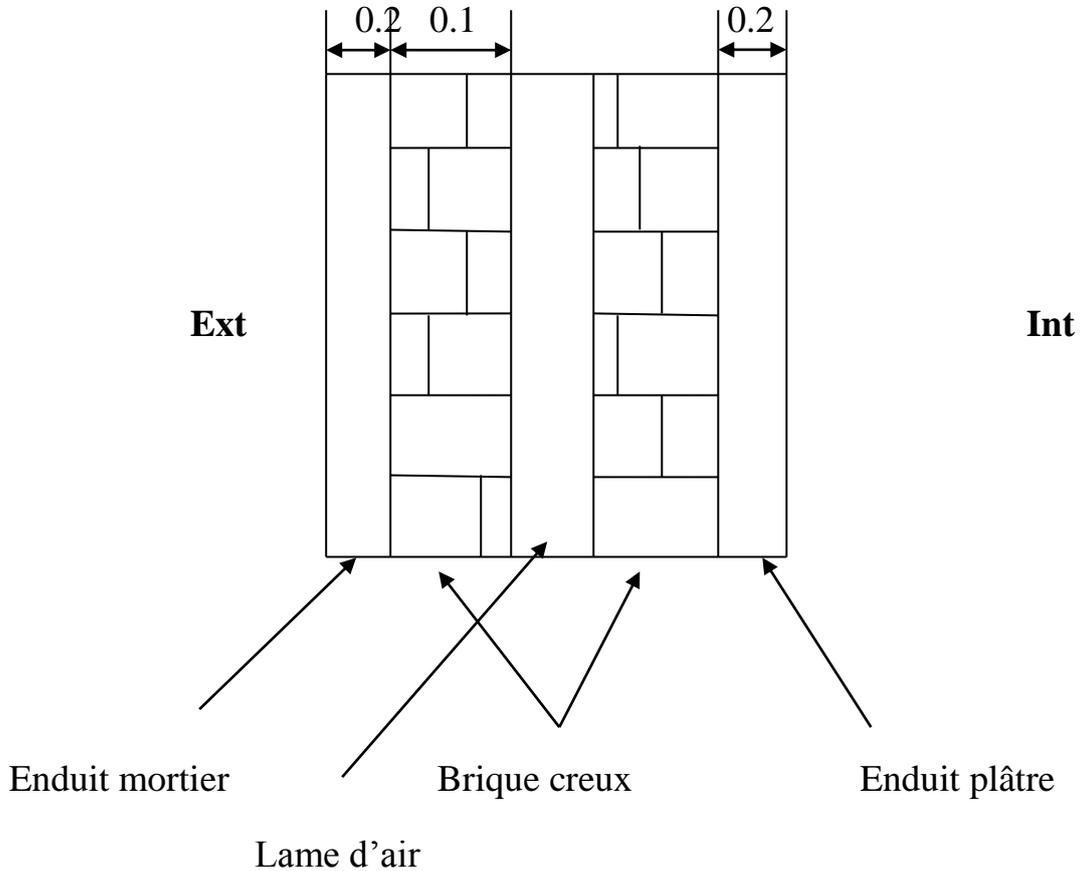
surface	(M <sup>2</sup> )
Surface totale	103
Surface fenêtre	1.80
Surface porte	3.3
hauteur	2.5m

Tableau 4.1 : Dimensions et surfaces

## Chapitre IV : Calculs du conditionnement d'air

---

Le « K » est généralement donnée dans le cas contraire, il faut le calculer pour cela il faut connaître les constituants du mur.



*Figure 4.2 : Composantes des parois*

- Enduit plâtre :  $\lambda=0.35$  (w/m°C).  
Epaisseur = 0.02 m.
- Brique creuse : Epaisseur = 10 cm.
- Lame d'air : Epaisseur = 4cm.
- Enduit mortier :  $\lambda = 1.15$  (w/m°C).  
Epaisseur = 0.02 cm.

- $$K = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_e} + \sum_{i=1}^r \frac{e_i}{\lambda_i}} \quad (4-1).$$
- $$\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_e} = 0.17$$

## Chapitre IV : Calculs du conditionnement d'air

---

- Enduit plâtre :

$$\left\{ \begin{array}{l} E_1 = 0.02 \text{ m.} \\ \lambda_1 = 0.35 \text{ w/ m}^\circ\text{c.} \end{array} \right.$$

- Brique creuse :

$$\left\{ \begin{array}{l} E_2 = 0.1 \text{ m.} \\ \lambda_2 = 0.2 \text{ w/ m}^\circ\text{c.} \end{array} \right.$$

- lame d'air :

$$\left\{ \begin{array}{l} E_3 = 0.04 \text{ m.} \\ \lambda_3 = 0.11 \text{ w/ m}^\circ\text{c.} \end{array} \right.$$

- Brique creuse :

$$\left\{ \begin{array}{l} E_4 = 0.1 \text{ m.} \\ \lambda_4 = 0.11 \text{ w/ m}^\circ\text{c.} \end{array} \right.$$

- Enduit mortier :

$$\left\{ \begin{array}{l} E_5 = 0.02 \text{ m} \\ \lambda_5 = 1.15 \text{ w/ m}^\circ\text{c.} \end{array} \right.$$

• 
$$\sum_{i=1}^5 E = \frac{E_1}{\lambda_1} + \frac{E_2}{\lambda_2} + \frac{E_3}{\lambda_3} + \frac{E_4}{\lambda_4} + \frac{E_5}{\lambda_5} \quad (4.2)$$
$$= 0.057 + 2(0.5) + 0.363 + 0.01$$

## Chapitre IV : Calculs du conditionnement d'air

$$= 1.43 \text{ m}^2\text{°C/ w.}$$

- $\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_e} = 0.17 \text{ m}^2\text{°C/ w.}$
- $K = \frac{1}{0.17 + 1.43} = 0.625 \text{ w/m}^2\text{°C.}$
- $K = 0.62 \text{ w/m}^2\text{°C.}$

### IV-1-1 Les caractéristiques des parois et la toiture

<i>parois</i>	<i>constitution</i>	<i>Epaisseur en cm</i>	<i>Masse volumique en kg/m<sup>3</sup></i>	<i>Surface totale en m<sup>2</sup></i>	<i>K (w/m<sup>2</sup>•c)</i>
<i>toiture</i>	<i>Dalle armée en béton</i>	<i>20</i>	<i>400</i>	<i>103</i>	<i>0.70</i>
<i>Mur mixte</i>	<i>Brique creuse de type classique avec enduit intérieur en plâtre de 1cm et un enduit ext de mortier bâtard de 1.5cm</i>	<i>32.2</i>	-	-	<i>1.15</i>
<i>plancher</i>	<i>Sol sur terre pleine</i>	-	-	<i>103</i>	<i>0.92</i>
<i>Fenêtre avec simple vitrage</i>	-	-	-	-	<i>4.95</i>
<i>porte</i>	<i>bois</i>	-	-	-	<i>5</i>

*Tableau 4.2 : caractéristiques des parois et les toitures*

### IV-1-2 Calcul de du coefficient de déperdition volumique (G)

$$G = \frac{\sum K_i.S_i}{V_h} + C_v Z \quad \text{En (w/m}^3\text{°C)} \quad (4.3)$$

$$G = \frac{D_i}{v_h} + \frac{D_e}{v_h} .$$

$$V_h = 103 \cdot 2,5 = 257,5 \text{ m}^3.$$

- Face sud :
- Surface :  $103 \cdot 2,5 = 257,5 \text{ m}^3$ .

$$\sum K_i \cdot S_i = K_{\text{mur}} \cdot S_{\text{mur nette}} + K_p \cdot S_p + K_f \cdot S_f. \quad (4.4)$$

- Fenêtre :

$$3 \cdot 1,80 = 5,4 \text{ m}^2.$$

- Porte :

$$1 \cdot 3,3 = 3,3 \text{ m}^2.$$

$$S_{\text{nette}} = S - (5,4 + 3,3).$$

$$= 25,57 - (5,4 + 3,3) = 17,05.$$

$$\sum K_i \cdot S_i = 1,15 \cdot 17,05 + (4,95 \cdot 5,4) + (5 \cdot 3,3).$$

$$= 62,84 \text{ w/}^\circ\text{c}.$$

- Face nord :

$$\text{Surface brut, } S = 25,75 \text{ m}^2.$$

$$S_{\text{net}} = 25,75 - 3,3 = 22,45 \text{ m}^2.$$

$$\sum K_i \cdot S_i = 1,15 \cdot 22,45 + 5 \cdot 3,3 = 42,32 \text{ w/}^\circ\text{c}.$$

- Face Ouest :

$$S_{\text{brut}} = 10 \cdot 2,50 = 25 \text{ m}^2.$$

$$S_{\text{fenet}} = 3 \cdot 1,8 = 5,4 \text{ m}^2.$$

$$S_{\text{net}} = 25 - 5,4 = 19,6 \text{ m}^2.$$

$$\sum K_i \cdot S_i = 1,15 \cdot 19,6 + 4,95 \cdot 5,4$$

$$= 49,27 \text{ w/}^\circ\text{c}.$$

## Chapitre IV : Calculs du conditionnement d'air

---

- Face Est :

$$S_{\text{brut}} = 10. 2,50 = 25 \text{ m}^2.$$

$$S_{\text{fenet}} = 2. 1,8 = 3,6 \text{ m}^2.$$

$$S_{\text{net}} = 25 - 3,6 = 21,4 \text{ m}^2.$$

$$\sum Ki . Si = 21,4.1,15 + 4,95 .3,6 = 42,43 \text{ w/}^\circ\text{c}.$$

- Plancher :

$$S_{\text{pl}} = 103 \text{ m}^2.$$

$$\sum Ki . Si = 0,92 .103 = 94,76 \text{ w/}^\circ\text{c}.$$

- Toiture :

$$S_{\text{t}} = 103 \text{ m}^2.$$

$$\sum Ki . Si = 103. 0,70 \text{ w/}^\circ\text{c}.$$

Dans cette étude en néglige les déperditions par renouvellement d'air.

- Calcul de G :

$$G = \frac{\sum Ki . Si}{vh} + Cv \dot{Z}. \quad (4.5)$$

$$G =$$

$$\frac{\sum (Ki.Si)_{\text{sud}} + \sum (Ki.Si)_{\text{nord}} + \sum (Ki.Si)_{\text{ouest}} + \sum (Ki.Si)_{\text{est}} + \sum (Ki.Si)_{\text{toit}} + \sum (Ki.Si)_{\text{plancher}}}{vh}$$

$$(4.6)$$

$$G = \frac{62,84 + 42,32 + 49,27 + 42,43 + 94,76 + 72,1}{vh}.$$

$$G = 1,412 \text{ w/}^\circ\text{c}.$$

La valeur de coefficient de déperdition volumique trouvé montre que l'habitat est bien isolé.

### IV-2 Calcul des besoins en chauffage pour chaque mois de la saison hivernale

	NOV	DEC	JAN	FEV	MARS	AVR
T <sub>ext</sub> (°C)	15,54	11,53	10	11,35	13,52	14,71
T <sub>int</sub> (°C)	20	20	20	20	20	20
Δ=T <sub>ext</sub> - T <sub>int</sub>	4,46	8,47	10	8,65	6,48	5,29

*Tableau 4.3 : Besoin en température*

$$B = G \cdot V_h \cdot \Delta T \cdot 24 \cdot n / 1000 = \dot{m} \cdot Z \cdot P_{Cl} \quad (4.7)$$

	NOV	DEC	JAN	FEV	MARS	AVR
B(kW/mois)	1167,56	2217,32	2617,85	2264,44	1696,36	1384,84

*Tableau 4.4 : Besoin en chauffage*

#### IV-2-1 Calcul des besoins nets mensuels de chauffage de la maison

$$B_{net} = B - \sum \text{Apporte interne} \quad (4.8)$$

	NOV	DEC	JAN	FEV	MARS	AVR
A <sub>0</sub>	336,96	348,19	314,49	348,19	348,19	336,96
A <sup>e</sup>	61,80	63,86	63,86	57,68	63,86	61,80
A = A <sub>0</sub> + A <sup>e</sup>	398,76	412,05	412,05	372,17	412,05	398,76
B <sub>net</sub> = B - A B <sub>net</sub>	768,78	1805,27	2205,8	1892,27	1284,31	986,08

*Tableau 4.5 : Besoin nets mensuels de chauffage de la maison*

- **Température à admettre dans les locaux**

- Salle a mangé : 20°C.
- Chambre : 18 °c.
- Buanderie : 15 °c.
- Bureau : 18 °c.
- Salle de bain : 20 à 22 °c.

Volume du local en m <sup>3</sup>	Renouvellement d'air
0 < V < 100	1 v/h
100 < V < 500	0.75 v/h
500 < V < 1000	0.5 v/h

*Tableau 4.6 : Volume du local*

### IV-3 Conditionnement d'hiver

En souhaite conditionner cette habitation dont les déperditions (hiver) sont de 8360kj/ h, pour assurer une température de 18°C et de 70 % d'humidité à l'intérieur pour 0°C et 60% d'humidité à l'extérieur. Dans cette habitation, les machines, l'éclairage est produit d'une part 2090 kj/ h de chaleur et d'autre part 325g/h de vapeur d'eau.

De plus la quantité d'air minimale à renouveler (air neuf) est de 1296m<sup>3</sup>/h.

#### IV-3-1 Détermination des caractéristiques de l'air soufflé

La droite  $\delta$  caractérise l'évolution des caractéristique de l'air soufflé, nous reportons la pente  $\delta$  en tracant une parallèle passant par le point « A » du diagramme .qui schématise les caractéristique de l'air dans la salle. Voir figure 4.3

$$S = \begin{cases} T_s = 27^\circ \text{ c .} \\ \varphi = 39\% \\ I_s = 49 \text{ kj/kg a.s.} \end{cases}$$

Pour le diagramme les caractéristiques de l'air soufflé schématisé dans le diagramme par le point S, on peut : soit fixer le débit total, soit la température  $T_s$  du soufflage, en générale en se fixe la température de soufflage.

$$Q_{\text{nette}} = \dot{m}q_s(h_s - h_A) = \dot{m}q_s \cdot c_p(T_s - T_A). \quad (4.9)$$

En prend  $T_s = 27^\circ \text{ c}$ .

Le point S se détermine en prenant l'intersection de la parallèle a  $\delta$  passant par « A » et de l'horizon  $T_s = 27^\circ \text{ c}$ . On obtient ainsi le point S.

## Chapitre IV : Calculs du conditionnement d'air

On lisant sur le diagramme on obtient  $\varphi = 39\%$  et  $X_s = 0,0085\text{kg d'eau /kg air sec.}$

$$Q_{\text{nette}} = \dot{m}_s \cdot (h_s - h_A)$$

$$\text{Avec : } \begin{cases} h_s = 49 \text{ kJ/kg a.s} \\ h_A = 42 \text{ kJ/kg a.s} \end{cases}$$

$$X_A = 0,009\text{kg/kg.A.S.}$$

$$q_s = \frac{15000}{49-42} = 2144\text{kg/h} \quad \text{c'est le débit d'air soufflé.}$$

### IV-3-2 Détermination des caractéristiques du mélange

Le mélange M entre l'air repris (point A) et l'air extérieur (point E) : Figure4.4 :

- Air repris :  $\begin{cases} T_A = 18 \text{ }^\circ\text{C} \\ \varphi_A = 70\% \\ X_A = 0.009 \\ h_A = 42 \text{ kJ /kg a.s} \end{cases}$

- \* Air Extérieur  $\begin{cases} T_E = 0 \text{ }^\circ\text{C} \\ \varphi_E = 60\% \end{cases}$

- Le débit soufflé = débit d'air repris  $q_A$  + débit d'air neuf  $q_E$   
 $q_s = q_A + q_E$  (4.10).  
 $q_s = 2143 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$

Le débit volumique de l'extérieur :  $V_E = 400 \text{ m}^3/\text{h.}$

$$V_{1+x} = (287 + 462 \cdot (0.009)) \cdot \frac{273+18}{101325}$$

$$V_{1+x} = 0,836 \text{ m}^3/\text{h.}$$

Le débit massique renouvelé de l'intérieur :

## Chapitre IV : Calculs du conditionnement d'air

$$V_E = 1296(\text{m}^3/\text{h}).$$

$$q_E = (\text{kg}/\text{h}). \quad \Longrightarrow \quad q_E = \frac{VE}{V_{1+x}}. \quad (4.11)$$

$$q_E = \frac{1296}{0.836} = 1550\text{kg}/\text{h}.$$

D'où on peut déduire de (\*) le débit repris  $m_A/m_E$

$$q_A = q_S - q_E.$$

$$q_A = 2144 - 1550 \quad \Longrightarrow \quad q_A = 594\text{kg}/\text{h}.$$

$$\frac{q_A}{q_E} = \frac{M_E}{M_A} \quad (4.12)$$

$$\frac{M_A}{M_E} = \frac{\text{débit d'air repris à l'extérieur}}{\text{débit d'air repris dans l'intérieur}} = \frac{q_E}{q_A} = \frac{1550}{594} = 2,61$$

On mesure sur le diagramme la distance EA qui est égale à 7,7cm, d'où

$$\frac{m_E + m_A}{m_E} = 1 + \frac{m_A}{m_E} = 1 + 2.61$$

$$3,61 = \frac{EA}{ME} = \frac{7.7}{ME}.$$

D'autre part :  $m_E + m_A = EA = 7.7 \text{ cm}.$

$ME = 2.13 \text{ cm} \quad \Longrightarrow \quad \text{A partir du graphe} \quad \Longrightarrow \quad M$

$$T_M = 5.1 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

$$\phi_M = 79 \text{ } \%.$$

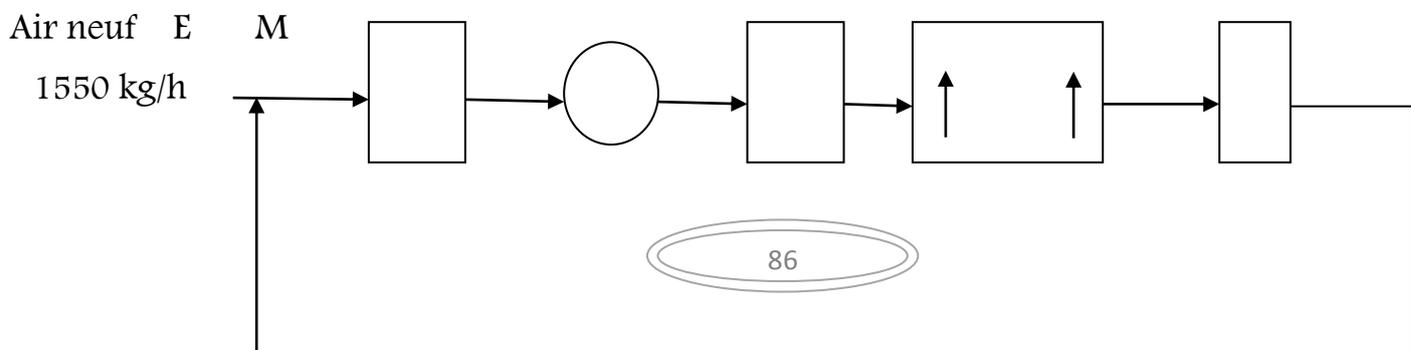
$$X_M = 4.2\text{g}/\text{kg d'air sec}.$$

$$h_M = 15.05 \text{ kJ}/\text{kg a.s}$$

### IV-3-3 Traitement de l'air : (voir Figure 4.4).

Le traitement d'air consiste à ramener l'air ayant les caractéristiques du mélange (point M) au caractère du point de soufflage (point S).

