



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche  
scientifique  
Université Aboubekr Belkaïde Tlemcen



Faculté de Technologie

Département de Génie Mécanique

# Mémoire de Master

*Spécialité : Génie énergétique*

*Option : Génie thermique et énergies renouvelables*

*Présenté par :*

**BENMEHDI RACHID**

**Conception et régulation des systèmes fermés de  
distribution et de circulation de chauffage/climatisation**

**Soutenu le 17 avril 2013 devant la commission d'examen composée de :**

<b>Président :</b>	<b>Mr . ALIANE A .</b>	<b>Université de Tlemcen</b>
<b>Rapporteurs :</b>	<b>Mr . GHERNAOUT M.E.A.</b>	<b>Université de Tlemcen</b>
	<b>Mr . KHADRAOUI .Y .</b>	<b>Université de Tlemcen</b>
<b>Examineurs :</b>	<b>Mr . BENRAMDANE M.</b>	<b>Université de Tlemcen</b>
	<b>Mr . ZINAI A.</b>	<b>Université de Tlemcen</b>

**Année Universitaire : 2012 - 2013**

## *Dédicaces*

*Je dédie ce travail*

- *à mes parents qui m'ont soutenu durant toutes ces années d'études et qui ont été toujours présent pour me pousser vers toujours plus d'efforts ;*
  
- *à mes sœurs, mes frères ;*
  
- *à ma tante Mama ;*
  
- *à tous les membres de ma grande famille BENMEHDI*
  
  
- *à mes professeurs, mes amis et à tous ceux qui m'ont assisté et soutenu dans mes études.*
  
- *à Guendouz. B qui m'a apporté aide et assistance en informatique.*

## *Résumé*

Ce travail aura pour objectif de développer les solutions optimales de conception et de régulation des systèmes fermés de distribution et de circulation de chauffage /climatisation. des variantes portant sur les paramètres principaux des systèmes seront comparées entre elles afin de dégager les caractéristiques d'une solution optimale.

Tous les types de bâtiments, qu'ils soient d'habitation ou tertiaires, nécessitent des systèmes plus ou moins complexes pour maintenir, pour leurs occupants, une ambiance confortable. Ces systèmes apportent, suivant les saisons, chaleur ou fraîcheur (climatisation), avec plus ou moins d'efficacité (meilleure ambiance pour une moindre consommation).

Une étude théorique est faite pour la détermination des différents facteurs influençant sur comportement thermique d'un bâtiment et leur dimensionnement.

La modélisation énergétique du problème est faite par la méthode nodale,

La simulation est réalisée à l'aide d'un programme élaboré sous TRNSYS.

Enfin, une conclusion résume les principaux résultats obtenus et des perspectives pour de futurs travaux sont proposées.

**Mots clés :** méthode nodale, facteur influençant, simulation TRNSYS.

## *Abstract*

This work will aim to develop optimal solution for the design and control of closed systems of distribution and circulation heating/cooling. variations on the main parameters of the systems are compared with each other to identify the characteristics of an optimal solution.

All types of buildings, whether residential commercial, require more or less complex systems to maintain their occupants with a comfortable atmosphere. These systems provide according to the season, heat or cold (air conditioning), with more or less efficiency (better atmosphere and low power consumption).

A theoretical study is made to determine the factors influence on thermal behavior of building and its design. The energy modeling problem is made by the nodal method, the simulation is performed using a program developed in TRNSYS .

Finally, a conclusion summarizes the main results and perspectives for future work that are proposed.

**Keywords :** nodal method, factor influencing, TRNSYS simulation

## ملخص

يهدف هذا العمل الى تطوير الحلول المثلى لتصميم ومراقبة النظم المغلقة للتوزيع وتداول التدفئة / التبريد تحديد خصائص الحل الأمثل. قمنا بدراسة المتغيرات على المعالم الرئيسية للنظم ومقارنتها مع بعضها البعض . جميع أنواع المباني، سواء كانت السكنية أو التجارية ، تتطلب أكثر أو أقل تعقيدا للحفاظ على جو مريح لقاطنيها . هذه الأنظمة تقدم وفقا للموسم، الحرارة أو البرودة (التكييف)، مع تفاوت الكفاءة (أفضل بيئة مع أقل استهلاك للطاقة). تم إجراء دراسة نظرية لتحديد العوامل التي تؤثر على السلوك الحراري للمبنى وتصميمه. تمت النمذجة الطاقوية للمشكل وفقا لطريقة نودال، حيث يتم تنفيذ المحاكاة باستخدام برنامج المتقدمة في TRNSYS. وفي الأخير، خاتمة تلخص النتائج ووجهات النظر الرئيسية المستخلصة و تقترح احتمالات للعمل بها في المستقبل. **كلمات البحث:** طريقة نودال، العوامل المؤثرة، والمحاكاة TRNSYS

# SOMMAIRE

Avant-propos	ii
Sommaire	iv
Liste des figures	viii
Nomenclature	xi

## Introduction Générale

### Chapitre I : Gisement solaire et développement durable

I Introduction	1
I.1. LE SOLEIL	1
I.1.1 Généralités sur le soleil	1
I.1.1.1 Présentation	1
I.1.1.2 Carte d'identité du soleil	1
I.1.1.3 Constitution du soleil	2
I.1.2. Rayonnement solaire	3
I.1.2.1 Composante du rayonnement solaire	3
I.1.2.2 La constante solaire $I_0$	3
I.1.2.3. Le rayonnement solaire au sol	4
I.2. Rappels astronomique	5
I.2.1 Introduction	5
I.2.2 Système équatorial	5
I.2.2.1. La déclinaison du soleil notée ( $\delta$ )	5
I.2.2.2 L'angle horaire noté ( $w$ ) H	6
I.2.3. Système horizontal	6
I.2.3.2 La hauteur du soleil notée ( $h$ )	7
I.2.3.3 Latitude du lieu $\varphi$	7
I.2.4 Angle d'incidence $\theta$	7
II.2 Enjeux énergétiques et développement durable	8
I.2 La sécurité d'approvisionnement énergétique	9
I.2.1 Les énergies renouvelables	10
II.3.Potentiel solaire en Algérie	11
II.4 Besoins énergétiques de chauffage et climatisation d'un bâtiment pour le site de Tlemcen	12

III Conclusion .....	13
----------------------	----

## **Chapitre II : Problématique et confort thermique**

I Introduction .....	14
I.1 Le confort thermique .....	15
I.1.1 Définition de la notion de confort .....	15
II Résolutions de problématique .....	17
II.1 Les différentes méthodes de modélisation énergétique de bâtiment .....	17
II.1.1 La méthode nodale .....	17
II.1.2 Le CFD (computational fluid dynamics) .....	17
II.1.3 La méthode zonale .....	18
III. Problématique .....	19
III.1 Présentation du problème .....	19
IV. Conclusion .....	21

## **Chapitre III : Dimensionnement Et étude thermique**

I Description de bâtiment étudié .....	23
II Paramètres dimensionnel de bâtiment étudié .....	27
III Etude thermique de l'installation .....	27
III.1 Bilan d'énergie d'un capteur solaire .....	27
III.1.1 L'absorbeur .....	28
III. 1.2 La couverture transparente .....	31
III.1.3 Bilan énergétique du fluide caloporteur .....	33
III. 1.4 Le bilan énergétique dans le réservoir .....	34

## **Chapitre IV : Chauffage et climatisation d'habitations**

I. Introduction .....	36
II. Système Solaire Combiné Plus .....	36
II.1. Le chauffage des habitations.....	38
II.1.1 Définition de l'opération.....	38
II.1.2 Le chauffe-eau solaire .....	39
II.1.3 Le chauffage solaire des maisons .....	42
II.2. La climatisation solaire .....	42

II.2.1 Les différents systèmes de climatisation .....	43
II.2.2 Avantages et inconvénients de l'absorption .....	44
III. Conclusion .....	44

## **Chapitre V : Régulation du système de chauffage**

I. Introduction .....	45
I.1 Rappels sur la commande d'un processus .....	46
I.1.1 Régulation en boucle ouverte .....	46
I.1.2 Régulation en boucle fermée .....	48
1.3 Différents modes de régulation .....	50
1.3.1 Régulation par tout ou rien .....	50
1.3.2 Commande d'un processus .....	50
II. Application à la régulation d'un bâtiment.....	53
II.1 Application à la régulation dans notre bâtiment étudié.....	55
II.2 Diagramme fonctionnel de l'installation .....	58

## **Chapitre VI : Simulation et interprétation des résultats**

I. Introduction.....	60
II . Simulation des bâtiments multi-zones avec TRNSYS.....	60
II.1 Simulation.....	60
II.2 Présentation du logiciel TRNSYS.....	61
II.2.1. Avantages du logiciel TRNSYS.....	62
II.2.2 Limites du logiciel TRNSYS.....	62
II.2.3. Approche retenue.....	63
II.3 Les outils de l'environnement TRNSYS.....	63
II.3.1 Météonorm.....	63
II.3.2 TRNBUILD.....	66
III. Présentation du modèle de l'installation à étudié.....	67
IV. Résultats et interprétations.....	68
IV.1 Graphes .....	68
VI.2 Interprétation des résultats.....	71