Pour passer du point « M » au point « S » on doit procéder comme suite :



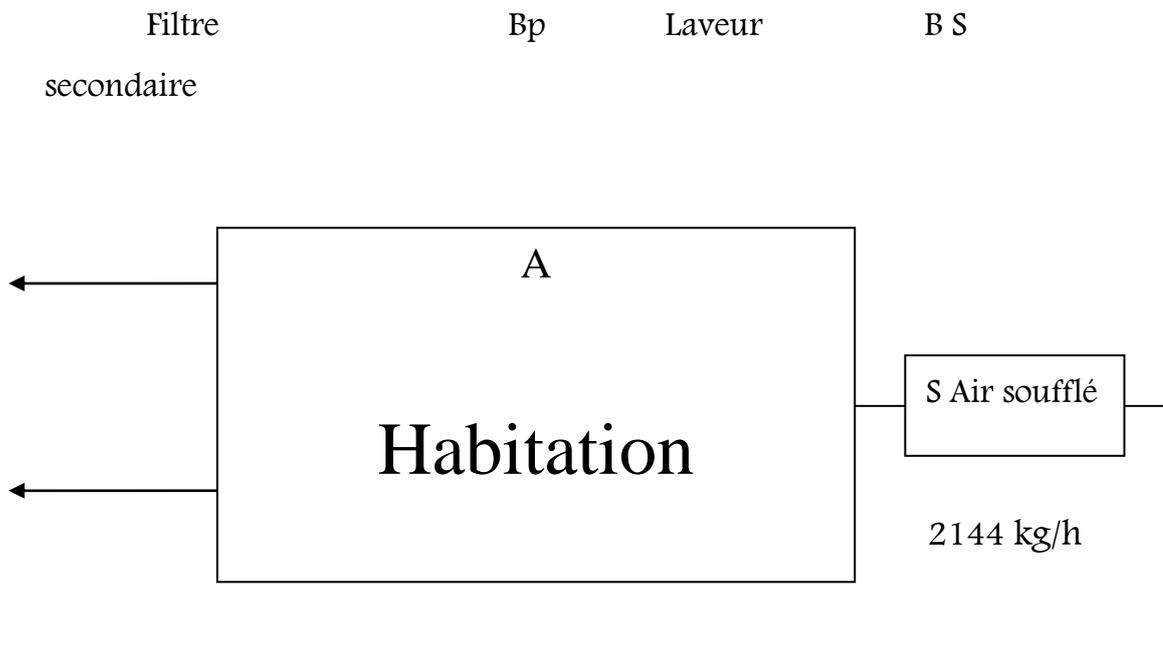


Figure 4.6 Installation de la centrale de traitement d'air (Hiver)

Air extrait

- 1) En effectue un chauffage jusqu'au point B dans la batterie de réchauffage (B.P) a  $x=cst$ .
  - 2) En humidifie en suite l'air a une enthalpie constante jusqu'au point de saturation  $\phi = 100\%$  mais en pratique la sortie de l'air humidifier se rapproche a  $\phi = 95\%$ .
- Le point B se détermine par l'intersection de la droite  $x_m = x_B = cst$  et la droite de l'isenthalpie  $.h_c = h_B$ . (voir Figure 4.5).

$$\begin{array}{l}
 B \left\{ \begin{array}{l} T_B = 14 \text{ }^\circ\text{C.} \\ \phi_B = 41\%. \\ X_B = X_M = 4.2 \text{ g/kg a.s} \\ h_B = h_C = 24 \text{ kJ/kg a.s} \end{array} \right. \quad C \left\{ \begin{array}{l} T_c = 8.4 \text{ }^\circ\text{C} \\ \phi_c = 95\% \\ X_c = 8.5 \text{ g/kg a.s} \\ h_c = 24 \text{ kJ/kg a.s} \end{array} \right.
 \end{array}$$

### IV-3-4 Caractéristiques des appareils

- **La batterie**  
-batterie primaire :

$$Q_{nette} = qs. (h_B - h_M) \quad (4.13)$$

$$Q_{nette} = 2144.(24 - 15.05)$$

$$Q_{nette} = 19190 \text{ kJ/h.}$$

- Batterie secondaire :

$$Q_{nette} = \dot{m}_s. (h_S - h_C) \quad (4.14)$$

$$Q_{nette} = 2144. (49 - 24)$$

$$Q_{nette} = 2119 \text{ kJ /h.}$$

- Humidificateur :

$$\dot{m}_e = 1550 (0,0085 - 0,0042) = q_e (x_c - x_b)$$

$$\dot{m}_e = 6,6 \text{ kg /h}$$

- Ventilateur :

$$V(1+x) = (287 + 462 \cdot 0,0042) \frac{287}{101325} \quad (4.15)$$

$$V(1+x) = 0,818 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$V_m = 1296 \cdot 0,818$$

$$V_m = 1060 \text{ m}^3/\text{h}$$

### IV-3-5 Calcul et dimensionnement de la batterie chaude

La batterie chaude dans une installation classique est généralement une chaudière. Pour l'installation à voie solaire cette batterie chaude est le capteur solaire. On utilise dans cette étude un capteur solaire plan à eau.

#### IV-3-5-1 calcul de la conductance vers l'avant

On choisit une émittance de l'absorbeur-vitrage 25mm, pour le verre l'émittance est égale à 0.88. La température moyenne de l'absorbeur  $T_a = 100^\circ\text{C}$  contre une température ambiante  $T = 10^\circ\text{C}$ . Le capteur solaire est incliné d'un angle de  $45^\circ$ . Le coefficient de transfert de chaleur due au vent  $10 \text{ W}/(\text{m}^2\text{c})$  [1].

L'expression de la conductance vers l'avant est donné par :

## Chapitre IV : Calculs du conditionnement d'air

---

$$U_t = \left( \frac{1}{h_{c,pc}} + \frac{1}{h_w + h_{rc-a}} \right)^{-1} \quad (4.16)$$

Or

$$h_{rp-c} = \frac{\varepsilon(T_p^2 + T_c^2)(t_p + t_c)}{\frac{1}{\varepsilon_p} + \frac{1}{\varepsilon_c} - 1} \quad (4.17)$$

$h_{rp-c}$ : le coefficient d'échange par rayonnement entre l'absorbeur et la couverture vitrée.

Et

$$h_{r,c-a} = \varepsilon_c \varepsilon (T_c^2 + T_s^2)(t_c + t_s) \quad (4.18)$$

$h_{r,c-a}$ : le coefficient d'échange par rayonnement entre le vitrage et la voute celeste.

$$F = u_t(T_p - T_a) = (T_p - T_c)(h_{rp-c} + h_{r,c-a}) \quad (4.19)$$

$$u_t(T_p - T_a) / (h_{r,p-c} + h_{r,c-a}) = (T_p - T_c) \quad (4.20)$$

$$T_c = T_p - \frac{u_t(T_p - T_a)}{(h_{r,p-c} + h_{r,c-a})} \quad (4.21)$$

On estime une valeur de  $T_c$  comprise entre  $T_a < T_c < T_p$  on calcul  $h_{rp-c}$  et  $h_{r,c-a}$  et par la suite on calcul  $u_t$ , à partir des valeurs on estime à nouveau la valeur de  $T_c$  on arrête les itérations si la différence est petite.

On estime  $T_s = T_a = 10^\circ\text{C}$

Et que  $T_c = 35^\circ\text{C}$

$$D'où \quad h_{r,p-c} = \frac{5.67 \cdot 10^{-8} ((373)^2 + (308)^2)(273 + 308)}{\frac{1}{0.95} + \frac{1}{0.88} - 1}$$

$$h_{r,p-c} = 7.6 \text{ w/m}^2\text{ }^\circ\text{C}$$

$$h_{r,c-a} = 5.67 \cdot 10^{-8} \cdot 0.88 ((308)^2 + (283)^2)(308 + 283)$$

$$h_{r,c-a} = 5.16 \text{ w/m}^2\text{ }^\circ\text{C}$$

Pour calculer le coefficient de convection entre le vitrage et l'absorbeur, on détermine la température de couverture  $T_c$

## Chapitre IV : Calculs du conditionnement d'air

---

Propriété de l'air :  $T=67.5^{\circ}\text{C} \rightarrow v=1.96 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ ,  $\lambda=0.0293 \text{ w/m}^2\text{C}$ ,  $T=340.5 \text{ k}$

$$P_r=0.7$$

Le nombre de Raylet est le nombre de Nusselt sont donnés par [7]

$$\text{On calcule le } R_a = \frac{9.81(100-35)(0.025)^3(0.7)}{340.5(1.96 \cdot 10^{-5})^2}$$

$$R_a = 5.33 \cdot 10^4$$

$$N_u = 1 + 1.44 \left[ 1 - \frac{17085(\sin 1.8\beta)^{1.6}}{R_a \cos \beta} \right] \left[ 1 - \frac{1708}{R_a \cos \beta} \right] + \left[ \left( \frac{R_a \cos \beta}{5830} \right)^{1/3} - 1 \right] \quad (4.22)$$

$$N_u = 1 + 1.44 \left[ 1 - \frac{17085(\sin 1.8 \cdot 45)^{1.6}}{R_a \cos 45} \right] \left[ 1 - \frac{1708}{5.33 \cdot 10^4 \cos 45} \right] + \left[ \left( \frac{5.33 \cdot 10^4 \cos 45}{5830} \right)^{1/3} - 1 \right]$$

$$N_u = 3.19$$

$$h = n \cdot \frac{\lambda}{L} = 3.19 \cdot \frac{0.0293}{0.025} \rightarrow h = 3.73 \text{ w/m}^2\text{C}$$

$$\text{d'où } U_t = \left( \frac{1}{3.73+7.6} + \frac{1}{5.16+10} \right)^{-1}$$

$$U_t = 6.49 \text{ w/m}^2\text{C}$$

$$\text{On calcul à nouveau } T_c = 100 - \frac{6.49(90)}{3.73+7.6}$$

$$T_c = 48.5^{\circ}\text{C}$$

On calcul par la suite de la même façon que précédemment :

$$h_{r,p-c} = 8.03 \text{ w/m}^2\text{C}$$

$$h_{r,c-a} = 5.53 \text{ w/m}^2\text{C}$$

$$h_{c,p-c} = 3.52 \text{ w/m}^2\text{C}$$

Ce qui nous donne :  $U_t = 6.62 \text{ w/m}^2\text{C}$

## Chapitre IV : Calculs du conditionnement d'air

La conductance globale, en plus de la conductance vers l'avant, doit contenir la conductance vers l'arrière et la conductance latérale. Ces deux derniers étant très inférieurs la conductance vers l'avant. On peut estimer donc une conductance thermique globale de l'ordre de  $8 \text{ W/ (m}^2 \text{ C)}$

On calcul à nouveau  $T_c = 48.4^\circ\text{C}$

### IV-3-5-2 Calcul de l'efficacité du capteur

On prend une distance entre deux tubes consécutifs 150 mm et un diamètre intérieur de tube 10mm. L'épaisseur de la plaque absorbante est de l'ordre de 0.5mm et une conductivité thermique de  $385 \text{ W/ (m/ C)}$ . Le coefficient de transfert de chaleur à l'intérieur des tubes est égale à  $300 \text{ W/ (m}^2 \text{ C)}$ . L'efficacité de l'ailette « F » est donnée par :

$$F = \frac{th\left(m\left(\frac{w-d}{2}\right)\right)}{m\left(\frac{w-d}{2}\right)} \quad (4.23)$$

Le paramètre  $m$  est donné par:

$$m = \left(\frac{U}{\lambda \vartheta}\right)^{1/2} \quad (4.24)$$

$$m = \left(\frac{8}{385 * 5 \cdot 10^{-4}}\right)^{1/2} \quad (4.25)$$

$$m = 6.45$$

$$F = \frac{\frac{1}{8}}{8[0.01+(0.15-0.01)0.937] + \frac{1}{\pi(0.01)300}} \quad F = 0.841$$

### IV-3-5-3 Détermination du nombre des capteurs solaires

Afin d'obtenir une puissance thermique utile de 62700 w calculer précédemment. On dispose de capteurs ayant une surface de  $2\text{m}^2$  chacun.

## Chapitre IV : Calculs du conditionnement d'air

---

Pour une irradiation solaire moyenne  $I_c = 800 \text{ w/m}^2$ , est une température de l'eau à l'entrée du capteur  $T_e = 50^\circ\text{C}$ , et un débit d'eau  $B = 0.021 \text{ kg/m}^2\text{s}$  le facteur de conversion du capteur  $Fr$  est donné par :

$$Fr = \frac{G \cdot Cp}{U} \left[ 1 - \exp\left(-\frac{UF}{G \cdot Cp}\right) \right] \quad (4.26)$$
$$= \frac{0.021}{8} \left[ 1 - \exp\left(-\frac{8 \cdot 0.88}{0.021 \cdot 4188}\right) \right]$$

$$Fr = 10.99[1 - \exp(-0.800664)]$$

$$Fr = 0.845$$

Soit  $Q_{ul}$  : la puissance utile fournie par un seul capteur ayant une surface de

$$Q_{ul} = A_c \cdot Fr [I_c \cdot \tilde{\eta} - U(T_e - T_a)] \quad (4.27)$$
$$= 0.845 [800 \cdot 0.84 - 8(50 - 10)]$$

$$Q_{ul} = 594.88 \text{ w}$$

$$N = \frac{19190}{594.88} \quad N = 32.25$$

On prend donc 33 capteurs ayant chacun une surface de  $2 \text{ m}^2$  soit une surface de captage de  $66 \text{ m}^2$ .

### IV-4 Conditionnement d'été

On veut climatiser la même habitation pour une climatisation ont été .pour cela, on suppose que les apports calorifique par les parois et par rayonnement solaire soit de  $6696 \text{ Kj/h}$  .les machines, l'éclairage et les personnes apportent  $6270$

## Chapitre IV : Calculs du conditionnement d'air

---

Kj/h .La quantité de vapeur d'eau produite à l'intérieure de la salle = 325g/h .  
On admet un débit de renouvellement de 1296 m<sup>3</sup>/h

$$A \begin{cases} T_A = 24^\circ\text{C} \\ \varphi_A = 70 \end{cases}$$

$$E \begin{cases} \varphi_E = 60 \\ T_E = 30^\circ\text{C} \end{cases}$$

### IV-4-1 Détermination des caractéristiques de l'air soufflé

$$Q_{\text{net}} = 6696 + 6270 = 12966 \text{ kj/h}$$

$$\Delta x = 0.325 \text{ kg/h}$$

$$\delta = \frac{Q_{\text{net}}}{\Delta x} = \frac{+12966}{+0.325} \quad (4.28)$$

$$\delta = +3989.54 \text{ kj/kg}$$

Pour déterminer le point de soufflage, on fixe soit le débit de soufflage ou bien la température de soufflage à  $t_s = 20^\circ\text{C}$  on obtient :

$$T_s = 20^\circ\text{C}.$$

$$S \quad \varphi_s = 88\%.$$

$$X_s = 0,0128 \text{ kg/kg A.S. (voire la figure 4.7)}$$

Débit d'air de soufflage

$$Q_{\text{net}} = m_s (h_a - h_s) \quad (4.29)$$

$$q_s = \frac{Q_{\text{net}}}{h_a - h_s} \quad (4.30)$$

$$= \frac{12966}{57 - 52.4}$$

$$\Rightarrow q_s = 2818.7 \text{ kg/h}.$$

$$q_s = m_A + m_E \quad (4.31)$$

d'autre part  $q_s = 2818.7 \text{ kg/h}$  (calculé précédemment)

$$V_E = 1296 \text{ m}^3/\text{h}.$$

$$\text{Air dans la salle : } V_{1+x} = (287 + 462.0,013) \frac{297}{101325}$$

$$V_{1+x} = 0,86 \text{ m}^3/\text{kg air} \quad \text{dans la salle}$$

$$\Rightarrow q_E = \frac{1296}{0,86} \Rightarrow q_E = 150.6 \text{ kg/h}$$

$$D'où \quad q_a = q_s - q_e = 2818.7 - 150.6 \quad q_a = 2668.1 \text{ kg/h.}$$

### IV-4-2 Détermination des caractéristiques du mélange (point M)

$$\frac{q_A}{q_E} = \frac{ME}{MA} \quad (4.32)$$

$$\frac{MA}{ME} = \frac{\text{débit d'air repris à l'extérieur}}{\text{débit d'air repris dans l'intérieur}} = \frac{q_E}{q_A} \quad (4.33)$$

$$= \frac{150.6}{2668.1} = 0.05$$

On mesure sur le diagramme la distance EA qui est égale à 2.8cm, d'où

$$\frac{m_E + m_A}{m_E} = 1 + \frac{m_A}{m_E} = 1 + 0.05$$

$$1,05 = \frac{EA}{ME} = \frac{2.8}{ME}$$

D'autre part :  $m_E + m_A = EA = 2.8 \text{ cm}$  .

$$T_M = 24.3 \text{ °C.}$$

ME = 2.66 cm      à partir du graphe      M=       $\phi_M = 70 \%$ .

$X_M = 13.5 \text{ /kg d'air sec.}$

$h_M = 58 \text{ kJ/kg a.s}$

(Voir la figure 4.8)

### IV-4-3 Traitement de l'air (voire la figure 4.9).

Le traitement d'air consiste à ramener l'air ayant les caractéristiques du mélange (point M) aux caractéristiques du point de soufflage (point S).