## *Liste des figures*

<b>Figure I.1</b> : Densité de la couronne .....	2
<b>Figure.1.2</b> : La longueur d'onde de rayonnement solaire .....	3
<b>Figure I.3</b> : Bilan du rayonnement solaire .....	4
<b>Figure I.4</b> : Rayonnement solaire annuel dans le monde .....	5
<b>Figure I.5</b> : Déclinaison de soleil.....	6
<b>Figure. I.6</b> : Angle d'incidence du rayonnement sur un plan d'orientation quelconque .....	8
<b>Figure I.7</b> : Estimation des réserves mondiales .....	10
<b>Figure I.8</b> : Atlas solaire Algérien .....	11
<b>Figure I.9</b> : Degrés-jours pour le chauffage et Refroidissement dans les pays d'Afrique du Nord .....	12
<b>Figure I.9</b> : Situation de la ville de Tlemcen (carte d'Algérie) .....	13
<b>Figure II.1</b> Les variables principales du confort global_ .....	16
<b>Figure II.2</b> : Grandeurs influents le comportement thermique du bâtiment, les grandeurs connues sont en bleu .....	20
<b>Figure II.2</b> : Grandeurs influents le comportement thermique du bâtiment, les grandeurs connues sont en bleu .....	21
<b>Figure III.1</b> : Schéma de bâtiment étudié.....	23
<b>Figure III.2</b> : Plan de rez de chaussée .....	24
<b>Figure III.3</b> : Plan des étage 1-6 .....	25
<b>Figure III.4</b> Schéma présenté le volume d'étage étudié .....	26
<b>Figure III.5</b> Schéma de coordination entre les circuits de l'installation .....	26
<b>Figure III.6</b> : Les transferts thermique dans le capteur plan .....	28
<b>Figure IV.1</b> : Assemblage classique d'un système Solaire Combiné Plus (Source :EURAC ) .....	37
<b>Figure IV.2</b> : Schéma de principe du chauffage solaire avec tampon .....	38
<b>Figure IV.3</b> : Schéma de principe d'une installation solaire avec chauffage direct .....	39
<b>Figure IV. 4</b> : Schéma d'un chauffe-eau solaire.....	39
<b>Figure IV.5</b> : Systèmes standard de production d'eau chaude (d'après DGS Solar Anlagen - 2001) .....	40
<b>Figure IV. 6</b> : Schéma d'une installation destiné pour le chauffage des maisons .....	42
<b>Figure IV.7</b> : Schéma d'installation de climatisation .....	43

<b>Figure IV.8</b> : Les différents systèmes de climatisation .....	43
<b>Figure V.1</b> : Déperdition thermique d'un bâtiment (gains solaire).....	45
<b>Figure V.2</b> – Exemple de réglage d'organes de commandes (vannes) :Système en boucle ouverte.....	47
<b>Figure V.2</b> : Principe de régulation.....	47
<b>Figure V.3</b> – Exemple de régulation en boucle ouverte.....	48
<b>Figure V.4. (A-B)</b> : Régulation en boucle fermée.....	49
<b>Figure V.5</b> : Régulation Tout ou Rien.....	50
<b>Figure V.6. (A.B)</b> : Retard provoqué par l'inertie du bâtiment.....	52
<b>Figure V.7. (A.B)</b> : Retard dû à la sonde de température.....	53
<b>Figure V.8</b> : Principe de régulation bâtiment.....	55
<b>Figure V.9</b> : Représentation de système de la régulation dans notre bâtiment étudié.....	58
<b>Figure V.10</b> : Fonctionnement d'une vanne mélangeuse.....	59
<b>Figure V.11</b> : Diagramme fonctionnel global de l'installation.....	60
<b>Figure VI.1</b> : Interface de logiciel. Donnés technique de la station et variation de rayonnement.....	65
<b>Figure VI.2</b> : Représentation de la variation du rayonnement pour une année.....	65
<b>Figure VI.3</b> : La représention de températeur sur le logeciel.....	66
<b>Figure VI.4</b> : La variation de températeur durant une année.....	66
<b>Figure VI.5</b> : L'interface avec les données saisies dans TRNBUILD.....	67
<b>Figure VI.6</b> : La boucle de simulation su le logiciel TRNSYS.....	68
<b>Figure VI.7</b> :Evolution de la température du bâtiment pour les premier 24heur (jan).....	69
<b>Figure VI.8</b> : Représentation de la simulation pour les 3 mois (janv, février, mars).....	70
<b>Figure VI.9</b> : Représentation de la simulation dans l'intervalle [0-8760]h (1 année).....	70
<b>Figure VI.10</b> : Représentation de la consommation d'énergie d'appoint avec 3 capteur de surface total 6 mètre.....	71
<b>Figure VI.11</b> : Représentation de la consommation d'énergie d'appoint avec 3 capteur de surface total 6 mètre.....	72

*Liste des tableaux*

**Tableau I.1** : Statistiques des degrés d'ensoleillement par zones ..... 11

## *Nomenclature*

<b>Symboles</b>	<b>Notations principales</b>
I	Rayonnement global horaire sur une surface horizontale( $W/m^2$ )
$I_0$	constante solaire( $1353 W.m^{-2}$ )
COP	coefficient de performance
Q	énergie exprimée en joule[J] ou [kcal]
W	énergie mécanique exprimée en joule[J] ou [kcal]
P	puissances fournie(W)
$Q_{a-c}$	Flux de chaleur transféré à la couverture transparente ( W )
$Q_{a-e}$	Flux de chaleur transféré à l'eau (W)
$Q_{st-a}$	Flux de chaleur stocké (W)
$Q_{ab-a}$	Flux de chaleur absorbé (W)
$T_{pm}$	La température moyenne de la plaque absorbante ; ( K )
$T_{cm}$	La température moyenne de la couverture transparente ; (K)
$S_{pa}$	La surface de la plaque absorbant ; ( $m^2$ )
$h_{c,a \rightarrow c}$	Le coefficient de transfert thermique par rayonnement entre la plaque absorbante et la couverture transparente, exprimé en ( $W/ m^2 . K$ )
$\sigma$	Constante de Stephan-Boltzmann.
$\varepsilon_p$	L'émissivité de la plaque absorbante.
$\lambda_a$	Conductivité thermique de l'air entre les plans ;( $W/m . K$ )
$L_v$	L'espace entre les deux plans ; (m)
$\beta$	L'ange d'inclinaison des deux plans ; (degré)
Ra	Le critère de Rayleigh
$\varepsilon_c$	L'émissivité de la couverture transparente.
$G_v$	coefficient de déperditions thermiques du bâtiment ( $W/^\circ C$ )
g	Conductivité thermique de l'air entre les plans ;( $W/m . K$ )
$\beta'$	Coefficient de dilatation thermique ( pour les gaz $\beta' = 1/T$ ) ; ( $K^{-1}$ )
$\Delta T$	L'écart de température entre les deux plaques ; ( K )

$\mu_a$	Viscosité dynamique ; ( <i>pa.s</i> )
$T_{\text{cons.}} (T_c)$	température de consigne(°C)
$T_{\text{ext}}$	température extérieure (°C)
$K_p$	gain de l'action proportionnelle
$U(t)$	le signal de commande (la sortie du régulateur)
$U_0$	valeur de la commande lorsque $y(t) = y_c$
$Y_c(t)$	la consigne
$e(t)$	l'écart
$h_c$	Coefficient de transfert par convection ( $Wm^{-2}k^{-1}$ )
$h_r$	Coefficient de transfert par rayonnement ( $Wm^{-2}k^{-1}$ )
$h_o$	Coefficient de transfert à la sortie de la cheminée ( $Wm^{-2}k^{-1}$ )

**Lettres grecques**

**unités**

$\alpha$  : Coefficient d'absorption

$\beta$  : Facteur d'expansion

$k^{-1}$

$\varepsilon$  : Émissivité

$\rho$  : Masse volumique

$Kg m^{-3}$

$\sigma$  : Constante de Stefan-Boltzmann

$w m^{-2}K^{-4}$

$\tau$  : Transmittivité

$\eta_0$  : Le rendement optique

sans

## *Introduction Générale*

Le développement et l'expansion industrielle, ainsi que l'augmentation rapide de la population ont entraîné un accroissement important de la demande énergétique. Pour la satisfaire, à long terme, l'utilisation des sources d'énergie d'origine fossile conduira d'une part à une surexploitation de ces ressources et à une dégradation de l'environnement, d'autre part. L'utilisation de source d'énergie non nuisible à l'environnement, comme l'énergie solaire est nécessaire et indispensable dans certains cas. Cette source d'énergie est utilisée de manières différentes, par exemple: dans les systèmes thermiques (chauffe-eau/climatisation solaires), domaine où elle connaît un développement considérable particulièrement dans le secteur de l'habitat.