Pour passer du point « M » au point « S » on doit procéder comme suit :

En effectuant un refroidissement jusqu'au point B (qui représente la sortie de la batterie froide) dans la batterie froide. le point B est déterminé comme suit :

## Chapitre IV : Calculs du conditionnement d'air

Le point B se détermine par l'intersection de la droite  $x_s = x_B = \text{cst}$ , en humidifie en suite l'air jusqu'au point de saturation  $\phi = 100\%$ . En pratique la sortie de l'air humidifié se rapproche à  $\phi = 95\%$

$$B \begin{cases} T_B = 17.8 \text{ }^\circ\text{C}. \\ \phi_B = 95\%. \\ X_B = X_s = 12.8 \text{ g/kg a.s} \\ h_B = 50 \text{ kJ/kg a.s} \end{cases}$$

### IV-4-4 Caractéristiques des appareils

- Les batteries:
  - batterie primaire (batterie froide) :

$$\begin{aligned} Q_{\text{nette}} &= q_s \cdot (h_M - h_B) & (4.34) \\ &= 2818.7 \cdot (58 - 50) \end{aligned}$$

$$Q_{\text{nette}} = 22549.6 \text{ kJ/h.}$$

- Batterie secondaire (batterie chaude) :

$$\begin{aligned} Q_{\text{nette}} &= q_s \cdot (h_S - h_B) & (4.35) \\ &= 2818.7 \cdot (52.4 - 50) \end{aligned}$$

$$Q_{\text{nette}} = 6764.9 \text{ kJ/h.}$$

- Humidificateur :

$$\begin{aligned} m_e &= q_e (x_M - x_B) & (4.36) \\ &= 150.6(0.0135 - 0.0128) \end{aligned}$$

$$m_e = 0,105 \text{ kg/h}$$

- Ventilateur :

$$V(1+x) = (287 + 462 \cdot 0,013) \frac{297}{101325}$$

$$V(1+x) = 0,86 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$V_m = V_e \cdot V(1+x) & (4.37)$$

$$= 129.6 \cdot 0,86$$

$$V_m = 111.5 \text{ m}^3/\text{h}$$

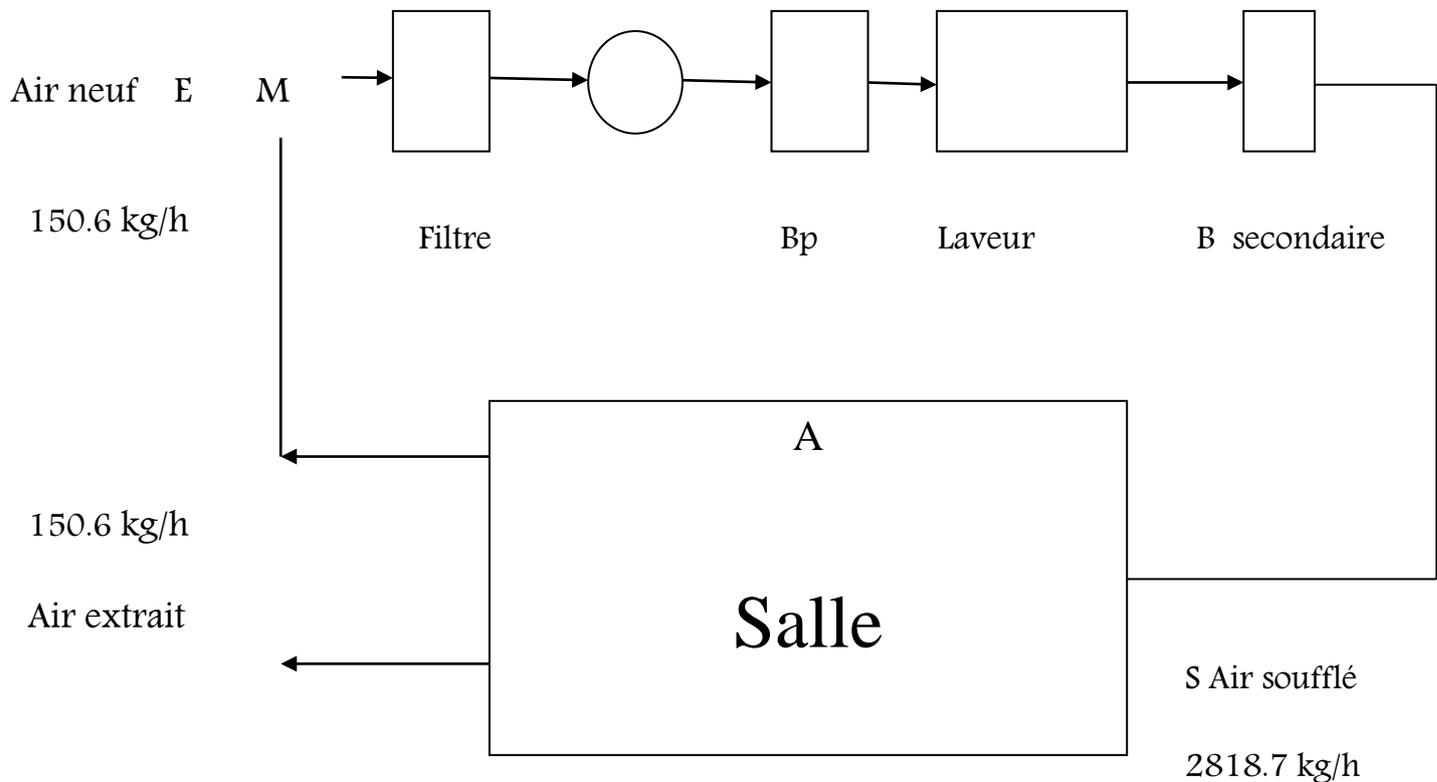


Figure 4.10 : Installation de la centrale de traitement d'air (Eté)

### IV-4-5 Calcul et dimensionnement de la batterie froide

La batterie froide dans une installation classique est généralement une installation frigorifique classique. Pour l'installation à voie solaire cette batterie froide est une installation de réfrigération à absorption ou le capteur solaire présente la source froide.

#### IV-4-5-1 Fonctionnement de la machine à absorption

Le principe de base du fonctionnement d'une machine frigorifique à absorption à base solaire reste le même que celui d'une machine à « compression mécanique » :

- Circulation d'un fluide frigorigène
- Evaporation du fluide avec production de froid
- Compression du fluide demandant un apport d'énergie

## Chapitre IV : Calculs du conditionnement d'air

- Condensation du fluide avec production de chaleur

La différence réside dans ce qui suit :

- Le moyen de comprimer le fluide :
  - Mécanique dans le cas d'une machine traditionnelle
  - Thermochimique dans le cas d'une machine à absorption
- L'énergie utilisée pour cette compression :
  - Electrique dans le cas d'une machine traditionnelle
  - Calorifique dans le cas de la machine à absorption

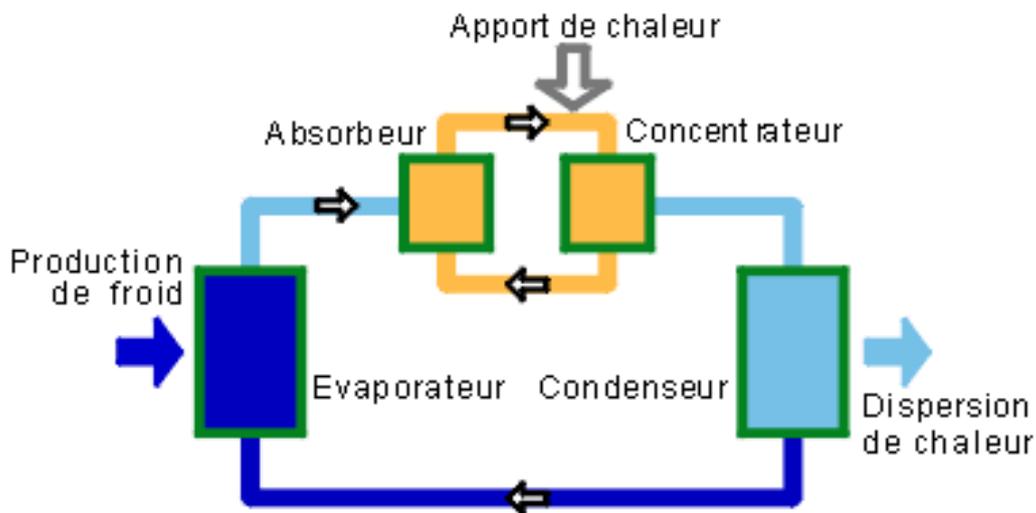


Figure 4.11: Machine frigorifique à absorption

- **Température à l'entrée du désorbeur**

La température reçoit la solution riche issue de l'absorbeur, après que celle-ci ait traversé la pompe. Si l'on suppose que la pression est isotherme, le liquide sera sous-refroidi et ne peut pas donc être représenté sur le diagramme d'Oldman, qui ne représente que des états d'équilibres liquide/vapeur. par contre le titre du point 4. A son entrée dans l'absorbeur, le liquide sera donc tout d'abord réchauffé jusqu'à la température  $T_5$ , donnée par l'intersection de l'iso titre  $x_r$  et de l'isobare  $p_h$ . la désorption commencera alors au point 5 ainsi définit dans la figure

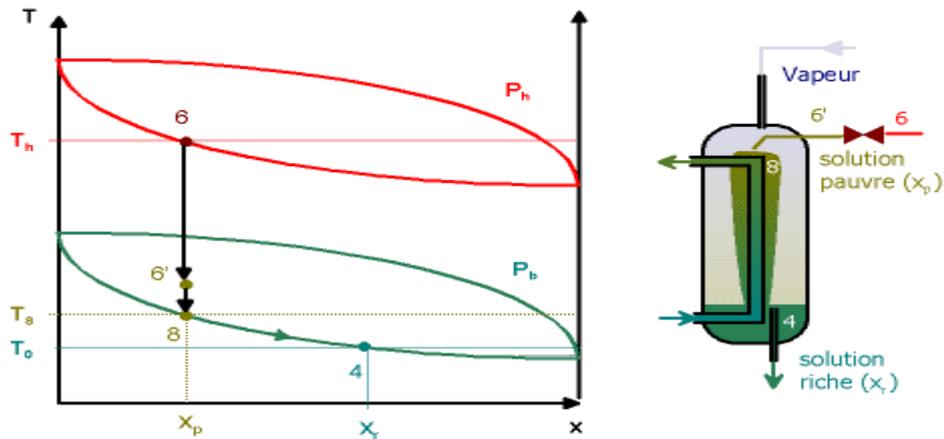


Figure 4.12: Détente et refroidissement de la solution pauvre.

En sortie de détendeur (6'), une partie de la solution s'est vaporisée. Le refroidissement provoque la recombinaison de cette vapeur avec la solution (6'-8) puis, l'absorption proprement dite (8-4) de vapeur provient de l'évaporateur et donc l'enrichissement de la solution.

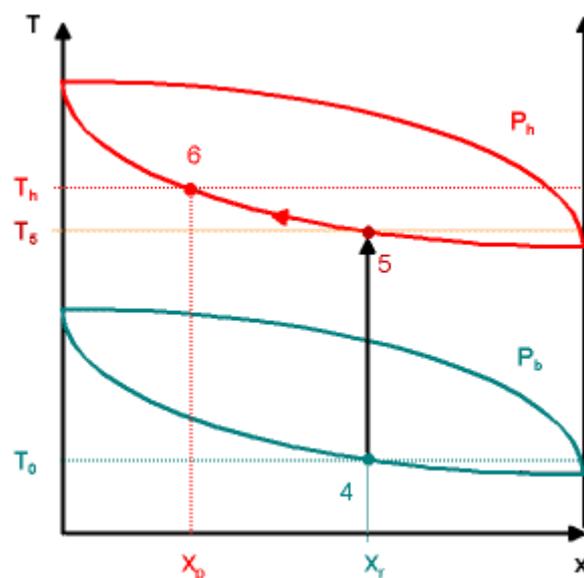


Figure 4.13 : Pressurisation et chauffage de la solution

Si la compression est isotherme, le point représentatif de la solution en sortie de la pompe est confondu avec 4 : le liquide est sous refroidi. Dans le débourbeur il

## Chapitre IV : Calculs du conditionnement d'air

---

est tout d'abord réchauffer jusqu'à  $t_5$  à titre constant. la désorption de vapeur peut alors commencer, et la solution s'appauvrit en ammoniac, qui sera condensé dans le condenseur.

- **Points caractéristiques du cycle de la solution**

Le relevé du diagramme d'Oldman permet de connaître les propriétés  $p, T_x$  de chaque point caractéristique du cycle.

point	1	2	3	4	5	6	7	8
$T^{\circ}\text{c}$	25	-33	-33	25	97	120	97	46
P(bars)	10	1	1	1	10	10	10	1
X(%NH <sub>3</sub> )	95	95	95	32	32	22	95	22

*Tableau 4.7: Propriété des points issus du diagramme d'Oldhman*

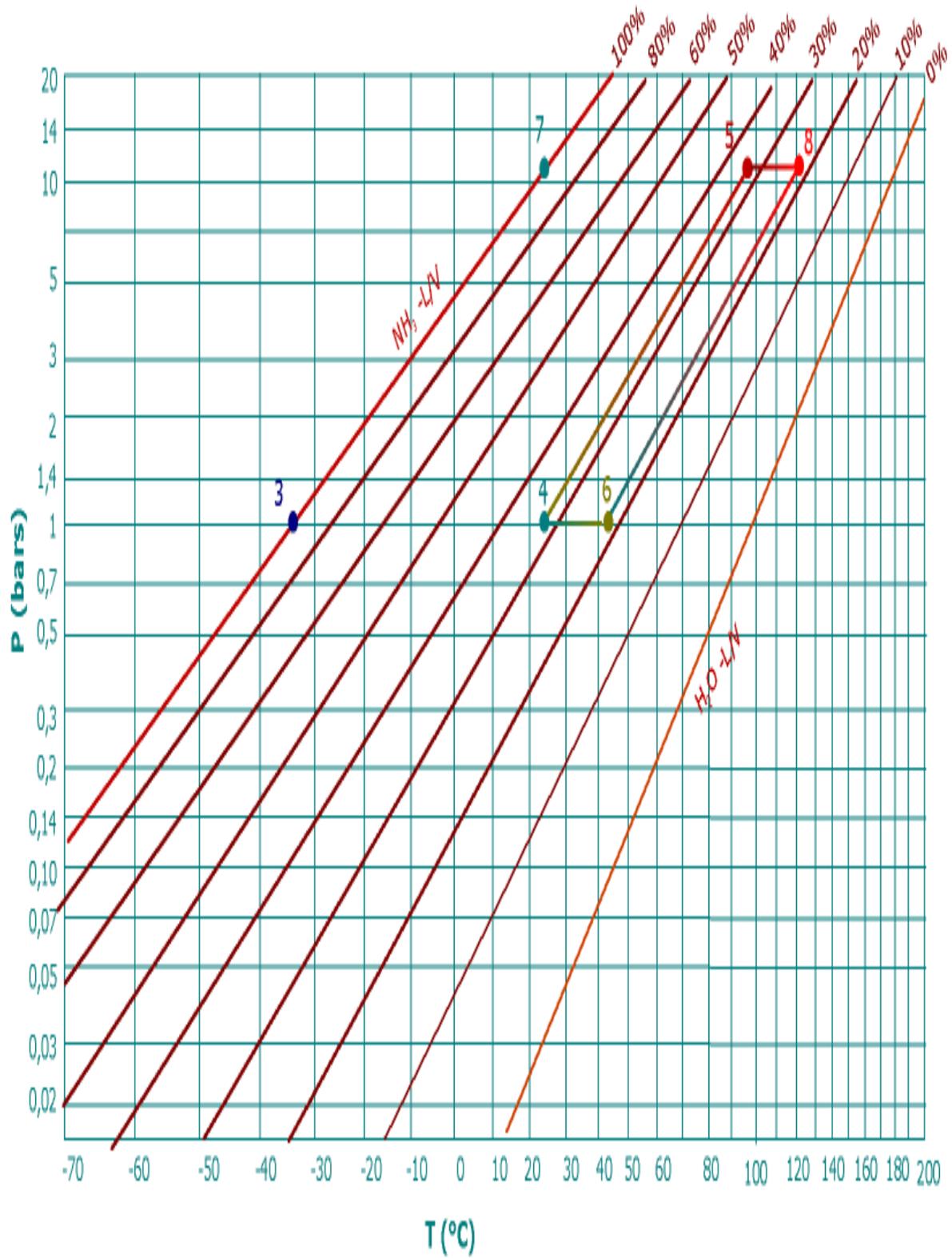


Figure 4.14 : Diagramme de oldham-couple  $\text{NH}_3/\text{H}_2\text{O}$

- **Diagramme de Merkel**

Ce diagramme permet une étude complète de la machine à absorption car, en plus des renseignements donnés par le diagramme de Oldham, il renseigne, ce qui est fondamental pour les calculs, sur l'enthalpie de la solution liquide (ou absorbant) et de la vapeur du soluté (ou absorbant). C'est un diagramme  $x, h$  paramètre en pression et température pour la solution, en pression pour la vapeur. Il permet de connaître la teneur du mélange vapeur en équilibre avec la solution. Le diagramme de Merkel pour le couple ammoniac/eau.

- **Trace du cycle.**

Solution liquide :

Le trace du cycle de la solution liquide est immédiat il suffit de reporter les points 4, 5, 6 et 8 définis précédemment (tableau 1).

Circuit frigorigène :

### **a) Sortie désorbeur (point 7)**

On suppose que les vapeurs issues du bouilleur sont en équilibre avec la solution liquide au point 5. Cette condition peut être réalisée en utilisant un désorbeur film ruisselant, avec circulation de liquide et de vapeur à contrecourant. Le point 7 est à l'intersection de l'isotherme de vapeur humide issue de 5, à Ph. On peut remarquer ici que les vapeurs contiennent une fraction d'eau, le titre de vapeur étant égal à 0,94. Il faut donc rectifier cette vapeur, c'est-à-dire purifier la vapeur d'ammoniac. Le désorbeur est donc associé à un rectifieur. Il s'agit soit d'un échangeur supplémentaire qui refroidit le mélange vapeur  $H_2O/NH_3$ , soit d'une colonne de rectification. Dans les deux cas, on obtient une vapeur d'ammoniac quasiment pure. Point 7":  $x=0,999$  en sortie et un reflux de liquide riche en eau 7" (figure 15). Les méthodes de rectification relèvent du génie chimique et sortent du cadre de ce cours. On retiendra que le reflux liquide 7 (riche en eau) contribue à augmenter la chaleur de désorption puisqu'il est introduit dans le désorbeur à une température  $T_7$  inférieure à  $T_6$  et dont le titre est différent de  $x_6$  : le diagramme de Merkel montre que l'enthalpie de 7 (qui est égale à 5 si on suppose un état d'équilibre au pied du rectifieur) est nettement inférieure à celle de 6, correspondant à la sortie liquide du désorbeur.

**b) Condenseur (7''-->1)**

Il y a condensation des vapeurs a titre constant. Le point 1 peut être trace en prolongeant l'isotitre 4=1 (verticale) jusqu'd la pression  $P_h=10$  bars correspondant a de l'ammoniac liquide sature. On remarquera que la température obtenue est la même que celle pris en compte pour l'analyse du cycle st- le diagramme d' Oldham : la température de condensation est égale a  $T_{sar}$  (10 bars).

**c) Détente (1—> 2)**

La détente étant isenthalpique et le titre global du mélange n'ayant pas changé, le point 2 est confondu avec le point I. Par contre, la pression étant maintenant égale a  $P_b$ , le diagramme de Merkel montre que le point 2 est dans la zone diphasique. La température de fin de détente correspond, comme pour une machine a compression de vapeur, a la température de saturation de l'ammoniac pour la pression  $P_b$  1 bars, c'est à dire  $T_2 = 240K = -33^\circ C$ .

**d) Evaporateur (2\_—>\_3)**

L'évaporateur reçoit un mélange liquide/vapeur d'ammoniac pur a la température  $T_2 = -33^\circ C$ . Comme pour le diagramme de Mollier, le titre peut être déterminé par la règle des leviers. Le point 3 (vapeur d'ammoniac saturée) se situe sur l'iso titre & 1 =1 et l'isobare vapeur  $P_b=1$  bars.

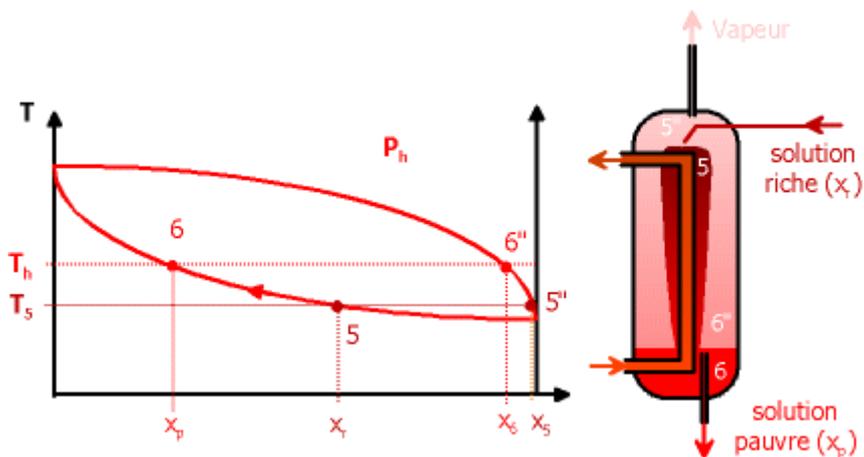


Figure 4.15 : Désorbeur à film ruisselant.

La vapeur circule à contre-courant du liquide.

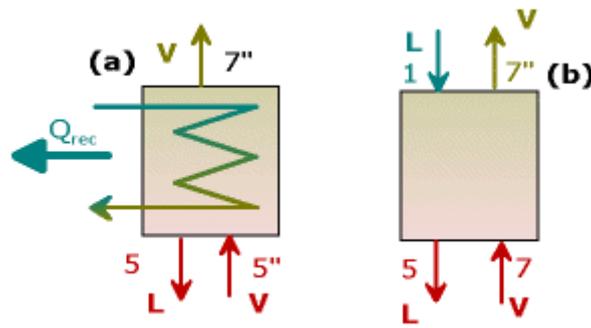


Figure 4.16 : Rectification de la vapeur. (a) : par échangeur vapeur/eau, (b) : par colonne de rectification.

Dans ce dernier cas, on introduit en tête de colonne un débit de liquide saturé provenant du condenseur. En général, ce débit est négligeable devant le débit de vapeur (quelques %).

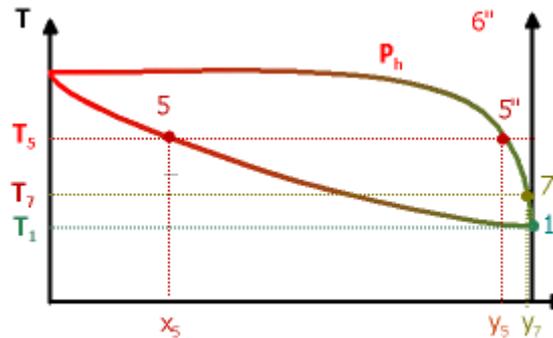


Figure 4.17: Rectification de vapeur.

Au cours du refroidissement, une partie de la vapeur est condensée. Le liquide obtenu (entre 5 et 7') est riche en eau, la vapeur (7'') riche en ammoniac.

• **Enthalpie des points caractéristiques**

Par rapport aux résultats issus du diagramme d'Oldman, les points relatifs au frigorigène sont modifiés. D'autre part, le diagramme de Merkel permet d'obtenir une meilleure précision en ce qui concerne les titres en ammoniac. On dresse donc un nouveau tableau donnant les propriétés P, T, x et h de tous les points caractéristiques. (voir figure 4.18).

Point	1	2	3	4	5	6	7	7'	8
T°c	25	-33	-23	25	97	120	97	47	46
Pbars	10	1	1	1	10	10	10	10	1
X(%NH3)	99.9	99.9	99.9	32	32	20	94	99.9	20
H(kjkg)	129	129	1314	-74	241	370	1527	1370	56

Tableau 4.8: Propriété des points issus du diagramme de Merkel

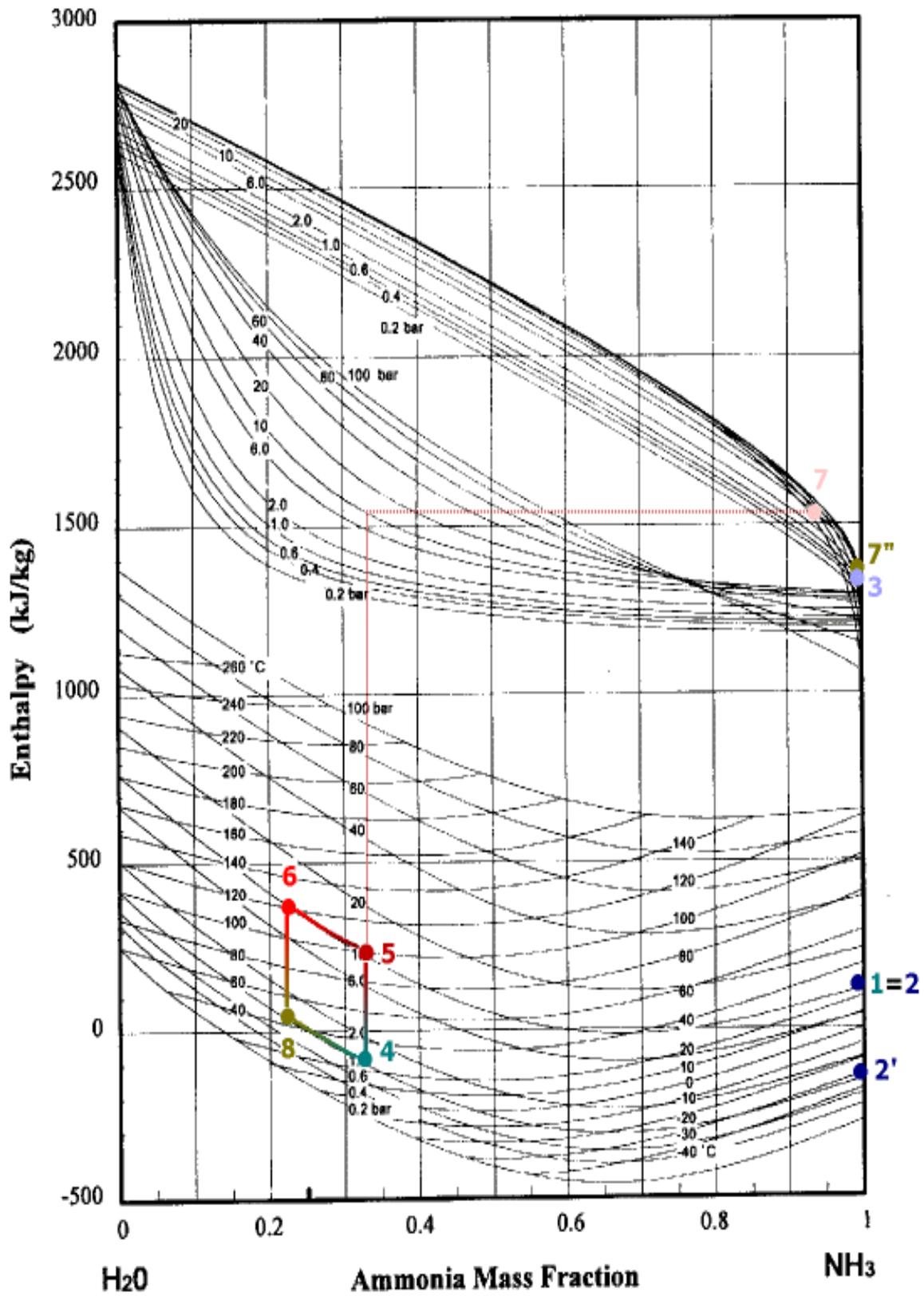


Figure 4.18 : diagramme de Merkel

**IV-4-5-2 Estimation du coefficient de performance et de la puissance frigorifique :**

• **Bilan masse :**

Soient  $\dot{m}$ ,  $\dot{r}$ ,  $\dot{p}$  et  $\xi$ ,  $x_r$ ,  $x_p$  respectivement les débits-masse et titre massique du frigorigène, de la solution riche et de la solution pauvre. Au niveau de l'absorbeur, deux bilans-masse peuvent être effectués :

$$\begin{cases} \dot{m} + \dot{p} - \dot{r} = 0 & \text{(bilan global)} \\ \dot{m} \cdot \dot{p} \cdot x_p - \dot{r} \cdot x_r = 0 & \text{(bilan frigorigène e)} \end{cases} \quad (4.38)$$

On peut éliminer  $\dot{p}$  de la deuxième équation en tirant sa valeur de la première :

$$\begin{cases} \dot{p} = \dot{r} - \dot{m} \\ \dot{m} \cdot (1 - x_p) + \dot{r}(x_p - x_r) = 0 \end{cases} \quad (4.39)$$

On en déduit une expression de  $\dot{r}$  et  $\dot{p}$  fonction de  $\dot{m}$  et des différents titres.

$$\begin{cases} \dot{r} = \dot{m} \cdot \frac{(1 - x_p)}{(x_r - x_p)} \\ \dot{p} = \dot{m} \cdot \frac{(1 - x_r)}{(x_r - x_p)} \end{cases} \quad (4.40)$$

• **Bilans enthalpique:**

On effectue les bilans enthalpiques sur chaque composant échangeant de la chaleur ou du travail avec le milieu extérieur. En négligeant le rectifieur, on obtient:

a) **Condenseur** :  $\dot{Q}_{\text{cond}} = \dot{m} \cdot (h_1 - h_7'')$  (4.41)

b) **Evaporateur** :  $\dot{Q}_{\text{evap}} = \dot{m} \cdot (h_3 - h_2)$  (4.42)

c) **Désorbeur** :  $\dot{Q}_{\text{des}} = \dot{m} \cdot h_7 + \dot{p} \cdot h_6 - \dot{r} \cdot h_4$  (4.43)

## Chapitre IV : Calculs du conditionnement d'air

d) **Absorbeur** :  $\dot{Q}_{abs} = \dot{r} \cdot h_4 - \dot{p} \cdot h_6 - \dot{m} \cdot h_3$  (4.44)

e) **Pompe** :  $\dot{W} = \dot{r} \cdot (h_{4'} - h_4)$ , avec  $h_{4'} - h_4 = \int_{h_4}^{h_{4'}} v \cdot dp$  (4.45)

En utilisant les bilans enthalpiques a) à e) et les bilans masse S8, on trouve l'expression du coefficient de performance de la machine :

$$\begin{aligned} \text{COP} &= \frac{\dot{Q}_{evap}}{\dot{Q}_{des} + \dot{W}} = \frac{\dot{m} \cdot (h_3 - h_2)}{\dot{m} \cdot h_7'' + \dot{p} \cdot h_6 - \dot{r} \cdot h_{4'} + \dot{r} \cdot (h_{4'} - h_4)} \\ &= \frac{\dot{m} \cdot (h_3 - h_2)}{\dot{m} \cdot \left( h_7'' + \frac{(1-x_r)}{(x_r - x_p)} \cdot h_6 - \frac{(1-x_p)}{(x_r - x_p)} \cdot h_4 \right)} \end{aligned} \quad (4.46)$$

**Soit finalement :**

$$\text{COP} = \frac{(h_3 - h_2)}{\left( h_7'' + \frac{(1-x_r) \cdot h_6 - (1-x_p) \cdot h_4}{(x_r - x_p)} \right)} \quad (4.47)$$

En reportant dans cette expression les valeurs issues du diagramme de Merkel, on trouve un COP de 0,26.

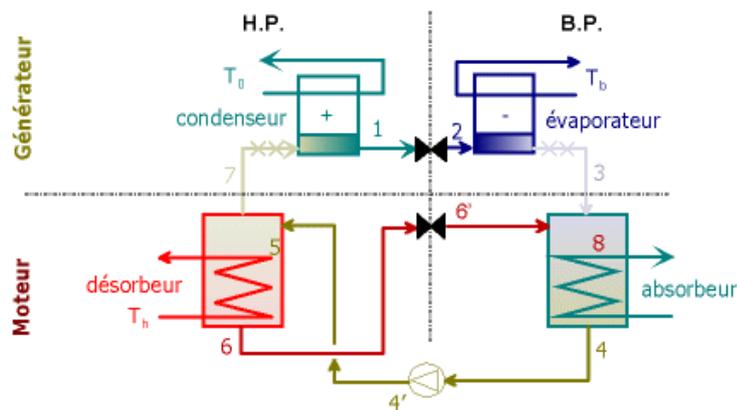


Figure 4.18' : Machine à absorption avec échangeur interne

## V-1 Introduction

Dans ce chapitre, on étudie la circulation et le mouvement d'air conditionner dans l'habitat à fin d'assurer un confort maximal pour les occupants on éliminant toute sorte de perturbation ou de courant d'air qui peuvent être dû à une mal conception des bouches de soufflage au niveau de l'installation de climatisation .la simulation est effectuer par le logiciel fluent qui lui-même fonctionne à partir du logiciel Gambit .

Le logiciel Gambit est un mailleur 2D/3D; préprocesseur qui permet de mailler des domaines de géométrie d'un problème de CFD (Computational Fluid Dynamics). Il génère des fichiers\*.msh pour Fluent. Fluent est un logiciel qui permet de résoudre et simuler des problèmes de mécanique des fluides et de transferts thermiques par la méthode des volumes finis.

Gambit regroupe trois fonctions :

- définition de la géométrie du problème.
- le maillage et sa vérification.
- la définition des frontières (Types de conditions aux limites) et définitions des domaines de calculs.

### V- 1-1 Présentation de Gambit

#### V-1-1-1Démarrage de Gambit

Le chemin de l'application de Gambit est le suivant :

**:/Fluent.Inc/ntbin/ntx86/Gambit.exe**

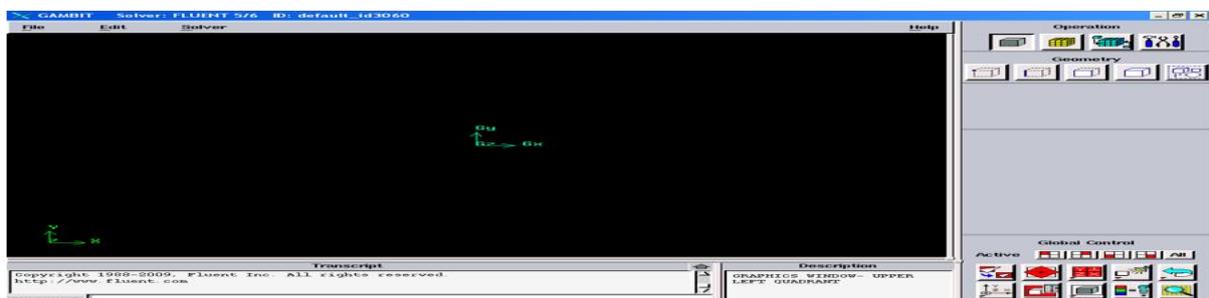
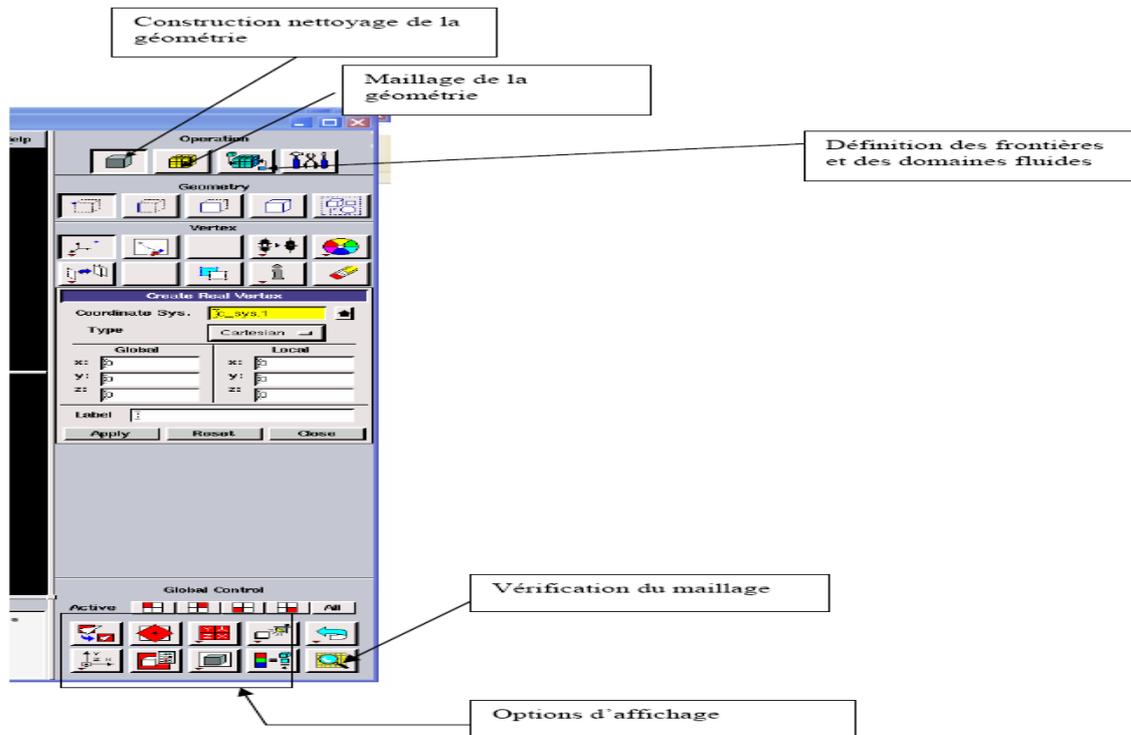


Figure 5.1 : Lancement du Gambit

## V-1-1-2 Construction de la géométrie

La finalité de la construction de la géométrie est de définir les domaines de calcul qui seront des faces dans un problème 2D et des volumes dans un problème 3D.



## V-1-1-3 Maillage

La génération du maillage (2D ou 3D) est une phase très importante dans une analyse CFD, vu l'influence de ses paramètres sur la solution calculée. Ce menu permet de mailler en particulier une ligne de la géométrie, à savoir disposer les nœuds avec des conditions particulière (utilisation d'un ratio pour modifier la pondération du maillage, application de formes différentes de maillage).

- **Maillage structuré (quadra/hexa)**

Il est beaucoup plus facile de le générer en utilisant une géométrie à multi bloc, il présente les avantages suivants :

Economique en nombre d'éléments, présente un nombre inférieur de maille par rapport à un maillage non structuré équivalent.

## CHAPITRE V : Simulation de la circulation d'air dans l'habitat

---

Réduit les risques d'erreurs numériques car l'écoulement est aligné avec le maillage.

Les inconvénients sont :

Difficile à le générer dans le cas d'une géométrie complexe.

Difficile d'obtenir une bonne qualité de maillage pour certaines géométries complexes

- **Maillage non structuré (tri/tétra.)**

Les éléments de ce type de maillage sont générés arbitrairement sans aucune contrainte quant à leur disposition.

Ses avantages :

Peut-être généré sur une géométrie complexe tout en gardant une bonne qualité des éléments.

Les algorithmes de génération de ce type de maillage (tri/tétra) sont très automatisés.

Les inconvénients sont :

Très gourmand en nombre de mailles comparativement au maillage structuré.

Engendre des erreurs numériques (fausse diffusion) qui peuvent être plus importante si l'on compare avec le maillage structuré.

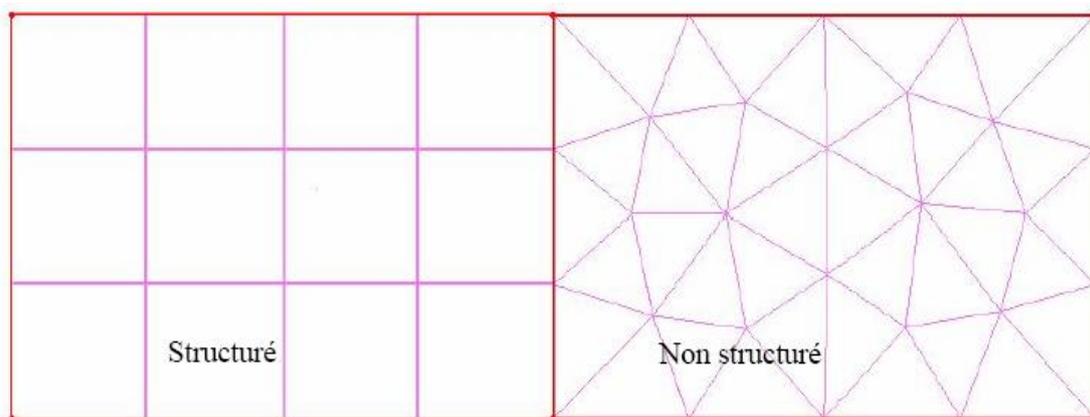


Figure 5.3 : Maillage structuré et non structuré

- **Maillage hybride**

Maillage généré par un mélange d'éléments de différents types, triangulaires ou quadrilatéraux en 2D, tétraédriques, prismatiques, ou pyramidaux en 3D.

Ses avantages :

Combine entre les avantages du maillage structuré et ceux du maillage non structuré.

- **Définition des frontières**

Sélectionner dans le menu « **Solver** » le type du solveur « **FLUENT5/6** » puis définir les frontières.