En Algérie, le secteur résidentiel et tertiaire se trouve parmi les secteurs les plus énergétivores, avec une consommation de 46% de de l'énergie finale et de 28% de l'énergie primaire [1]. Le niveau de consommation de ce secteur constitue l'un des soucis majeurs exprimés dans le cadre du modèle de consommation énergétique algérienne.

Les énergies renouvelables prennent jour après jour une de plus en plus importantes dans notre société. Un des changements marquants de ces dernières années est l'introduction progressive des énergies renouvelables (petit éolien solaire, thermique et photovoltaïque essentiellement) au sein des habitations individuelles. cette utilisation dans le temps des différentes source énergétiques.

Un bâtiment est soumis en permanence à des sollicitations extérieures (température, ensoleillement, vent) qui viennent perturber son état thermique. Le système de régulation, dont l'objectif est de rendre insensible aux occupants les variations climatiques externes, prendra partiellement en compte les phénomènes météorologiques et les caractéristiques thermiques des locaux. Et aussi le comportement dynamique des locaux et des systèmes de traitement d'air, les exigences de confort, ainsi qu'une meilleure maîtrise des couts impliquant une gestion rigoureuse des installations font de la régulation des systèmes de climatisation une discipline qui requiert les connaissances de spécialités aussi différentes que l'automatique, l'informatique, la thermique et la métrologie.

### ***Objectifs de travail :***

Les objectifs principaux de ce travail qui traite les solutions optimales de conception et de régulation des systèmes fermés de distribution et de circulation de chauffage/climatisation peuvent être résumés par les points suivants :

- 1- Etudier le système de chauffage pour le rôle d'ajuster la température intérieur du bâtiment afin de maintenir le niveau de confort thermique.
- 2- Utilisation du code de calcul TRNSYS.
- 3- Application de la Régulation sur notre système de production et distribution.

### ***Organisation du travail :***

Le présent mémoire comprend six parties principales :

La première partie est consacrée aux gisement solaire et développement durable .et nous réservons le deuxième chapitre a notre problématique et confort thermique, au on y présente les différentes méthodes de la modélisation énergétique .Dimensionnement et étude thermique du bâtiment étudié est présenté en troisième lieu.

Le quatrième chapitre sera exposé le chauffage et climatisation d'habitations. Et en passera a la régulation du système de chauffage dans le cinquième chapitre.

Et finalement dans le sixième chapitre présente une simulation de système par logiciel TRNSYS ,et nous interprétant les résultats obtenus.

# Chapitre I

## Gisement solaire et développement durable

### I 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.

Depuis les années 80 et les répercussions des chocs pétroliers, l'humanité s'est rendu compte que les ressources d'énergie fossile sont limitées et qu'une mauvaise gestion de l'environnement peut provoquer des changements climatiques de grande envergure et causer des crises dans le futur. Selon les accords de Kyoto, à l'horizon 2012, les pays se sont engagés à réduire leurs émissions des six principaux gaz à effet de serre de 5.2% en moyenne entre 2008 et 2012 par rapport au niveau de 1990[2]. En signant ce protocole et ses engagements, l'Algérie s'est engagée dans une forte relance de sa politique de maîtrise de l'énergie et de développement des énergies renouvelables.

### I.1. LE SOLEIL

#### **I.1.1 Généralités sur le soleil :**

##### **I.1.1.1 Présentation :**

Le soleil est situé au centre d'un système dit « système solaire » dont la terre fait partie avec d'autres planètes.

Le Soleil a une forme sphérique qui est constitué d'hydrogène (71%), d'hélium (27% ), et d'autres éléments, plus lourds (2% ). Au centre du Soleil, la température atteint environ 16 millions de degrés Celsius, en surface la température du soleil est d'environ 5900 K.

##### **I.1.1.2 carte d'identité du soleil :**

L'étude astrophysique du soleil conduit aux valeurs suivantes :

- Masse :  $2 \cdot 10^3$  kg, soit 333432 fois celle de la terre.
- Rayon :  $7 \cdot 10^8$  m, soit 109 fois celui de la terre.
- Densité du soleil:  $1400 \text{ kg/m}^3$
- Age de soleil:  $4.7 \cdot 10^9$  années.



- Puissance rayonnée par le soleil :  $4.10^{23}$ kw.
- Distance moyenne (d) à la terre :  $149.6 10^9$  m,

Il faut de plus de 8mn pour que la lumière solaire nous parvienne.

### I.1.1.3 Constitution du soleil :

C'est une sphère non homogène dans laquelle on peut distinguer 3 zones principales : l'intérieur, la photosphère, la chromosphère et la couronne solaire.

#### a-l'intérieur :

C'est la source d'énergie du soleil, il est composé de 2/3 d'hydrogène et 1/3 d'hélium. La température atteint de l'astre  $15.10^6$ K.

#### b- la photosphère :

C'est la couche gazeuse qui enveloppe le soleil .elle est responsable de presque la totalité du rayonnement que la terre reçoit.

Elle est mince d'environ 300km, et de pression de  $10^{-2}$  atmosphère et une densité de  $10^8$  g/cm<sup>3</sup>.

#### c-Chromosphère :

Elle surmonte la photosphère .c'est une couche gazeuse qu'on assimile à l'atmosphère solaire sont épaisseur ne dépasse pas 800km et sa température est de  $10^4$ k.

#### d- La couronne :

C'est une auréole blanche irrégulière sans limite définies, son épaisseur est de l'ordre de  $3.10^6$ km.

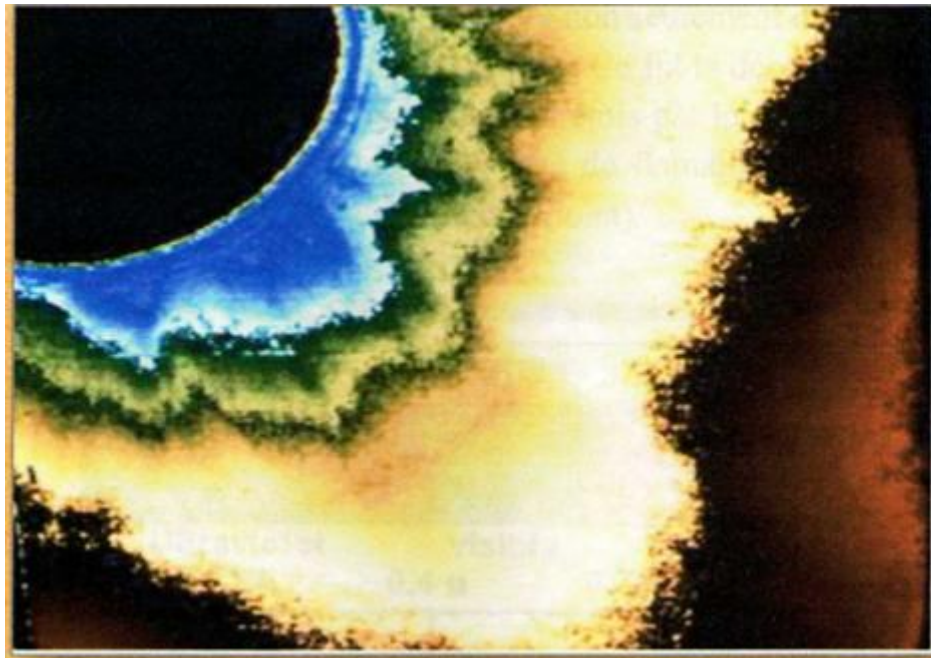


Figure I.1 : Densité de la couronne

### 1.1.2. Rayonnement solaire :

Le rayonnement Solaire est une énergie produite par le Soleil à la suite de réactions de fusion thermonucléaire qui dégage une très grande quantité d'énergie, source de la plupart des énergies disponibles sur Terre et exploitable pour la production d'électricité.

L'énergie solaire se propage dans l'espace sous la forme de « grains », ou quanta d'énergie, les photons ; elle est sans cesse renouvelée.

#### 1.1.2.1 Composante du rayonnement solaire :

Le rayonnement qui nous parvient du soleil est émis par sa surface extérieure dont la température est d'environ 6000 °K. A une telle température, 40% de l'énergie est émise dans le domaine visible (gamme de longueur d'onde allant de 0,3 un (violet -bleu) à 0,7uni (rouge). La décomposition du rayonnement solaire peut être réalisée en projetant un faisceau lumineux sur un prisme de verre ou sur un réseau de diffraction. Tout un éventail de couleurs apparaît, du bleu au rouge en passant par le vert et le jaune.