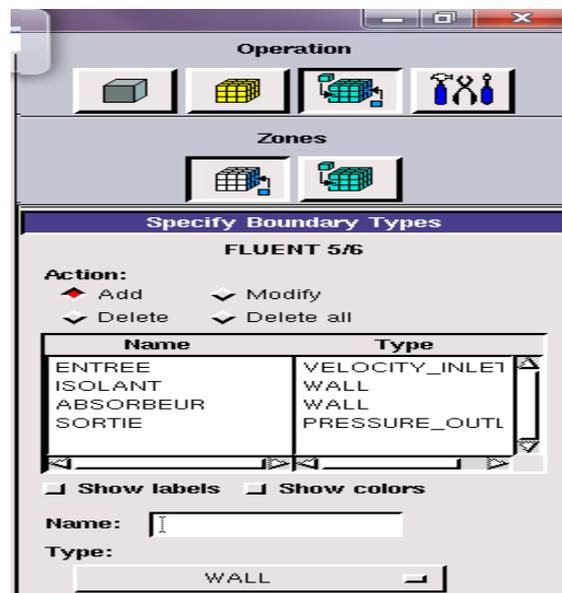


Figure 5.4 : Définition des frontières

- **Exportation du maillage**

Le maillage peut être alors exporté dans un fichier pour lecture avec FLUENT.

**File → Export → Mesh**



Figure 5.5 : Exportation du maillage

Donner un nom au fichier et sélectionner le maillage “2-D”, puis sauvegarder le fichier Gambit :

**File → Save As**

### V-1-2 Présentation de Fluent

- **Importation de la géométrie**

Pour commencer la simulation il faut importer le fichier (\*.msh) généré sous Gambit.

**File → Read → Case...**

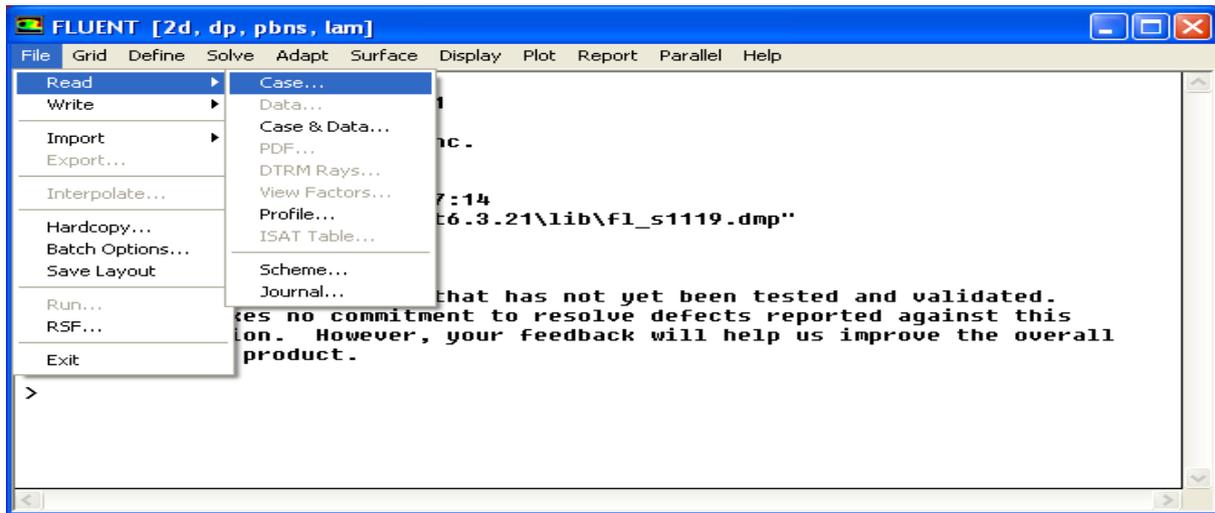


Figure 5.6: Importation de la géométrie

Ceci permet de vérifier si le maillage importé ne contient pas d'erreurs ou de volumes négatifs.



Figure 5.7 : Vérification du maillage

- **Vérification du maillage importé**

**Grid** → **Check**

- **Vérification de l'échelle**

**Grid** → **Scale**

Il faut toujours vérifier que les dimensions affichées correspondent aux dimensions physiques du problème.

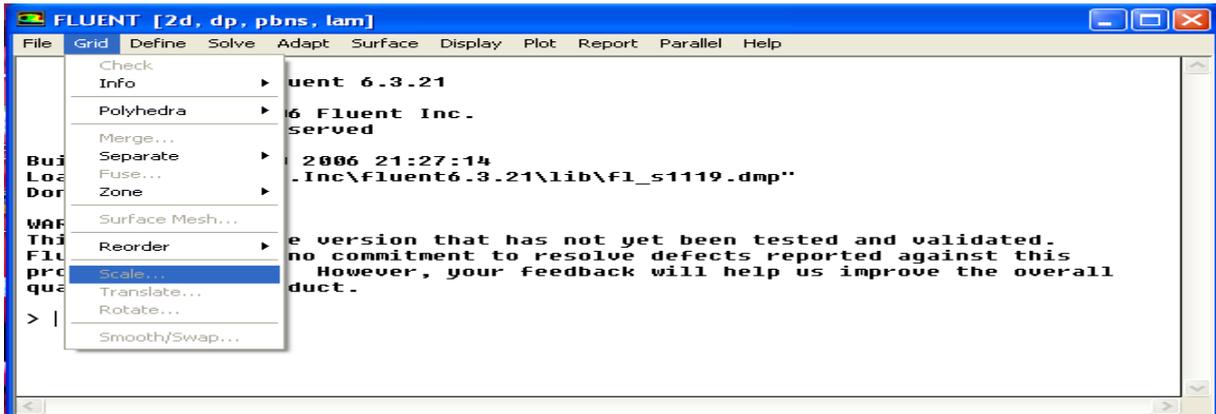


Figure 5.8 : Vérification des unités

- **Choix du solveur**

**Define** → **Models** → **Solver...**

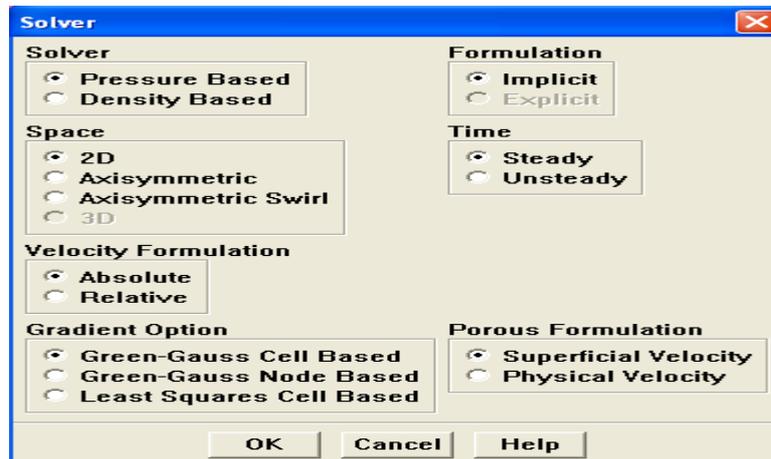


Figure 5.9 : Choix du solveur

- **Segregated Solver** : est le plus approprié pour les écoulements incompressibles

(Ventilateurs, pompes...)

- **Coupled Solvers**, les solveurs « coupled implicit » et « coupled explicit », sont plutôt réservés aux écoulements compressibles à grande vitesse.

C'est là aussi qu'on choisit le régime d'écoulement ; permanent ou instationnaire.

- **L'équation de l'énergie**

**Define** → **Models** → **Energy...**

L'instruction énergie doit être activée pour l'étude du champ thermique.

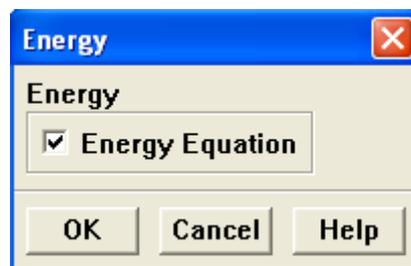


Figure 5.10: Equation de l'énergie

- **Choix du modèle de turbulence**

**Define** → **Models** → **Viscous**

Fluent propose différentes modélisations de l'écoulement turbulent. Parmi lesquels les écoulements non visqueux, laminaires, turbulents ... etc.

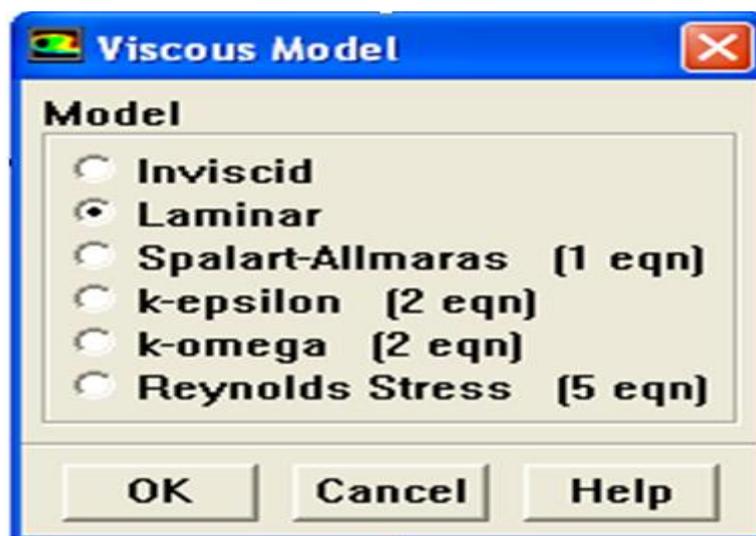


Figure 5.11 : Choix du modèle d'écoulement

- **Définition des caractéristiques du fluide**

**Define** → **Materials**

Les caractéristiques du fluide sont chargées à partir de la bibliothèque de données de Fluent.

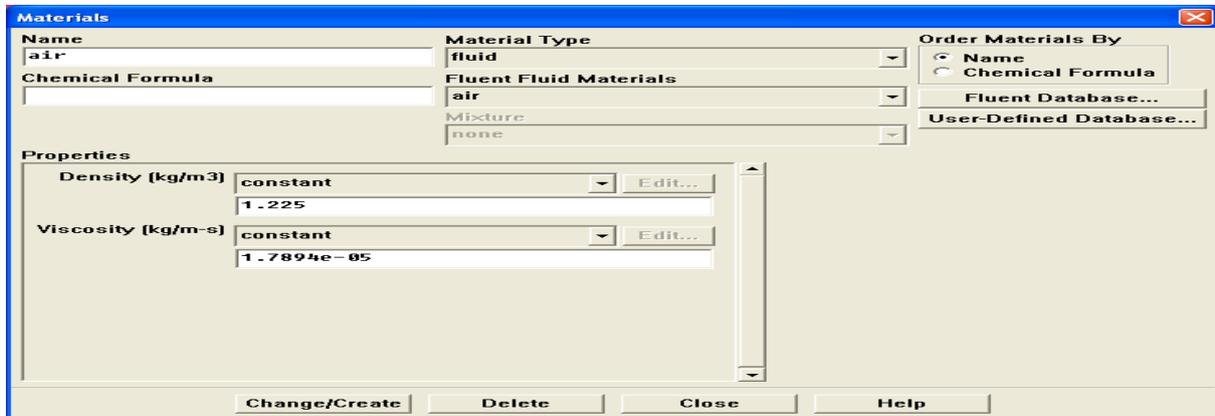


Figure 5.12 : Définition des caractéristiques du fluide

- **Operating conditions**

**Define** → **Operating conditions**

Avant de choisir les conditions aux limites, il faut choisir d'abord la valeur de la pression de référence « operating conditions ».

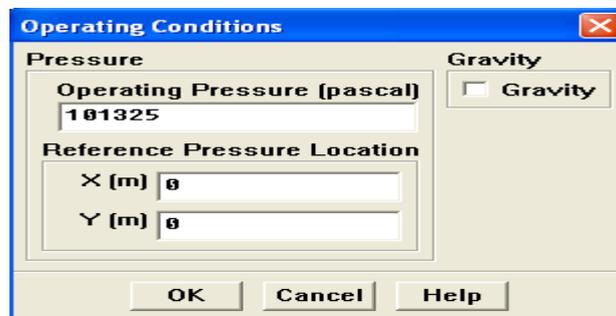


Figure 5.13 : Choix de la pression de référence

**Conditions aux limites**

**Define** → **Boundary Conditions**

Ensuite, il faut fixer les valeurs des conditions aux limites.

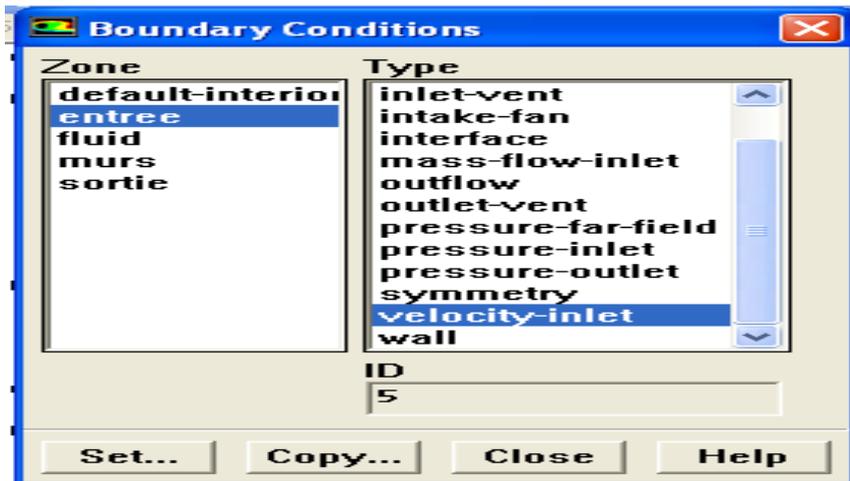


Figure 5.14 : Valeurs des conditions aux limites

- **Velocity inlet**

Utilisée pour des écoulements incompressibles ou moyennement compressibles, quand la vitesse d'entrée est connue.

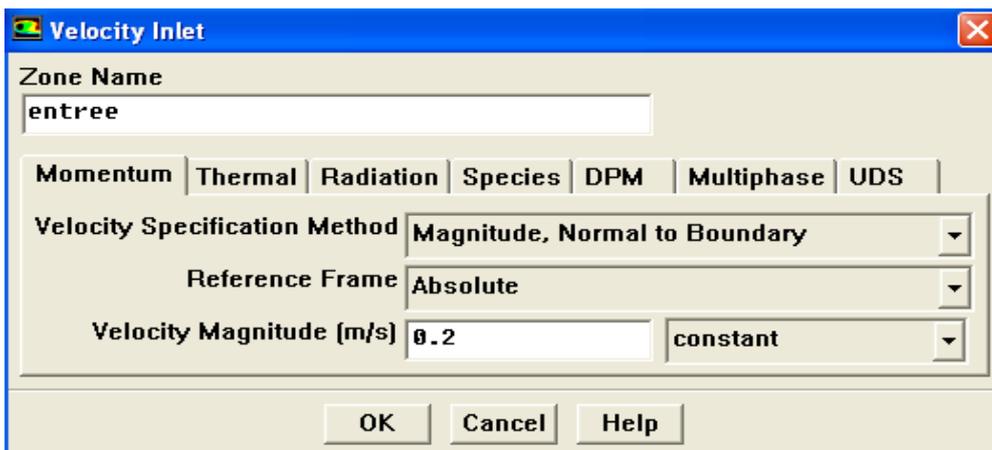


Figure 5.15 : Vitesse d'entrée

- **Wall**

Il est utilisé pour délimiter les régions solides des régions fluides.

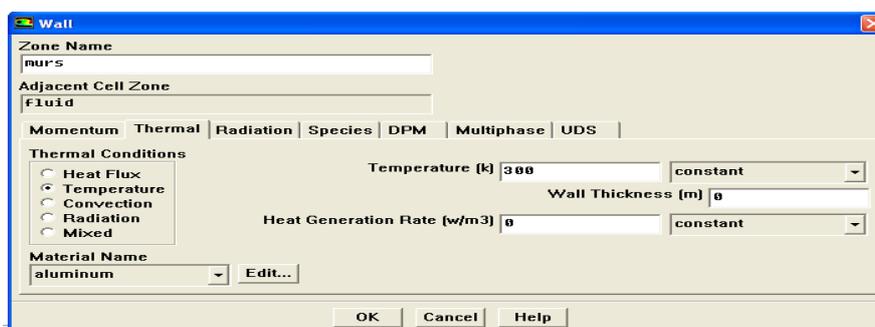


Figure 5.16: Parois inférieure et supérieure

- **Pressure Outlet**

Spécifie la pression statique de sortie.

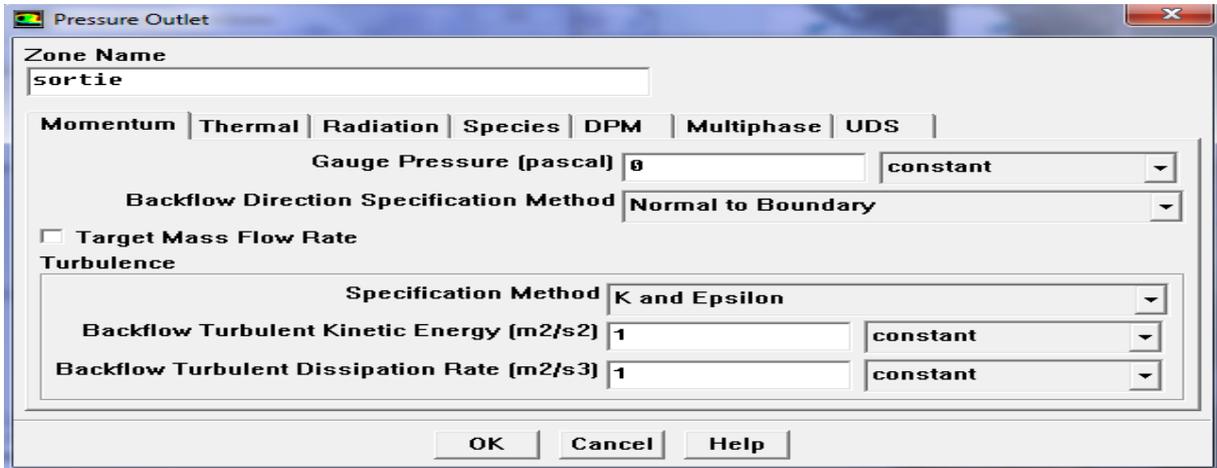


Figure 5.17 : Pression à la sortie

- **Choix d'ordre des équations et l'algorithme**

Solve → Controls → Solution...

Ceci permet de spécifier le degré d'ordre des équations à résoudre, ainsi l'algorithme.

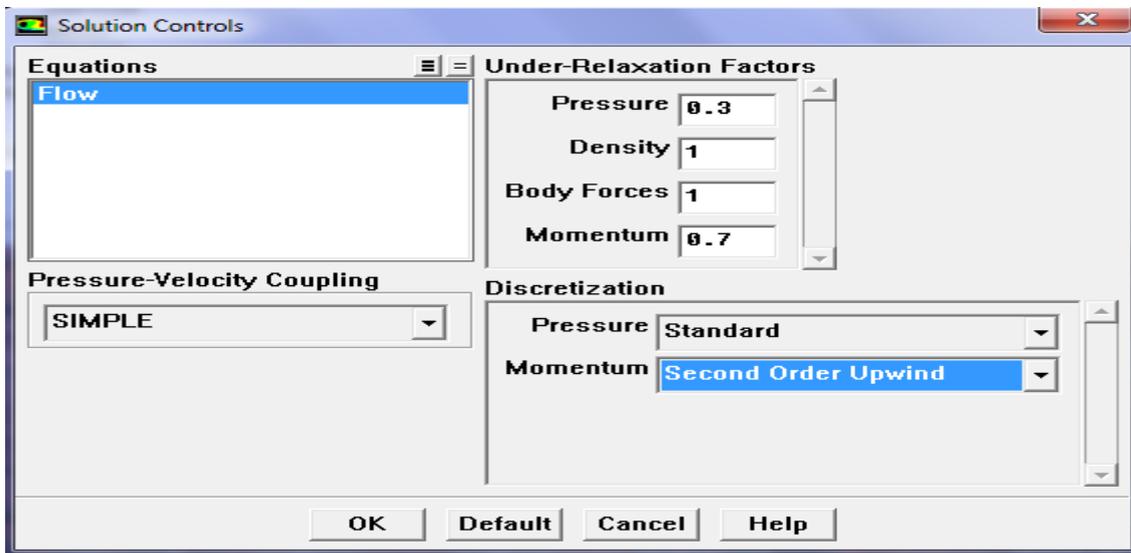


Figure 5.18 : Choix d'ordre des équations et l'algorithme

- **Initialisation**

Solve → Initialize → Initialize...