Chacune de ces couleurs est associée à un rayonnement d'une certaine longueur d'onde. William Herschell (Vers 1800) qui étudiait le rayonnement solaire, avait placé un thermomètre derrière un tel prisme. Il s'aperçut qu'il indiquait une élévation de température (et donc qu'il recevait de l'énergie) non seulement dans le domaine visible mais également dans la région au- delà du rouge. Ce fut la découverte du rayonnement infrarouge qui représente 50% du rayonnement émis par le soleil. Les 10% restant du rayonnement solaire total sont émis à l'opposé du domaine visible, à des longueurs d'onde plus petites que celles du violet (l'ultra violet).

#### 1.1.2.2 La constante solaire $I_0$ :

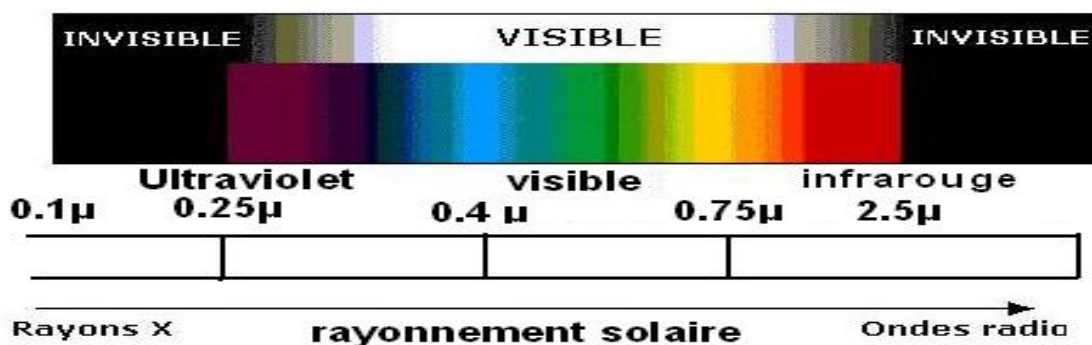


Figure.1.2 : la longueur d'onde de rayonnement solaire [3]

On appelle constante solaire  $I_0$  la puissance reçue en dehors de l'atmosphère terrestre,

par une surface de  $1\text{m}^2$ , normale au rayonnement solaire. Est pratiquement invariable lorsque la Terre est à une distance moyenne du Soleil. Cette constante, mesurée à bord de satellites artificiels est  $1353\text{W/m}^2$  et fluctue d'environ 0,2 % tous les trente ans, et la variation de  $I_0$  en fonction de l'année entre 1308-1400  $\text{W/m}^2$ .

$$I_{0n} = I_0 \cdot (1 + 0.033 \cdot \cos(360 \cdot n / 365)) \quad (I.1)$$

n : quantième de l'année

$I_0$  : constante solaire sa valeur est de  $1400\text{ w/m}^2$ .

### 1.1.2.3. Le rayonnement solaire au sol :

La variation de rayonnement solaire au sol en fonction de trois paramètres essentiels

a : L'intensité de l'énergie solaire réellement disponible à la surface de la Terre est inférieure à la constante solaire en raison de l'absorption et de la dispersion de cette énergie, due à l'interaction des photons avec l'atmosphère, les nuages ou encore les filmées produites par la pollution ( $\text{CO}_2$ , le méthane  $\text{CH}_4$  et le peroxyde d'azote  $\text{N}_2\text{O}$ ).

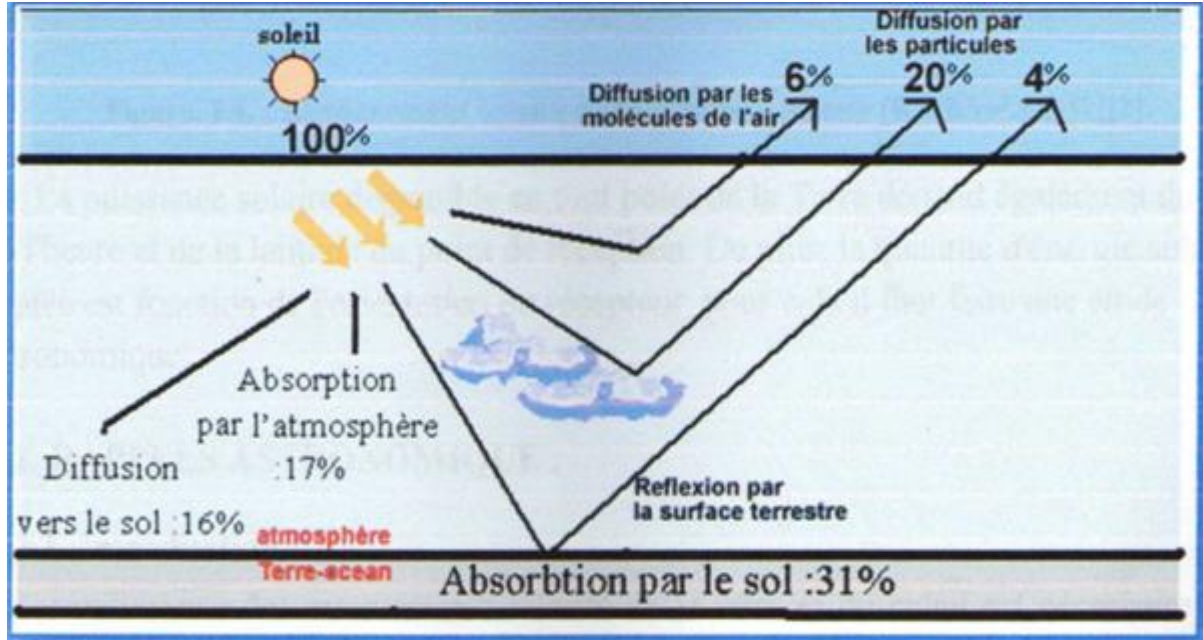


Figure I.3 : Bilan du rayonnement solaire [4]

b : L'intensité de l'énergie solaire disponible varie en fonction de la situation géographique du site de captation. En Algérie, plus on est au Sud plus on profite d'une irradiation importante

du soleil. Au Nord, moins l'irradiation solaire est importante, mais plus les besoins de chaleur sont importants : saison de chauffe plus longue, température extérieure plus basse, température de l'eau plus basse.

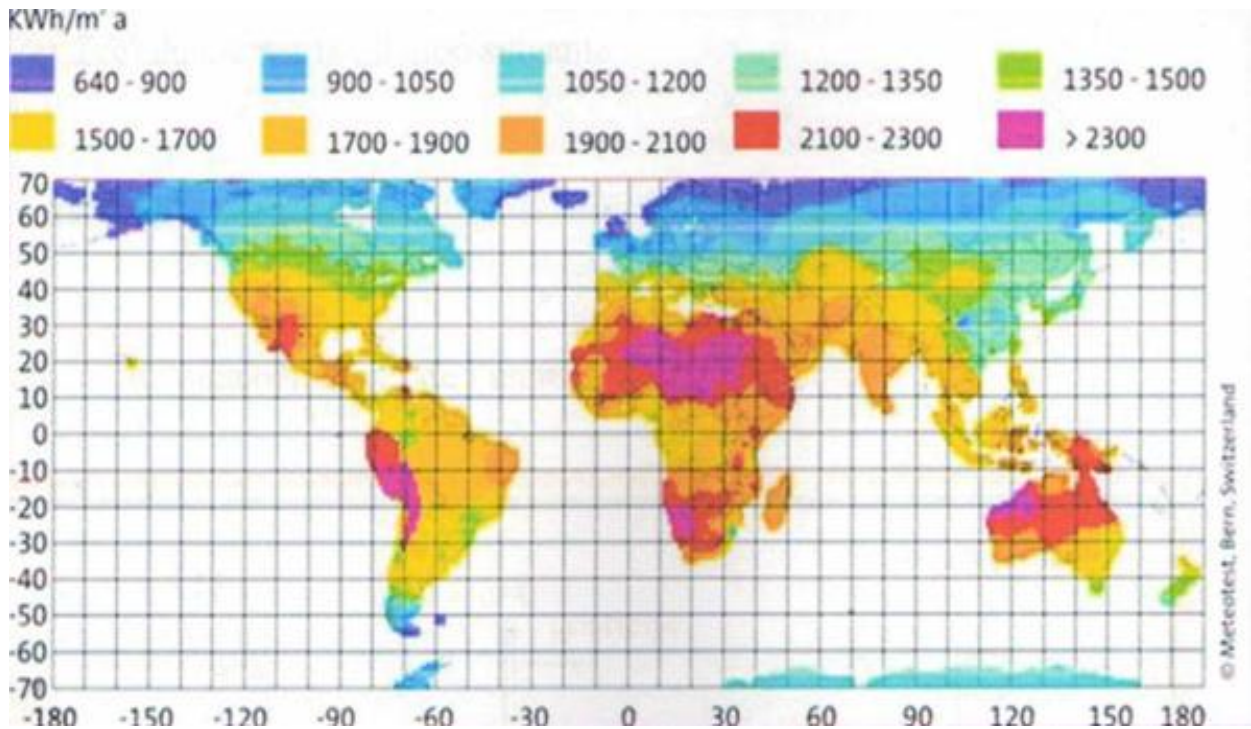


Figure I.4 : rayonnement solaire annuel dans le monde [4]

c- La puissance solaire disponible en tout point de la Terre dépend également du jour, de l'heure et de la latitude du point de réception. De plus, la quantité d'énergie solaire captée est fonction de l'orientation du récepteur, pour cela il faut faire une étude astronomique.