Cette fonction permet d'initialisé le calcul.

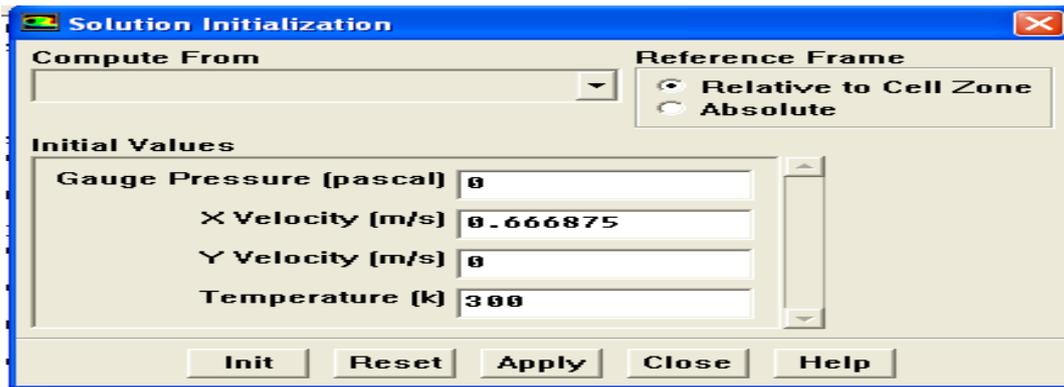


Figure 5.19 : Initialisation du calcul

- **Choix des critères de convergence**

Solve → Monitors → Residual...

Il s'agit ici de choisir les critères qui doivent être vérifiés pour que les calculs de la simulation s'arrêtent.

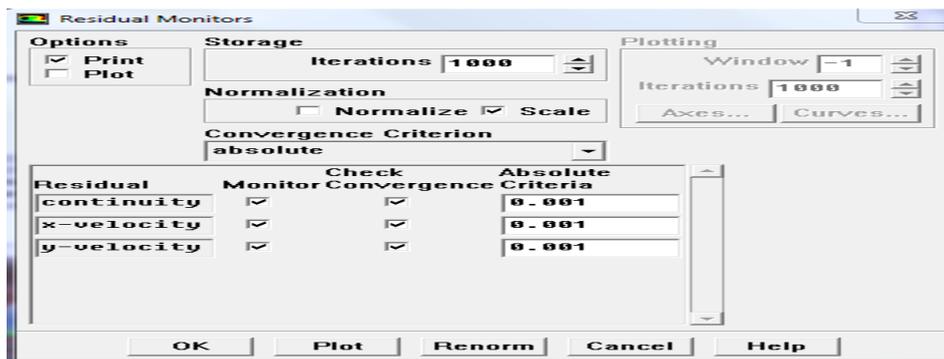


Figure 5.20 : Choix des critères de convergence

Pour afficher la convergence à l'écran pendant les calculs sous forme d'un graphe, il faut activer l'option Plot. Il est possible de désactiver certains critères d'arrêt de la simulation en décochant la case de convergence.

- **Lancement du calcul**

Solve → Iterate....

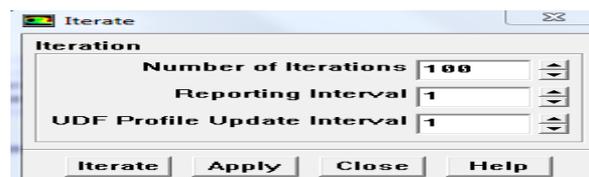


Figure 5.21 : Choix du nombre des itérations

### IV-2 Simulation et interprétation des résultats

- la première pièce

La figure (5.22) montre la distribution de la température dans la pièce. On constate une température uniforme pour toute la pièce.

La figure (5.23) donne la distribution de la composante longitudinale de la vitesse dans pièce I. Cette dernière montre que la vitesse est uniforme pour toute la pièce à l'exception de l'endroit proche de la paroi. Par contre la composante transversale varie. (Voir figure 5.24)

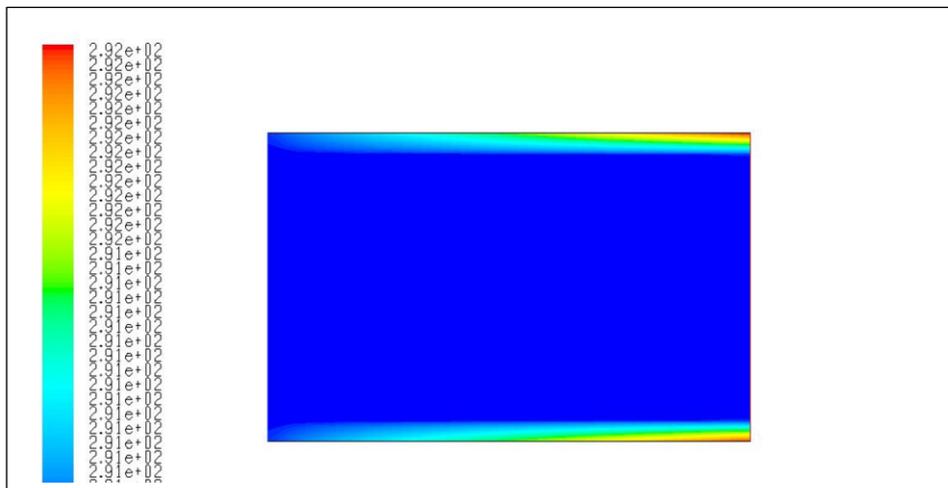


Figure 5.22 : La température dans la pièce I

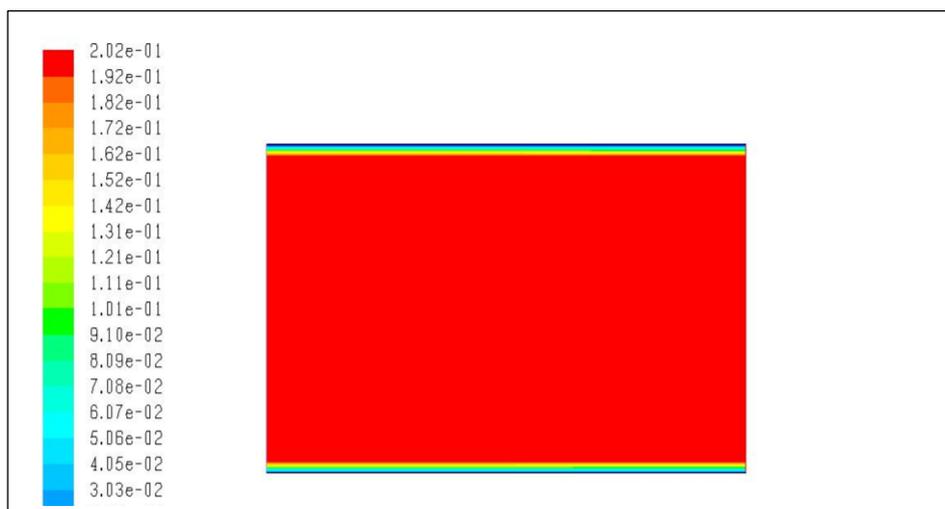


Figure 5.23 : La composante longitudinale de la vitesse pièce I

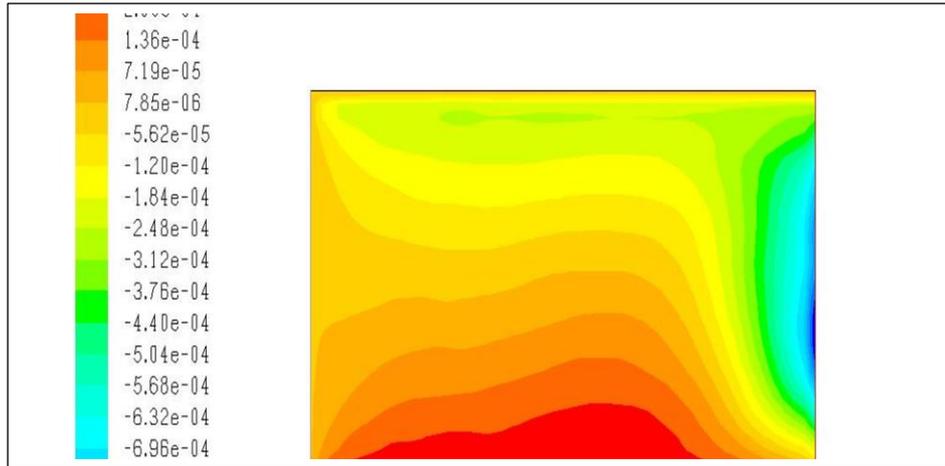


Figure 5.24 : La composante transversale de la vitesse pièce I

- La deuxième pièce

Dans la deuxième pièce, on constate un gradient de température proche de la paroi séparant la pièce et la cuisine cela et du à la température relativement élevée qui règne dans la cuisine (voir figure 5.25) .Cela impose que cette paroi doit être bien isolée. Pour la composante de la vitesse longitudinale, on constate qu'elle est uniforme à l'exception de la paroi séparant la pièce et la cuisine (voir figure 5.26) .La composante transversale qu'elle par contre varie considérablement. (Voir figure 5.27)

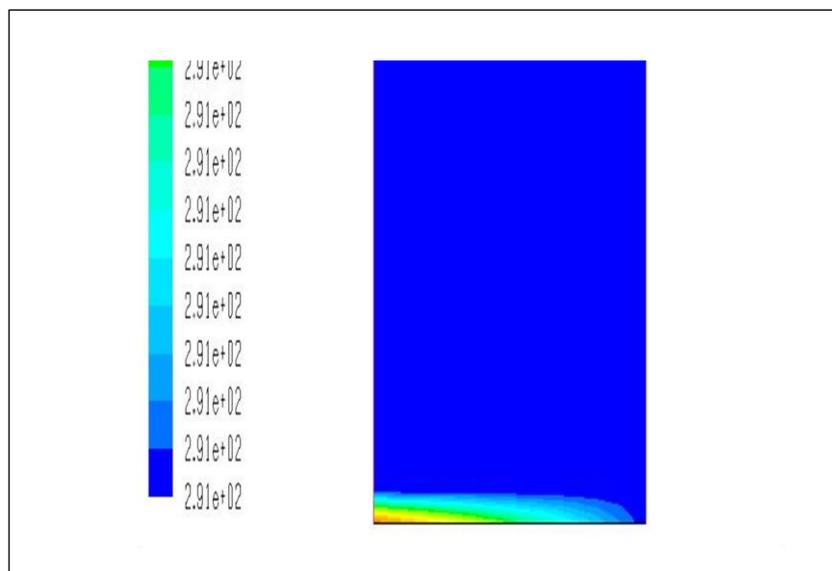


Figure 5.25 : La température de la pièce II

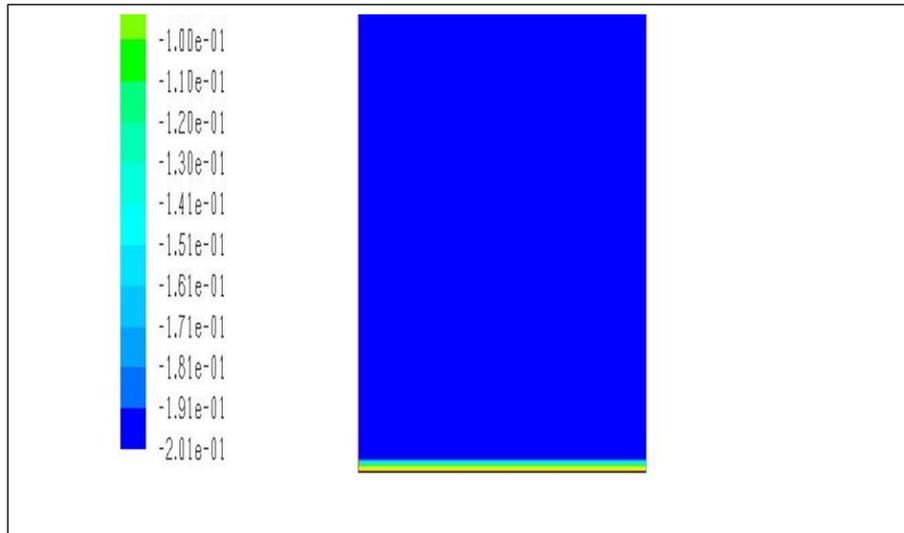


Figure 5.26 : La composante longitudinale de la vitesse la pièce II

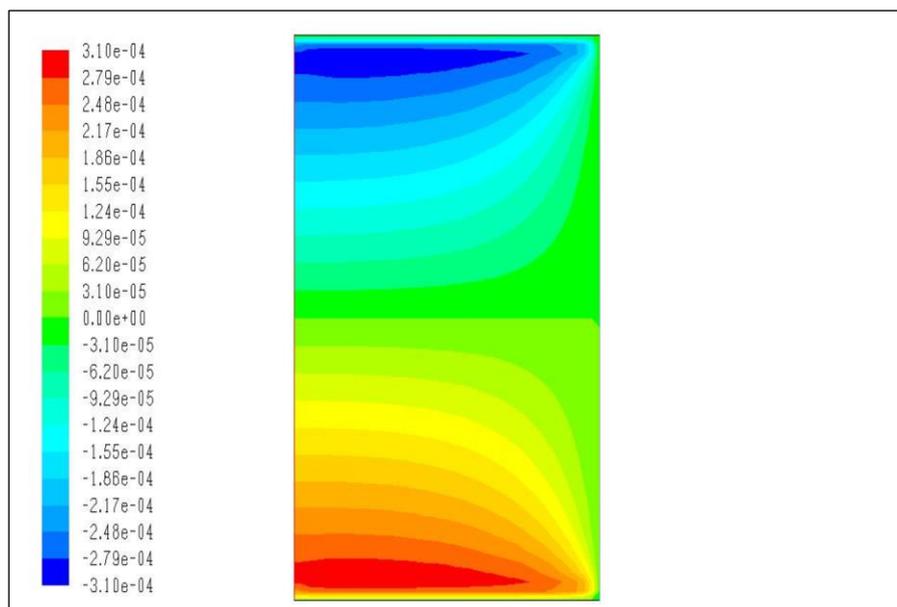


Figure 5.27: La composante transversale de la vitesse la pièce II

- La cuisine

Le champ de température est donné par la (figure 5.28). On constate qu'elle est uniforme à l'exception de la paroi séparant la pièce et la cuisine. Pour la vitesse longitudinale, on constate qu'elle est uniforme à l'exception de l'endroit proche de la paroi séparant la cuisine et l'extérieur (voir figure 5.29) .la vitesse transversale varie comme les cas précédant. (Voir figure 5.30)

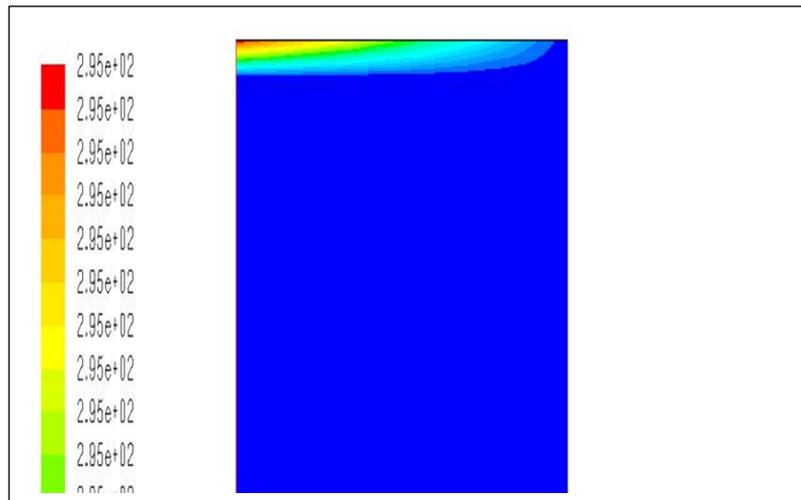


Figure 5.28 : La température de la cuisine

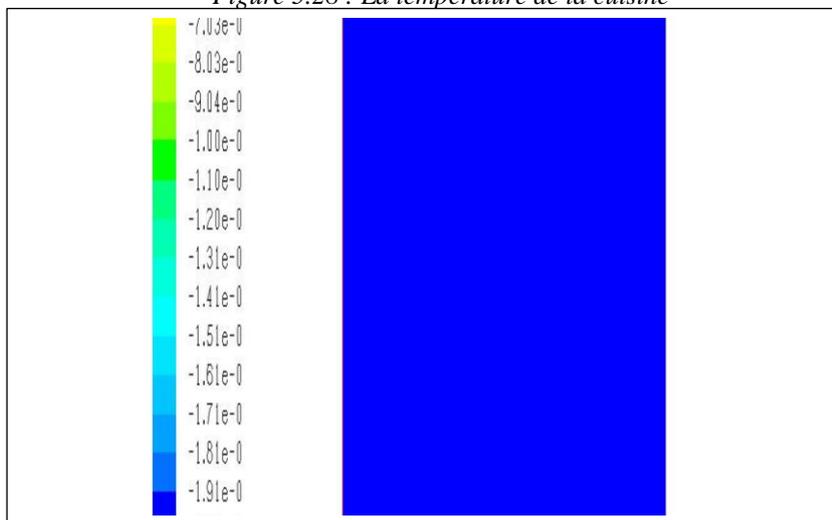


Figure 5.29 : La composante longitudinale de la vitesse la cuisine

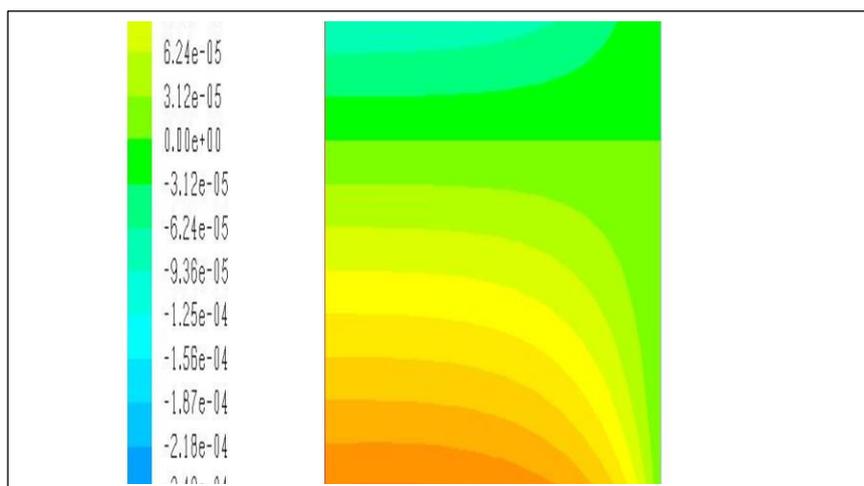


Figure 5.30 : La composante transversale de la cuisine

- Le séjour

Pour le séjour là aussi la température est uniforme (voir figure 5.31). La vitesse longitudinale est aussi uniforme (voir figure 5.32) à l'exception des parois séparant la cuisine et le séjour et le mur séparant la cuisine et l'extérieur. La vitesse transversale varie surtout dans l'endroit proche du mur séparant la cuisine. (Voir figure 5.33)