## **1.2. RAPPELS ASTRONOMIQUE :**

### **1.2.1 Introduction :**

La connaissance des mouvements relatifs de la terre et du soleil est nécessaire pour connaître le flux solaire reçu sur la surface de la terre en un lieu quelconque est un instant quelconque de la journée ou l'année.

### **1.2.2 Système équatorial :**

On utilise deux angles :

#### **1.2.2.1. La déclinaison du soleil notée ( $\delta$ ) :**

$\delta$  : c'est l'angle que fait la direction du soleil avec le plan équatorial, elle varie au cours de l'année entre  $-23,45^\circ$  et  $+23,45^\circ$  ; donc elle maximale au solstice d'été (21 juin) et minimale au



solstice d'hiver (21 décembre). elle est nulle aux équinoxes (21 mars et 21 septembre). donné par la relation suivante :

$$\delta = 23.45 \cdot \sin\left(\frac{284+n}{365}\right) \quad (\text{I.2})$$

D'où :  $n$  : quantième jour de l'année  $1 < n < 365$

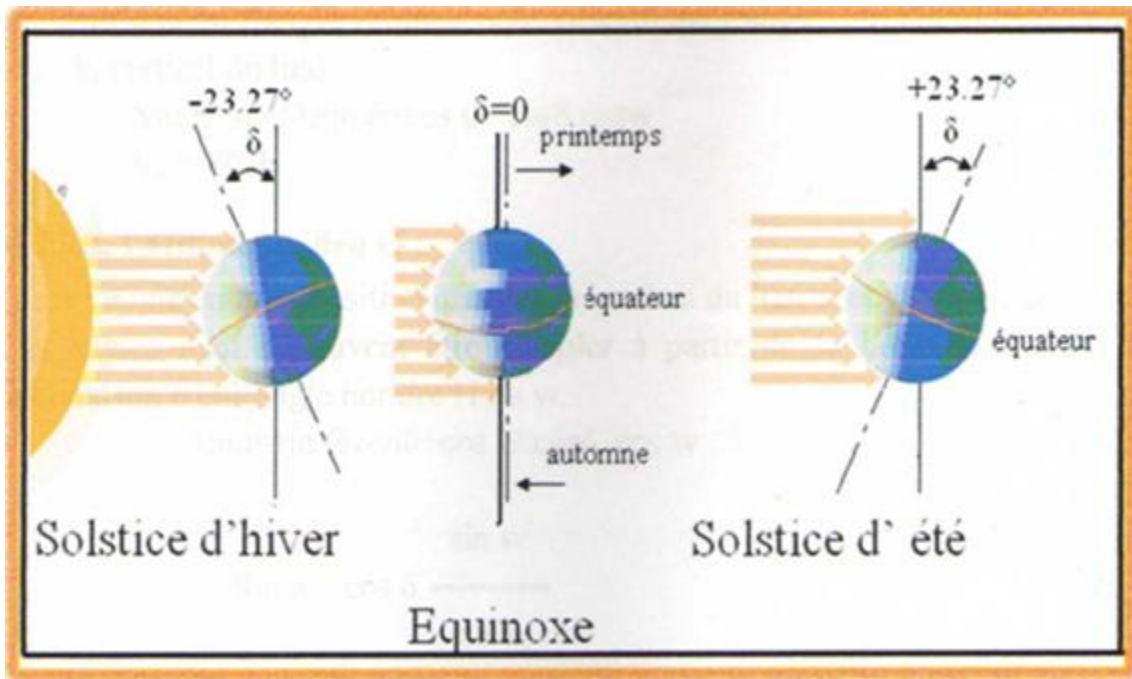


Figure I.5 : déclinaison de soleil [4]

### 1.2.2.2 L'angle horaire noté ( $w$ ) H :

C'est l'angle formé par le plan méridien passant par le centre du soleil et le plan vertical du lieu ou c'est le déplacement angulaire du soleil à l'Est ou l'Ouest du méridien local du à la rotation de la terre autour de son axe par  $15^\circ$  par heure ( $15^\circ/h$ ) donné par l'expression suivante :

$$W = \frac{360}{24} (TSV - 12) \quad (\text{I.2})$$

TSV : temps solaire vrai donné en heures.

### 1.2.3. Système horizontal :

#### 1.2.3.1 L'azimut du soleil noté ( $a$ ) :

C'est l'angle que fait la projection de la direction du soleil sur le plan horizontal avec la direction du sud :

Positif quand le soleil est à l'ouest.

Négatif quand le soleil est à l'est.

### I.2.3.2 La hauteur du soleil notée (h) :

C'est l'angle que fait la direction du soleil avec le plan horizontal.

On définit aussi l'angle zénithal noté « $\theta_z$ » qui est l'angle que fait la direction du soleil avec la vertical du lieu.

$$\sin h = \sin\varphi \cdot \sin\delta + \cos\varphi \cdot \cos w \quad (I.3)$$

$$\theta_z = 90^\circ - h$$

### I.2.3.3 Latitude du lieu $\varphi$ :

C'est l'angle entre la position que fait la vertical du lieu avec le plan équatorial.

Les angles h et a peuvent être calculer à partir de la latitude du lieu  $\varphi$ , de la déclinaison  $\delta$  et l'angle horaire H ou w.

$$\sin h = \sin \varphi \cdot \sin \delta + \cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos w \quad (I.4)$$

### 1.2.4 Angle d'incidence $\theta$ :

L'angle d'incidence représente l'angle compris entre la normale au plan du capteur et la radiation solaire.

$\theta$  : est donné par la relation suivante :

$$\cos\theta = \sin \delta \cdot \sin \varphi \cdot \cos i + \cos \delta \cdot \cos i \cdot \cos \omega + \cos \delta \cdot \sin i \cdot \sin \gamma \cdot \sin \omega - \sin \delta \cdot \cos \varphi \cdot \sin i \cdot \cos \gamma + \cos \delta \cdot \sin \varphi \cdot \sin i \cdot \cos \gamma \cdot \cos \omega$$

Avec :

i : inclinaison du capteur.

$\gamma$ : angle entre le méridien local et la projection de la normal au plan

#### Cas particuliers :

- Surface horizontale  $i = 0$  ,  $\gamma = 0$  ,  $\theta = \theta_z$
- Surface orientée ver le sud  $\gamma = 0$

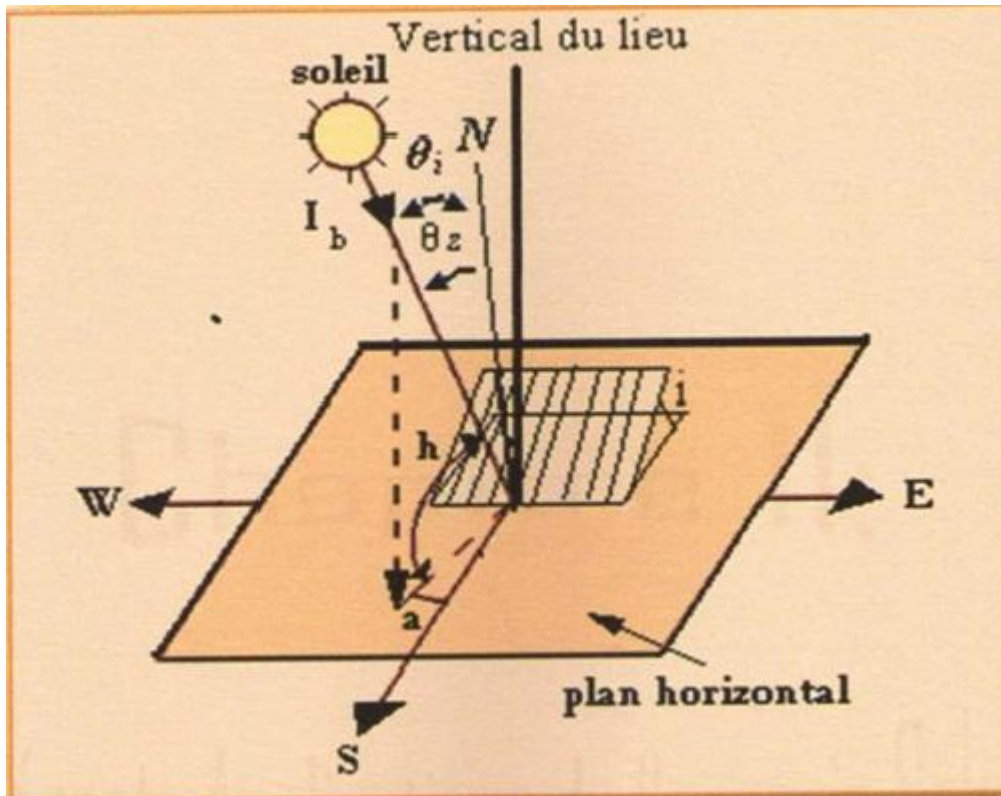


Figure. I.6.: Angle d'incidence du rayonnement sur un plan d'orientation quelconque [4].

## **II.2 enjeux énergétiques et développement durable :**

La première crise pétrolière du début des années 1970 a totalement modifié le rapport des pays occidentaux avec l'énergie. L'énergie, abondante et bon marché, est devenue un bien rare et cher. Les efforts ont été concentrés, d'une part sur la baisse du coût de l'énergie, et d'autre part sur la réduction de la consommation énergétique.

Ensuite les préoccupations environnementales, ainsi que la prise de conscience du caractère fini des énergies fossiles ont pris une part croissante dans la gestion énergétique mondiale.

Le réchauffement climatique global, dû aux émissions de gaz à effet de serre, et plus particulièrement au CO<sub>2</sub> provenant de la combustion des énergies fossiles est un fait établi et étudié par la communauté scientifique [5]. La raréfaction des ressources mondiales en énergie fossile, bien que la date de la fin du pétrole ne soit pas l'objet d'un consensus, est un phénomène qui va nécessairement favoriser la hausse du coût de l'énergie.

Ces deux facteurs obligent à repenser l'utilisation et la production de l'énergie.

Cette proportion est restée stable depuis 1973 malgré la mise en place progressive de réglementations thermiques de plus en plus strictes, conséquences des chocs pétroliers successifs ayant entraîné un vaste mouvement de recherche de la sobriété énergétique [2]. Les efforts de réduction de la consommation ont d'abord porté sur l'amélioration du bâtiment, et donc sur la réduction des besoins hivernaux. Les solutions préconisées ont mené à augmenter l'imperméabilité et l'isolation des bâtiments. En parallèle l'évolution de l'architecture a favorisé la construction de bâtiments faiblement inertes, plus ouverts sur l'extérieur avec de larges baies vitrées. Les gains solaires passifs sont donc améliorés, réduisant d'autant les consommations de chauffage [6].

Dès lors une nouvelle problématique est apparue : La conjonction d'une forte isolation, d'une faible inertie et de larges ouvertures sur les orientations les plus ensoleillées mènent à une surchauffe estivale que les usagers ne tolèrent pas. Le recours à la climatisation s'est donc massifié, avec par exemple une hausse de 500% (comprenant les simples remplacements) de la surface climatisée en Europe entre les années 1980 et 2000 les projection réalisées. Par ailleurs, on indique que cette tendance se confirme dans les années à venir, avec une hausse estimée entre 2005 et 2020 de plus de 50 % en Algérie. En ce qui concerne le secteur tertiaire (pour la Algérie)[7].

En résumé, même si la part de la climatisation dans la consommation énergétique globale des bâtiments est faible, c'est un poste qui ne cesse d'augmenter, c'est pourquoi, dans l'optique de la diminution de l'empreinte écologique des bâtiments, il est nécessaire de limiter l'énergie consommée pour la climatisation.

## **I.2 La sécurité d'approvisionnement énergétique :**

Au rythme actuel de notre consommation, de quelles ressources énergétiques disposerons-nous demain ? Le pétrole sera la première source d'énergie à s'épuiser vers 2040, dans moins de deux générations. L'uranium et le gaz naturel n'atteindront pas les années 2075. Le charbon est plus abondant, mais ses réserves utiles ne dépassent pas deux ou trois cents ans. Enfin les difficultés de la surgénération et de la fusion nucléaire montrent que la perspective de disposer à court terme d'une énergie abondante et quasi-gratuite reste pour l'instant un mythe [7] (Figure I.1).

Le risque d'une rupture physique d'approvisionnement à long terme est aujourd'hui présent. La rupture ou le rationnement physique peuvent tout simplement résulter de l'épuisement des ressources ou de l'insuffisance des moyens de production. S'agissant des



énergies fossiles, la mesure de la durée de vie des réserves révèle bien cette préoccupation qui pourra un jour devenir une véritable hantise.

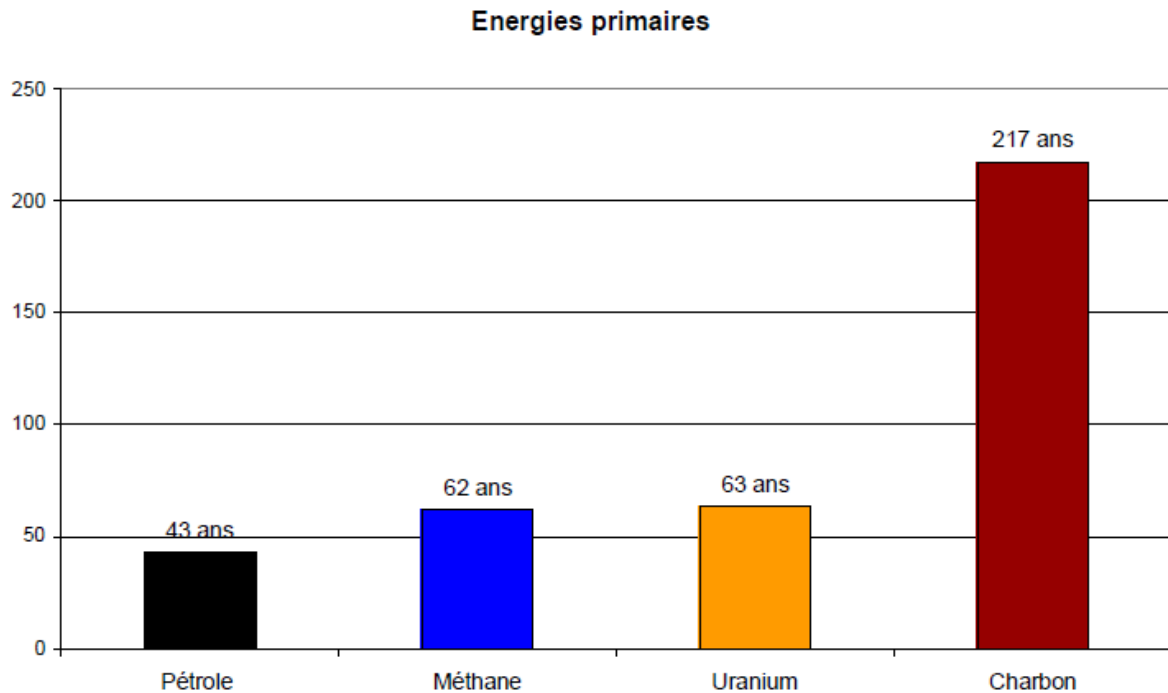


Figure I.7 : Estimation des réserves mondiales [7]

Les énergies renouvelables présentent de nombreux avantages au regard de la sécurité énergétique. En premier lieu, elles ne posent pas, contrairement aux ressources fossiles, et dans une moindre mesure aux ressources fissiles, de risque d'épuisement. Certaines, comme l'énergie solaire, apparaissent vraiment comme disponibles en quantité illimitée.

### I.2.1 Les énergies renouvelables :

Seule l'utilisation de toutes les formes d'énergies renouvelables (solaire, éolienne, hydraulique, bois et biomasse) et une augmentation de l'efficacité énergétique permettront d'éviter de piller définitivement notre planète pour nos seuls besoins immédiats.

Les énergies renouvelables constituent une solution respectueuse de l'environnement. Elles permettent d'acquérir une certaine autonomie énergétique et de réaliser des économies à moyen et long terme. En fonction de la situation géographique, plusieurs types d'énergies renouvelables sont utilisables (existe 5 familles) :

- **Energie Solaire**
- **Energie Eolienne**

- Energie Hydraulique
- Energie de la Biomasse
- Energie de la Géothermie

### II.3.Potentiel solaire en Algérie :

Par sa situation géographique, l'Algérie dispose de l'un des gisements solaires les plus élevés au monde. La durée d'insolation sur la quasi-totalité du territoire national dépasse les 2000 heures annuellement et peut atteindre les 3900 heures (hauts plateaux et Sahara) (Tableau I.1). L'énergie reçue quotidiennement sur une surface horizontale de 1 m<sup>2</sup> est de l'ordre de 5KW/h sur la majeure partie du territoire national, soit près de 1700 (KW/h/m<sup>2</sup>)/an au Nord et 2263 (KWh/m<sup>2</sup>)/an au Sud, voire carte solaire [4].