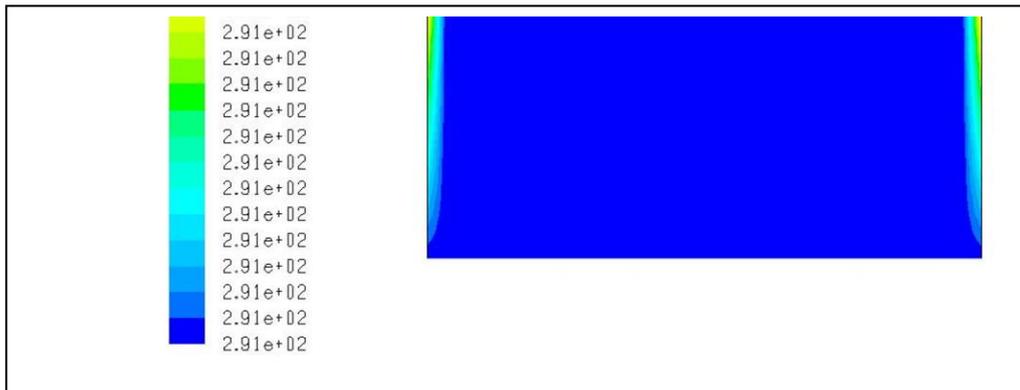


Figure 5.31 : Température du séjour

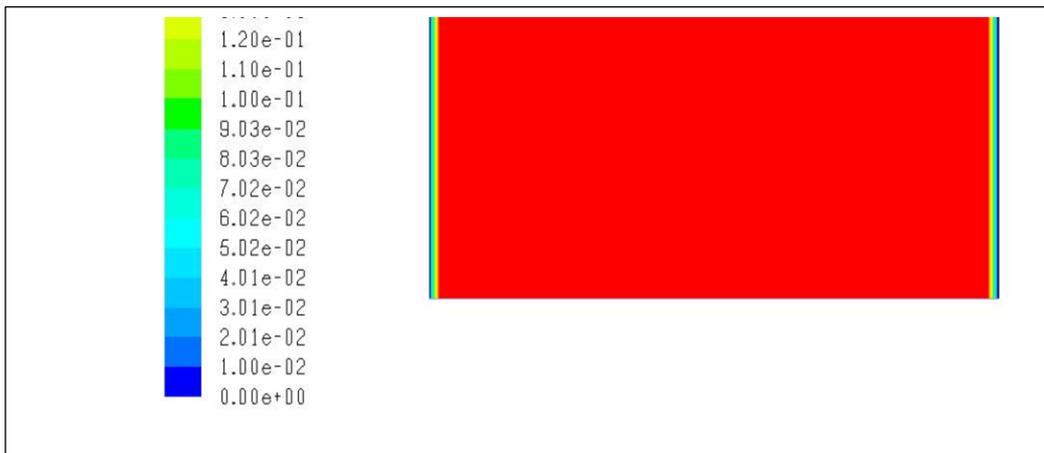


Figure 5.32 : La composante longitudinale de la vitesse du séjour

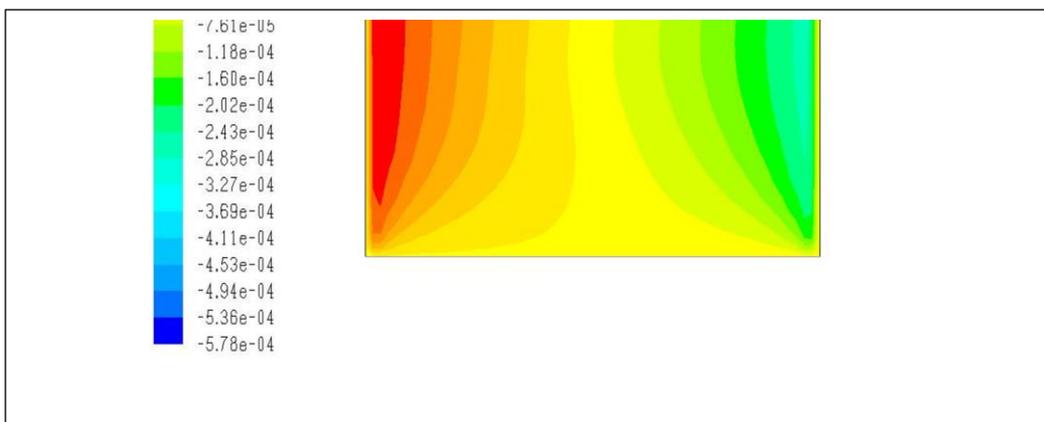


Figure 5.33 : La composante transversale de la vitesse du séjour

## CHAPITRE V : Simulation de la circulation d'air dans l'habitat

- Le hall et couloir

Pour l'espace compris entre le hall et le couloir on constate la formation de plusieurs zones de recirculation (voir figure V.34) .ces zones sont des zones indésirables puisque sa génère des courants d'air circulaires dans ces endroits. On propose comme solution une sédation entre le hall et le couloir ou se trouve l'entrée de la bâtisse.

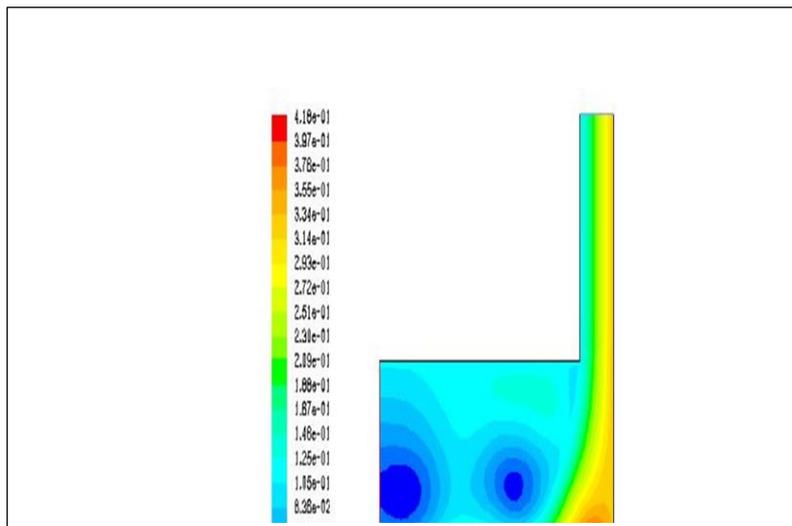


Figure 5.34 : Ligne de courant dû hall et couloir

Ces zones de recirculation citée précédemment vont perturber le champ thermique du lieu formé par le hall et le couloir.la solution proposé élimine ces zones et par conséquent on obtient une distribution de température uniforme.

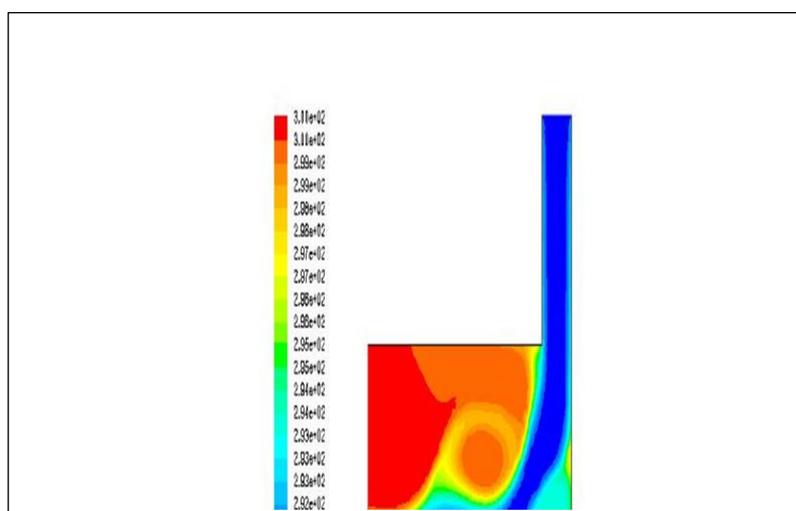


Figure 5.35 : La température du hall et le couloir

Nous avons donc réalisé une séparation entre le couloir et le hall.

- Couloir

La température est uniforme dans l'ensemble (voir figure 5.36). La composante longitudinale de la vitesse varie dans quelques endroits du couloir mais dans l'ensemble elle est uniforme (voir figure 5.37). La composante transversale de la vitesse par contre varie (voir figure 5.38).

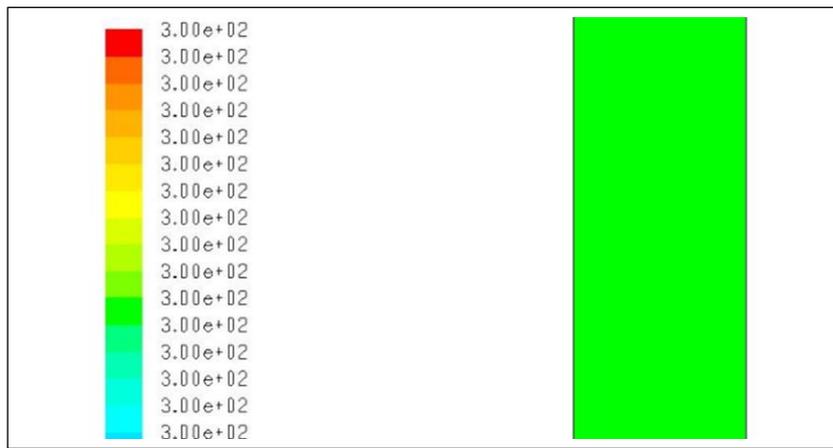


Figure 5.36 : température du couloir

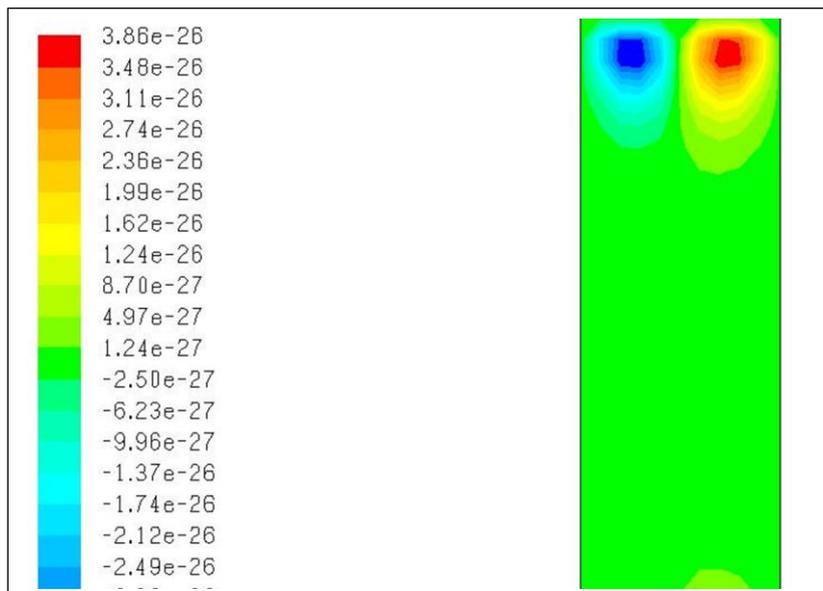


Figure 5.37: la composante longitudinale de la vitesse du couloir



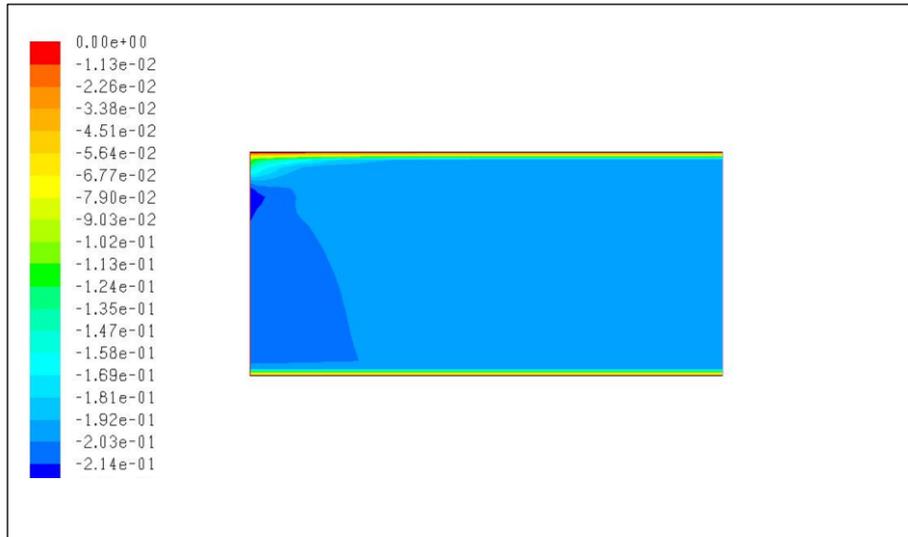


Figure 5.40: la composante longitudinale de la vitesse du hall

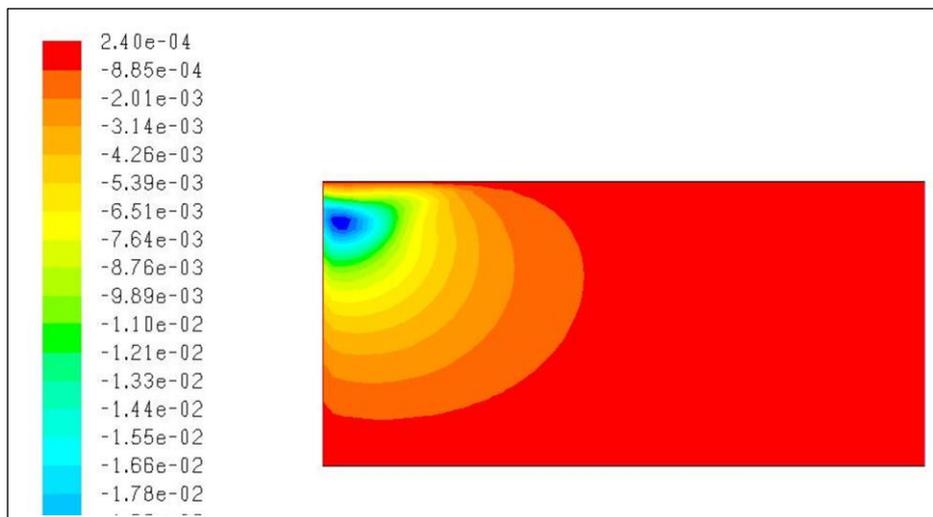


Figure 5.41 la composante transversale de la vitesse du hall

- Salle de bain

La figure (5.42) donne la distribution de la température dans salle de bain. Les dimensions de ce de cette dernière étant relativement faible, on constate que la la température ne sont pas aussi uniforme. La même remarque est constater pour la composante longitudinale de la vitesse Voir figure (5.43). Par contre la composante transversal varie. Voir figure (5.44)

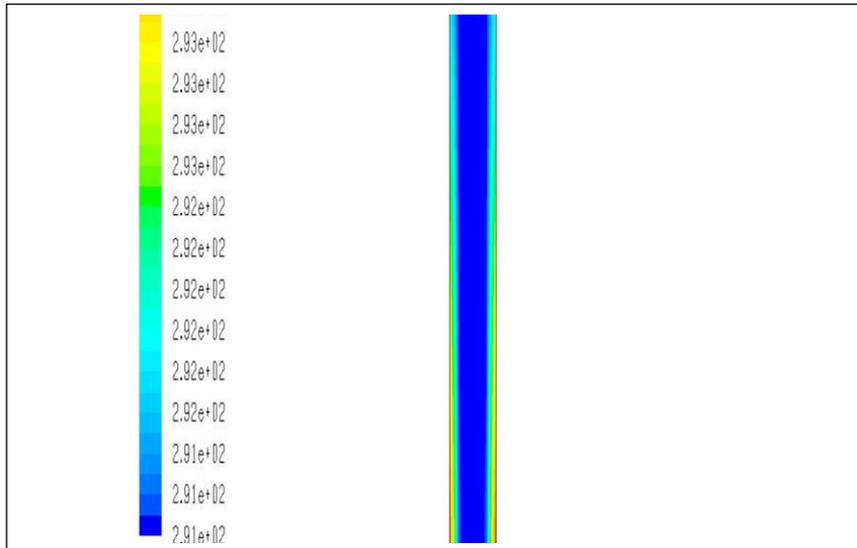


Figure 5.42: La température de la salle de bain

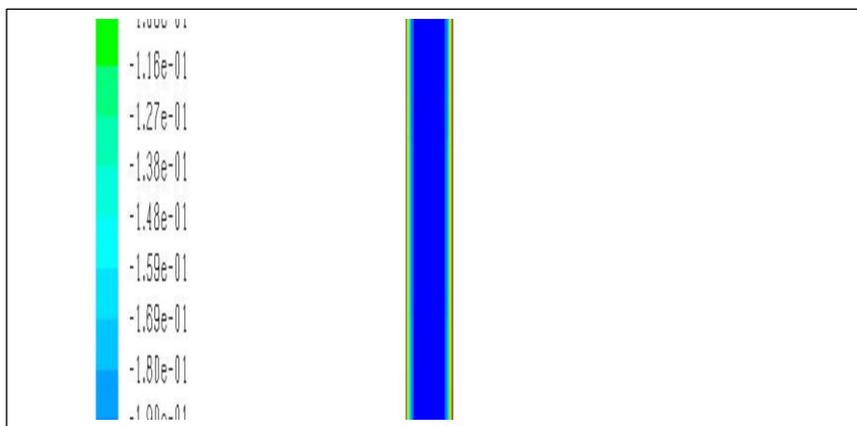


Figure 5.43 : La composante transversale de vitesse de la salle de bain

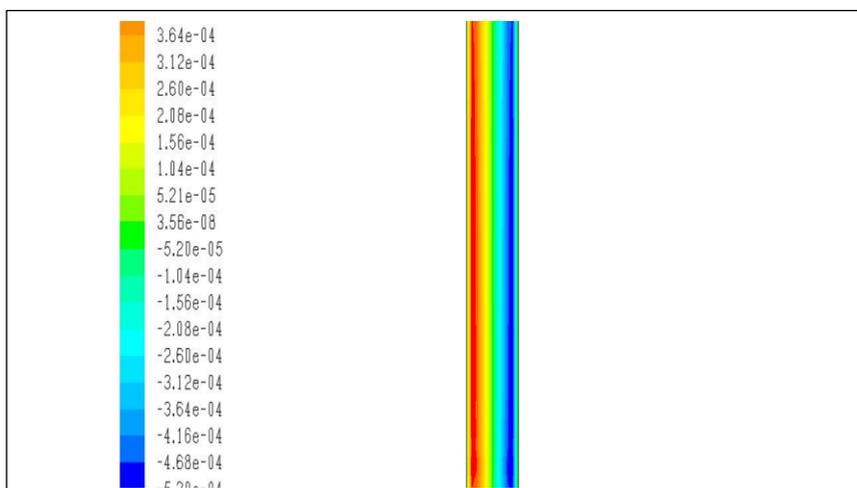


Figure 5.44: La composante longitudinale de la vitesse de la salle de bain

# CONCLUSION GENERALE

---

*Notre travail porte sur l'étude d'une installation solaire destinée au chauffage et climatisation par voie solaire pour une maison située à Tlemcen.*

*Pour les calculs nous avons procédé en premier lieu manuellement, et par la suite une simulation de notre installation que nous avons réalisée par les logiciels Fluent et Gambit pour mieux connaître la circulation et le mouvement d'air à l'intérieur de l'habitat.*

*Le calcul établi permet d'estimer les déperditions à travers les murs, la toiture, et le plancher.*

*La partie de l'étude menée par Fluent nous a montré la répartition de l'air et de la température diffusées dans chaque pièce de l'habitation afin d'assurer le confort pour les occupants.*