Le potentiel en énergie renouvelable le plus important, en Algérie, c'est le solaire. Il est le plus important de tout le bassin méditerranéen (Figure II.4):

- 169 440 TWh/an [T] : téra 10<sup>12</sup>
- 5.000 fois la consommation algérienne en électricité
- 60 fois la consommation de l'Europe des 15 (estimée à 3.000 TWh/an)

Régions	Région côtière	Hauts plateaux	Sahara
Superficie %	04	10	86
Durée moyenne d'insolation H/An	2650	3000	3500
Energie moyenne reçue kWh/m <sup>2</sup> /an	1700	1900	2650

Tableau I.1 : Statistiques des degrés d'insolation par zones

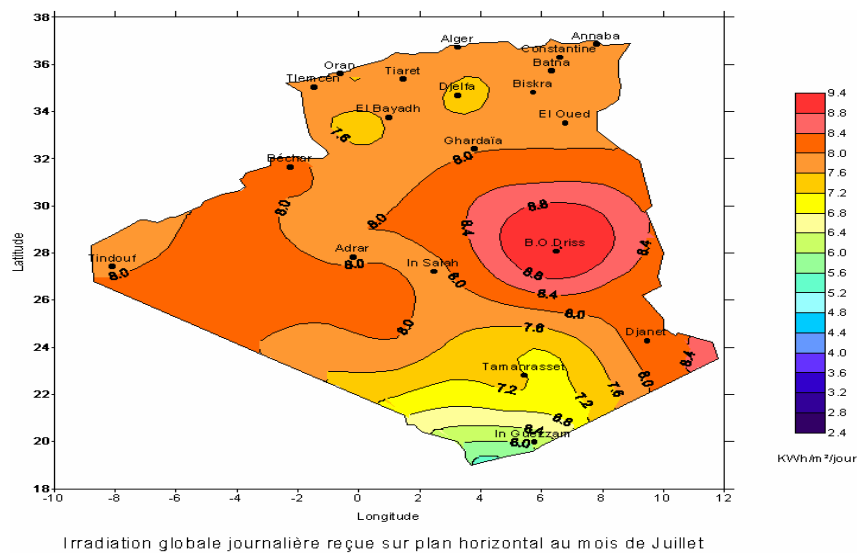


Figure I.8 : Atlas solaire Algérien [4]

## II.4 Besoins énergétiques de chauffage et climatisation d'un bâtiment pour le site de Tlemcen :

Les nouvelles préoccupations énergétiques et environnementales relatives au confort thermique dans les bâtiments et à la qualité de l'air nécessitent la connaissance précise des températures et des mouvements d'air à l'intérieur des bâtiments. Dans ce contexte que notre souhait est de déterminer les besoins énergétiques pour le chauffage en hiver et la climatisation en été d'un bâtiment dans lequel le maintien d'une température intérieure ambitieuse et acceptable qui peut être par exemple : 15°C en hiver et 25°C en été.

Afin d'avoir une estimation approximative de consommation de combustible, ce qui peut être intéressant pour définir le volume de stockage de fuel ou du gaz propane, il est nécessaire de connaître les besoins annuels en chauffage. Pour ceci, plusieurs paramètres sont utiles :

- Les déperditions calorifiques du bâtiment en KW
- Le nombre de degrés jour unifiés DJU (Figure I.9)
- L'intermittence ou facteur d'intermittence.
- Les pertes fatales.

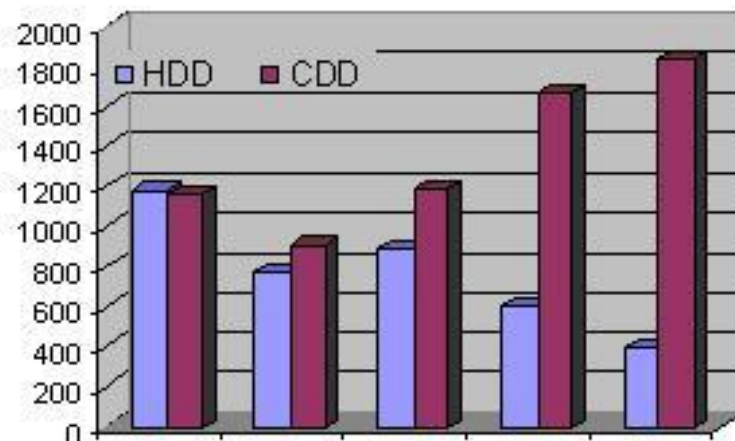


Figure I.9 : Degrés-jours pour le chauffage et Refroidissement dans les pays d'Afrique du Nord

Les besoins en chauffage dépendent évidemment du lieu où l'on doit construire l'habitation, Tlemcen (Figure I.10) est le site choisi dans cette étude, caractérisé par son climat.

Elle est situ e au nord-ouest de l'ALGÉRIE et à 580Km de la capitale Alger, dont :

- La latitude est de  $34.56^\circ$
- A une altitude de 830m
- Distance de la mer de 45Km



Figure I.10 : situation de la ville de Tlemcen (carte d'Algérie )

### **III Conclusion :**

Dans ce chapitre, on a pr sent e le gisement solaire et développement durable, au on a parl e d'une généralité sur le soleil et l'astronomie aussi les enjeux énergétique et on le a fini avec le potentiel solaire en Algérie.

L'Algérie un pays très vaste d'un climat très diversifi e, ayant deux grandes zones géographique distinctes, le Nord méditerranéen et le Sud saharien, peut devenir un bon concurrent dans cette course de recours aux énergies renouvelables.

Le comportement thermique du climatisation dépend de différents facteurs non seulement le point de position et le potentiel mais il y d'autre dans notre problématique nous serrant introduite par la suite .

## Chapitre II :

### Problématique et confort thermique

#### I Introduction :

Le confort thermique fait partie des notions fondamentales dans la thermique du Bâtiment. En effet, il peut prédire de manière assez précise comment réagiront les Personnes dans telle ou telle pièce d'un bâtiment en fonction de leur vêtture et de leur activité.

Il est donc très intéressant d'inclure cette notion dans les logiciels de thermique du bâtiment. De plus, ces logiciels permettent un énorme gain d'argent puisque nous pouvons prédire au mieux la construction d'un bâtiment avec ses matériaux, son orientation, ses vitres,...

Les représentations actuelles du confort thermique s'appuient sur des approches analytiques et statiques des conditions de confort pour l'occupant. Elles simplifient empiriquement la complexité pluridisciplinaire de la notion de confort, et négligent les interactions possibles entre l'occupant et son cadre

En raison de ces interactions, importantes lors de conditions climatiques changeantes ou extrêmes, les approches analytiques actuelles ne permettent pas d'anticiper la dynamique du confort observée in situ.

L'investigation systémique du confort conduit à proposer l'étude des interactions entre deux Sous -systèmes complexes aux finalités différentes que sont l'occupant et le bâtiment.

Cette approche fournit une nouvelle lecture du confort et des échanges de flux d'énergie, de matières et d'informations. Les différents points de vue permettent d'identifier les composants pluridisciplinaires, les variables de flux et les variables d'état, pour la construction d'un modèle dynamique du confort.

La représentation ordonnée des connaissances conduit à une analyse causale du confort thermique. Les processus décisionnels et les mécanismes adaptatifs liés à l'occupant du bâtiment peuvent être explicités par des boucles de rétroaction.

La dimension systémique de cette approche, est complémentaire a des approches analytiques déjà mises en œuvre. Elle conduit à l'élaboration des caractéristiques structurelles d'un modèle

offrant la possibilité d'élaborer une véritable simulation dynamique des phénomènes adaptatifs liés au confort thermique. [8]

## **I.1 Le confort thermique :**

### **I.1.1 Définition de la notion de confort**

Le confort thermique est une notion qui à l'heure actuelle fait encore l'objet de nombreuses recherches. Il est défini consensuellement comme « une condition de l'esprit qui exprime une satisfaction avec l'environnement thermique qui l'entoure ».

Cette notion de confort, évolutive dans le temps, est principalement définie par sa négative: l'inconfort et varie selon les géographies et les sociétés.

Le confort thermique a deux composantes le confort « global » et le confort « local ».

Le confort « global » concerne les conditions environnementales et le confort « local » est associé aux non uniformités proches du corps humain.

La difficulté majeure est de caractériser une sensation humaine par une valeur numérique sachant que le confort thermique est une notion très complexe faisant intervenir des facteurs physiques, physiologiques et psychologiques...