*D'une manière générale, l'étude nous a montré que nous devons procéder à l'isolation de certaines pièces à savoir la cuisine qui a un niveau de température plus élevé (gaz, four,...ect), ainsi que le hall et couloir, cela est dû à leur emplacement au milieu de l'habitation.*

*La température change suivant les saisons c'est pour cela qu'on a procédé à un traitement d'hiver et un traitement d'été.*

*Pour le traitement d'hiver la batterie chaude est chauffée par le capteur solaire. En été, la batterie froide représente toute une installation frigorifique alimentée par le capteur solaire pour assurer le froid.*

*On constate d'après cette étude que le traitement d'air est nécessaire pour l'habitation afin que l'air et la température soient bien repartis dans cette dernière.*

# Listes des tableaux

## **Chapitre I: Généralités sur le gisement solaire, les énergies renouvelables et l'énergie solaire.**

Tableau 1.1: Coefficient du trouble du ciel.....	12
Tableau 1.2: Albédo typique de différents types de surfaces.....	13

## **Chapitre II: Les capteurs solaires**

Tableau 2.1: Transmissivité de divers types de couvertures dans les gammes visible et de l'infrarouge.....	27
Tableau 2.2: Propriétés de quelques couches sélectives .....	27
Tableau 2.3: Quelques données relatives aux matériaux d'isolation arrière .....	29

## **Chapitre IV : Chauffage et climatisation par voie solaire**

Tableau 4.1: Dimensions et surfaces.....	77
Tableau 4.2: caractéristiques des parois et les toitures.....	80
Tableau 4.3: Besoin en température.....	83
Tableau 4.4 : Besoin en chauffage.....	83
Tableau 4.5 : Besoin nets mensuels de chauffage de la maison.....	83
Tableau 4.6 : Volume du local.....	84
Tableau 4.7: Propriété des points issus du diagramme d'Oldhman.....	99
Tableau 4.8: Propriété des points issus du diagramme de Merkel .....	103

# Listes des tableaux

# Liste des figures

## **Chapitre I: Généralités sur le gisement solaire, les énergies renouvelables et l'énergie solaire**

Figure 1. 1 : Le soleil.....	4
Figure 1. 2 : Plan de l'écliptique et l'orbite des saisons .....	5
Figure 1. 3 : La sphère celeste.....	6
Figure 1. 4 : Les coordonnées géographiques.....	7
Figure 1. 5 : les coordonnées horaires.....	8
Figure 1. 6 : les coordonnées horizontales.....	9
Figure 1. 7 : Schéma du rayonnement direct, diffus et global.....	11
Figure 1. 8 : Direction du rayonnement solaire.....	14
Figure 1.9 : Situation de la ville de Tlemcen (carte d'Algérie).....	15
Figur 1.10: Les énergies renouvelables.....	15
Figure 1. 11 : Energie solaire.....	16
Figure 1. 12: Energie éolienne .....	17
Figure 1. 13: Energie hydrolique.....	17
Figure 1. 14: Biomasse.....	18
Figure 1. 15: Energie geothermique.....	19

## **Chapitre II: Les capteurs solaires**

Figure 2. 1 : Principe de fonctionnement d'un capteur solaire thermique .....	23
Figure 2. 2 : Capteurs solaires sans vitrage (capteur moquette) .....	24
Figure 2. 3 : Composants types d'un capteur plan avec vitrage .....	25
Figure 2. 4: Capteurs solaire sous vide .....	25
Figure 2. 5: Champ d'utilisation de photovoltaïque .....	30
Figure 2. 6: a) Silicium matiere premiere b) Cellule photovoltaïque .....	31

# Liste des figures

Figure 2.7: Production d'electricite dans une cellule photovoltaïque .....	31
Figure 2.8: Les différentes technologies des cellules photo voltaïque .....	33
Figure 2.9: Représentation schematique d'un capteur à concentration .....	42
Figure 2.10: Capteur solaire parabolique .....	43
Figure 2.11: Principe de fonctionnement d'un capteur à miroirs paraboliques	44
Figure 2.12: Système à réflecteur capteurs cylindro-paraboliques .....	44
Figure 2.13: Système de centrale à tour .....	45
<b>Chapitre III: le chauffage et climatisation solaire</b>	
Figure 3.1 : Schéma d'un chauffe-eau solaire.....	48
Figure 3.2 : Schéma d'une installation destiné pour le chauffage des maisons..	49
Figure 3.3 : Le mur Trombe-Michel .....	50
Figure 3.4: Système de chauffage solaire .....	51
Figure 3.5: Ballon en serie de la chaudière .....	52
Figure 3.6: Ballon d'eau chaude unique .....	53
Figure 3.7: Les ventillo-convecteurs .....	55
Figure 3.8: Les plafonds rayonnants froids.....	57
Figure 3.9: Les poutres froides.....	58
Figure 3.10: Réfrigération par circuit d'eau glacée.....	59
Figure 3. 11: Cycle frigorifique.....	61
Figure 3. 12: Compresseur.....	61
Figure 3.13 Réfrigération "à détente directe".....	62
Figure 3. 14 : Evaporateur.....	63
Figure 3 .15: Machine frigorifique à absorption.....	64
Figure 3.16 : Cycle à absorption le couple eau /bromure de lithium.....	64

# Liste des figures

Figure 3.17 : Principe d'une installation de refroidissement solaire à absorption.....	66
Figure 3.18 : Groupe à absorption d'un hôtel à Benidorm.....	67
Figure 3.19 : Cycle à Adsorption Schéma du groupe frigorifique à adsorption.....	68
Figure 3.20 : diagramme de Oldham.....	69
Figure 3.21: Phases cycle à Adsorption.....	70
Figure 3.22 : Centrale de traitement d'air classique avec roue déshmidificatrice.....	72
 <b>Chapitre IV: Calculs du conditionnement d'air</b>	
Figure 4.1 : Schéma de l'habitation.....	77
Figure 4.2 : Composantes des parois.....	78
Figure 4.3 : Schéma des caractéristique de l'air dans la salle (hiver) .....	84
Figure 4.4 : Schéma des caractéristiques du mélange M entre l'air repris (point A) et l'air extérieur (point E) (hiver).....	85
Figure 4.5 : Schéma des caractéristiques point B et le point C (hiver) .....	86
Figure 4.6 : Installation de la centrale de traitement d'air (Hiver) .....	87
Figure 4.7 : Schéma des caractéristique de l'air dans la salle (été) .....	93
Figure 4.8 : Schéma des caractéristiques du mélange M entre l'air repris (point A) et l'air extérieur (point E) (été) .....	94
Figure 4.9 : Schéma des caractéristiques point B (été).....	95
Figure 4.10 : Installation de la centrale de traitement d'air (Eté).....	96
Figure 4.11: Machine frigorifique à absorption.....	97

# Liste des figures

Figure 4.12: Détente et refroidissement de la solution pauvre.....	98
Figure 4.13 : Pressurisation et chauffage de la solution.....	98
Figure 4.14 : Diagramme de oldham-couple NH <sub>3</sub> /H <sub>2</sub> O.....	100
Figure 4.15 : Désorbeur à film ruisselant.....	107
Figure 4.16 : Rectification de la vapeur. (a) : par échangeur vapeur/eau, (b) : par colonne de rectification.....	103
Figure 4.17: Rectification de vapeur.....	103
Figure 4.18 : diagramme de Merkel.....	104
figure 5.18': Machine à avsrption avec echangeur interne.....	106

## **Chapitre V: Simulation du traitement d'air dans l'habitat**

Figure 5.1 : Lancement du Gambit.....	107
Figure 5.2: Les opérations pour construire une géométrie .....	108
Figure 5.3 : Maillage structuré et non structuré.....	109
Figure 5.4 : Définition des frontières.....	110
Figure 5.5 : Exportation du maillage.....	110
Figure 5.6 : Importation de la géométrie.....	111
Figure 5.7 : Vérification du maillage.....	111
Figure 5.8 : Vérification des unités.....	112
Figure 5.9: Choix du solveur.....	112
Figure 5.10 : Equation de l'énergie.....	113

# Liste des figures

Figure 5.11 : Choix du modèle de d'écoulement.....	113
Figure 5.12 : Définition des caractéristiques du fluide.....	114
Figure 5.13 : Choix de la pression de référence.....	114
Figure 5.14 : Valeurs des conditions aux limites.....	115
Figure 5.15 : Vitesse d'entrée.....	115
Figure 5.16 : Parois inférieure et supérieure.....	115
Figure 5.17 : Pression à la sortie.....	116
Figure 5.18 : Choix d'ordre des équations et l'algorithme.....	116
Figure 5.19 : Initialisation du calcul.....	117
Figure 5.20 : Choix des critères de convergence.....	117
Figure 5.21 : Choix du nombre des itérations.....	117
Figure 5.22 : La température dans la pièce I.....	118
Figure 5.23 : La composante longitudinale de la vitesse pièce I.....	118
Figure 5.24 : La composante transversale de la vitesse pièce I.....	119
Figure 5.25 : La température de la pièce II.....	119
Figure 5.26: La composante longitudinale de la vitesse la pièce II.....	120
Figure 5.27: La composante transversale de la vitesse la pièce II.....	120
Figure 5.28: La température de la cuisine.....	121
Figure 5.29 : La composante longitudinale de la vitesse la cuisine.....	121
Figure 5.30: La composante longitudinale de la cuisine.....	121
Figure 5.31 : Température du séjour.....	122
Figure 5.32 : La composante longitudinale de la vitesse du séjour.....	122

# Liste des figures

Figure 5.33 : La composante transversale de la vitesse du séjour.....	122
Figure 5.34 : Ligne de courant dû hall et couloir.....	123
Figure 5.35 : La température du hall et le couloir.....	123
Figure 5.36 : température du couloir.....	124
Figure 5.37: la composante longitudinale de la vitesse du couloir.....	124
Figure 5.38: la composante transversale de la vitesse du couloir.....	125
Figure 5.39: Température du hall.....	125
Figure 5.40: la composante longitudinale de la vitesse du hall.....	126
Figure 5.41 la composante transversale de la vitesse du hall.....	126
Figure 5.42: La température de la salle de bain.....	127
Figure 5.43: La composante transversale de vitesse de la salle de bain...	127
Figure 5.44:La composante longitudinale dela vitesse de la salle de bain....	127

# Liste des figures

# Liste des figures

# NOMENCLATURES

a	L'azimut du soleil	[degré]
$a$	diffusivité thermique du corps	
$A_C$	surface du capteur	$[m^2]$
B	Besoin en chauffage	[kW]
$C_{min}$	Taux de capacité minimale	
$C_{max}$	Taux de capacité maximale	
$C_p$	Chaleur massique du fluide caloporteur	[j/kg.K]
$C_{Pf}$	Chaleur spécifique du fluide coté froid	[j/kg.C]
$C_{pc}$	Chaleur spécifique du fluide coté chaud	[j/kg.C]
COP	Coefficient de Performance	---
$D_{tot}$	La déperdition totale	[W]
dh	épaisseur de la lame d'air	[m]
Et	l'équation du temps	[min]
e	Epaisseur d'une paroi	[m]
G	La déperdition volumique	$[W/m^3 K]$
$G_{dir}$	le rayonnement solaire direct.	$[W/m^2]$
$G_{dif}$	le rayonnement solaire diffus.	$[W/m^2]$
K	coefficient global de transfert de chaleur de l'échangeur	$[W/m^2 \cdot ^\circ C]$
h	coefficient de transfert de chaleur par convection	$[W/m^2 K]$
$h_r (ab, v)$	Coefficient de perte par rayonnement entre l'absorbeur et le vitrage	$[W/m^2 K]$
$h_r (v, c)$	Coefficient de perte par rayonnement entre le vitrage et le ciel	$[W/m^2 K]$
$I_{0n}$	La variation de $I_0$ en fonction de l'année	$[W/m^2]$
$I_0$	la constante solaire	$[W/m^2]$
$I_c$	Intensité des radiations solaires dans le plan du capteur	$[W/m^2]$
L	La longitude	[degré]

$N$	Le numéro du jour dans l'année	---
$N_t$	Nombre de tubes	---
$N_v$	Nombre de vitrage	---
$Q_{\max}$	le taux de transfert maximum de chaleur dans l'échangeur	[W]
$Q_T$	taux global de transfert de chaleur dans l'échangeur de chaleur	[W]
$Q_u$	Energie utile	[W]
$S_h$	Surface habitable	[m <sup>2</sup> ]
$S_i$	Surface d'une face	[m <sup>2</sup> ]
TSM	Le Temps solaire moyen	[heure]
TSV	Le Temps solaire vrai	[heures]
$T_a$	Température de l'ambiance	[°C]
$T_{ab}$	Température de l'absorbeur	[°C]
$T_{con}$	Température de confort	[°C]
$T_{EC}$	température d'entrée du côté chaud.	[°C]
$T_{EF}$	température d'entrée du côté froid	[°C]
$T_{SC}$	température de sortie cotée chaud	[°C]
$T_{SF}$	température de sortie côté froid	[°C]
$T_{is}$	Température de l'isolant	[°C]
$T_{\max}$	Température maximale	[°C]
$T_{\min}$	Température minimale	[°C]
$T_{pm}$	Température moyenne de l'absorbeur	[°C]
$T_v$	Température de la vitre	[°C]
$U$	Coefficient global de perte thermique du capteur	[W/m <sup>2</sup> °C]
$V_h$	Volume habitable	[m <sup>3</sup> ]

**Lettres grecques :**

$\beta$	Inclinaison du capteur solaire	[degré]
$\sigma$	Constante de Stefan-Boltzmann	---
$\omega$	L'angle horaire	[degré]
$\Phi$	Flux de chaleur transmis	[W]
$\nu$	Viscosité cinématique	[Kg/m.s]
$\delta$	La déclinaison du soleil	[degré]
$\varepsilon_v$	Emissivité du vitrage	---
$\varepsilon_{ab}$	Emissivité de l'absorbeur	---
$\phi$	La latitude du lieu	[degré]
$\omega$	L'angle horaire	[degré]
$\rho$	La masse volumique	[Kg/m <sup>3</sup> ]
$c$	la chaleur massique	[j/Kg.K]
$\theta$	l'angle incident.	[degré]
$\lambda$	Conductivité thermique	[W/m.K]
$\delta$	Déclinaison solaire	[degré]
$\varepsilon$	Efficacité de l'échangeur	---

**Nombres adimensionnels :**

Nu	Nusselt	---
Ra	Rayleigh	---
Pr	Nombre de Prondtls	---
Re	Reynolds	---

# REFERENCES

- [1] : Jannot Yves « Thermiques solaire ».La renaissance de l'énergie solaire 2007.
- [2] : Ch. Perrin, Ch. Vauge, «Le gisement solaire ». Technique et documentation (Lavoisier), 1982.
- [3] : P. Bessemoulin, J. Olivieri, « Le rayonnement solaire et sa composante Ultraviolette », La Météorologie. 8<sup>ème</sup> série N° 31 (2000) p42-59.
- [4] : R. Bernard, G. Mengy, M. Schwarz « Le rayonnement solaire conversion thermique et application », 2<sup>ème</sup> édition augmenté technique et documentation, Paris, Lavoisier/1980.
- [5] : M. Dagueuet, « Les séchoirs solaires ». Théorie et pratique, Unisco, Paris, 1985.
- [6]: D. C. Andrew, D. S. Jeffrey, J. R. Simon, D. S. Marvin, A Model for simulating the performance of shallow pond as supplemental heat rejecter with closed-loop ground-source heat pump systems, American society of heating. Vol 106 Part 2 (2000) pp107-121.
- [7] : J. A. Duffie, W. A. Beckman, «Solar energy thermal processes», John Wiley and Sons, New York,1974.
- [8]: A. A. Sayigh, « Characteristics of solar radiation », Solar Energy Conversion, Pergamon Press, Ontario, 1979.
- [9]: F. Kreith, J. Kreider, « Principles of solar engineering », Hemisphere Publishing Corporation, Washington, 1978.
- [10]: Microsoft Encarta (2008). 1993-2007 Microsoft Corporation.
- [11]: Cutler, J. Cleveland, « Encyclopedia of Energy », Ph-S, volume 5, Elsevier academic press 2044 page 208-209.
- [12]: [http://fr.wikipedia.org/wiki/Energies\\_renouvelables](http://fr.wikipedia.org/wiki/Energies_renouvelables), 20.12.2066
- [13]: The world Energy Conference. Terminologies de d'énergie, dictionnaire multilingue, 2<sup>ème</sup> édition, London, UK, First edition 1986.
- [14]: Alain Gilpin, « Dictionary of technology », Butterworth scientific Ann Arbor Science London 1982, page 320-321.

- [15] : <http://www.energiesdurables.com/>. 24.12.2006
- [16] : Fiche de synthèse, « les énergies renouvelables en Algérie » Ubifrance et les missions économiques ; actualisation du 14/07/2010. Fichier PDF
- [17] : Leconte, P et M. Rapin et E. Széchenyi, « *Eoliennes* ». Techniques de l'Ingénieur, traité Génie mécanique, 10 janv. 2001.
- [18] : Jack Robert, « Convertisseurs directs d'énergie électrique ». Technique et documentation Lavoisier, 1981.
- [19] : A. Laugier, J.A. Rogier, « Les photopiles solaire ». Technique et documentation Lavoisier/1981
- [20] : Queen bishop « Montage à cellules solaires », édition technique et scientifique française pp 9-12/1983
- [21] : Production d'énergie électrique, énergie solaire photovoltaïque.doc/B.Flèche-D.Delagnes/juin2007. PDF
- [22] : Jacques Bernards «Energie solaire Calcules et optimisation ». Aout 2004 France.
- [23]: <http://www.fedre.org/content/le-solaire-thermique-histoire-et-perspectives>

## **Résumé**

Notre travail porte sur l'étude d'une installation solaire pour chauffer et climatiser une habitation située à Tlemcen.

Dans la première partie nous avons présenté quelques notions sur le gisement solaire, les énergies renouvelables ainsi que l'énergie solaire.

Dans la deuxième partie, nous avons présenté les calculs des déperditions thermiques à travers les parois et le coefficient de déperdition volumique de l'habitat, ainsi que le traitement d'air pour l'hiver comme pour l'été. Nous avons ensuite procéder a une simulation avec les logiciels Fluent et Gambit pour s'assurer de l'uniformité de la température se trouvant au sein de notre bâtisse et procurer le confort pour occupants.

**Mots clés :** installation solaire, chauffage et climatisation, capteur solaire thermique, traitement d'air, énergie solaire.

## **Abstract**

Our work focuses on the study of a solar system to heat and cool a home site located in Tlemcen. In the first part we presented some ideas about the solar resource, renewable energy and solar energy. In the second part, we presented the calculations of heat loss through the walls and the coefficient of volume loss of habitat, and the air handling for the winter as in the summer, we then proceed to simulation with Fluent and Gambit software to ensure uniformity of temperature located within our building to reign comfort for occupants. Keywords: solar, heating and cooling, solar thermal collector, air treatment, solar energy.

## **ملخص**

يركز عملنا على دراسة نظام الطاقة الشمسية لتسخين و تبريد منزل يقع في تلمسان. في الجزء الأول قدمنا بعض الأفكار حول موارد الطاقة الشمسية و الطاقة المتجددة و الطاقة الشمسية في الجزء الثاني، قدمنا حسابات فقدان الحرارة من خلال الجدران و معامل فقدان الحرارة الحجمي ، و معالجة الهواء لفصل الشتاء كما في الصيف، ثم شرعنا في محاكاة عبر برنامج " **Fluent** " لضمان الاتساق في درجة الحرارة التي تقع داخل المبنى.

كلمات البحث: الطاقة الشمسية، التدفئة و التبريد، تجميع الطاقة الشمسية الحرارية، معالجة الهواء .