On peut le résumer comme :

$$\begin{array}{c} \text{Confort thermique} \\ = \\ \text{Équilibre entre l'homme et l'ambiance} \end{array}$$

#### a- Les variables principales du confort global

Le confort global dépend de 4 variables environnementales :

- Température de l'air
- Température radiante moyenne
- Vitesse de l'air
- Humidité de l'air

Il dépend aussi de 2 variables physiologiques :

- L'activité (ou métabolisme)
- La vêtue

### b- Principaux facteurs d'inconfort local :

- Les mouvements d'air
- Un gradient vertical de température
- Une asymétrie de température radiante
- La température de sol



Figure II.1 Les variables principales du confort global\_ [9]

### c- Les facteurs influençant peu le confort :

Contrairement à ce que l'on pourrait penser, l'âge, le sexe et l'ethnie de l'individu ne sont pas considérés comme des facteurs influençant de façon notable le confort thermique. En résumé, le confort thermique ne peut être atteint seulement lorsque la température, l'humidité et le mouvement de l'air se situent à l'intérieur des limites de ce qu'on appelle la « zone de confort »

### d- Impact de l'humidité relative dans un bâtiment [10]

Pour un confort optimal et pour une température de l'air aux environs de **22°C**, on peut dès lors recommander que l'humidité relative soit gardée entre 40 et 65 %.

L'humidité seule a relativement peu d'impact sur la sensation de confort d'un Individu dans un bâtiment. Ainsi, un individu peut difficilement ressentir s'il fait 40 % ou 60 % d'humidité relative dans son bureau.

L'inconfort n'apparaît que dans des situations extrêmes :

- soit une humidité relative inférieure à 30 %,
- soit une humidité relative supérieure à 70 %

## **II Résolutions de problématique :**

Pour étudier et analyser les problèmes de confort thermique des bâtiments on utilise deux types de configuration de modélisation énergétique **mono zone et multi zones** .

Le problème mono zone si quand on a un seul volume influencé avec paramètres de perturbation externes l'exemple de l'étage dans notre projet.

Et le multi zones, ce système prend en compte toutes les influences des variables thermique entre plusieurs zones interne et externe.

### **II.1 Les différentes méthodes de modélisation énergétique de bâtiment :**

Trois méthodes différentes sont utilisées pour la modélisation énergétique d'un bâtiment.

Ces méthodes sont :

- La méthode nodale
- Le CFD (Computational Fluid Dynamics )
- La méthode zonale

#### **II.1.1 La méthode nodale**

L'approche *nodale*, dite aussi multizone, considère que chaque zone d'un bâtiment est parfaitement et instantanément mélangée; Ainsi chaque zone peut être caractérisée par une seule pression, une seule température et une concentration uniforme par espèce présente. Cette méthode est largement utilisée, tant dans le domaine des transferts thermiques qu'aérodynamiques. Cette hypothèse de mélange parfait présente l'intérêt de pouvoir se limiter à un seul nœud pour la caractérisation de l'ambiance au sein d'une zone du bâtiment. Les équations régissant les transferts de masse et de chaleur sont alors considérablement simplifiées et les outils utilisant cette méthode permettent ainsi de prédire rapidement le comportement d'un bâtiment sur de longues périodes de temps telles qu'une saison ou une année entière.

Plusieurs logiciels de simulation thermique de bâtiments utilisent cette méthode pour la prédiction des températures de l'air à l'intérieur des zones thermiques. Parmi ces logiciels on peut citer TRNSYS [Fraisse et coll 1997], ENERGY PLUS et TRANBUILD , DOE 2 [Zmeureanu et coll 2002].

#### **II.1.2 Le CFD (computational fluid dynamics)**

Avec le développement de la mécanique des fluides et des méthodes numériques, les techniques de Dynamique des Fluides Numérique connues sous l'acronyme CFD (Computational



Fluid Dynamics) sont devenues des outils très attractifs pour la prédiction des écoulements fluides dans de nombreux domaines de l'ingénierie, et ceci depuis le début des années 1970. Chen et coll 2002 ont présenté les instructions qui doivent être suivies lors de l'application du CFD. Ces instructions incluent la vérification, la validation et l'analyse des résultats obtenus selon les aspects suivants :

- Les modes de transfert de chaleur
- Les modèles de turbulence
- Les méthodes numériques
- La conformité aux prédictions

Dès lors, ces techniques ont été employées pour l'analyse des écoulements d'air à l'intérieur des bâtiments. En effet elles ont l'attrait d'être beaucoup plus flexibles et moins onéreuses que les techniques expérimentales traditionnelles pour la description détaillée de la distribution spatiale et temporelle des grandeurs physiques de l'écoulement qui sont la vitesse d'air, la température, les concentrations en humidité ou polluant, etc.

L'approche CFD détermine les caractéristiques d'un écoulement par la résolution des équations de NAVIER-STOKES [Bellache et coll 2004]. Cette technique requiert un maillage du domaine suffisamment fin pour capturer l'énergie produite ou dissipée par les plus petits tourbillons présents dans l'écoulement. De ce fait elle s'avère très coûteuse en termes de temps de calcul.

Plusieurs logiciels de calcul CFD existent sur le marché et sont utilisés soit par les équipes de recherche soit par l'industrie. Parmi ces logiciels on peut citer FLUENT et PHOENICS.

### **II.1.3 La méthode zonale**

Depuis une quinzaine d'années, des modèles intermédiaires appelés modèles zonaux sont appliqués à la thermique du bâtiment. La mise en œuvre de ce type de modèle requiert un découpage du domaine étudié en macro volumes pour lesquels les bilans massique et thermique sont écrits de façon à pouvoir calculer le champ de température intérieur. Le principal avantage de ce type de modèle est de pouvoir calculer les spécificités thermiques et dynamiques du bâtiment en un temps assez court par rapport au CFD. Par contre, le problème majeur de cette approche de modélisation demeure l'évaluation correcte des transferts de masse et de chaleur entre chacune des zones considérées [Wurtz et al 1999].

Une première approche consiste à fixer le sens des débits d'air et à fermer le problème ainsi posé par des lois d'écoulements spécifiques tels que les panaches, les jets ... Cette méthode a montré qu'elle donnait des résultats cohérents mais qu'elle était limitée dans son champ d'application par son hypothèse de base à savoir un scénario d'écoulement d'air fixé [Mora 2003].

Une deuxième méthode consiste à calculer un champ de pression intérieur à l'aide d'une équation de conservation de la quantité de mouvement " dégradée " qui permet de relier un débit massique d'air entre deux zones à l'écart de pression correspondant. Si cette méthode présente un champ d'application plus large, ses limites apparaissent immédiatement pour la description des écoulements moteurs (panaches, jets ...) du fait d'une médiocre représentation de la quantité de mouvement de ces écoulements [Inard et coll 1998].

Il n'existe pas de logiciels commerciaux pour le calcul thermo aéraulique en utilisant la méthode zonale. Toutefois, il existe des codes développés par des équipes de recherche mais à l'utilisation très restreinte à des bâtiments de géométrie simple [Wurtz et ail 1999]. [11]

### **III. Problématique :**

#### **III.1 Présentation du problème**

Le comportement thermique d'un bâtiment dépend de différents facteurs illustrés sur la figure II.2 Ces derniers peuvent être classés en trois familles. La première famille englobe les facteurs intrinsèques à la structure du bâtiment lui-même (composition, surface à chauffer, etc.). La seconde famille regroupe les données météorologiques ayant une influence sur le bâtiment tel que la température extérieure et le flux solaire. La troisième famille, dont l'interaction avec le bâtiment est expliquée dans le paragraphe suivant, regroupe les facteurs « contrôlables » par le client, à savoir la puissance appelée par le système de chauffage d'appoint, la température de consigne choisie et enfin les apports internes (apports calorifiques autre que le chauffage) dont les apports gratuits dus à la présence de personnes.

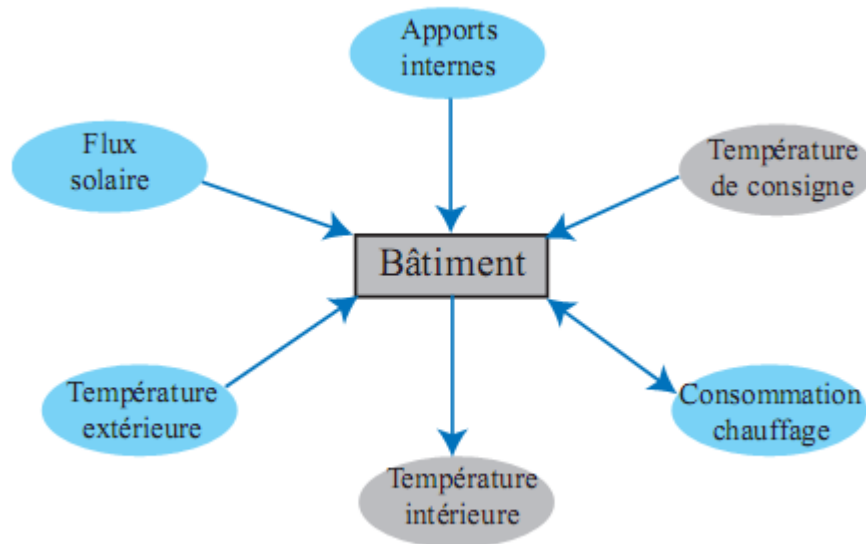


Figure II.2 : Grandeurs influents le comportement thermique du bâtiment, les grandeurs connues sont en bleu

Le système de chauffage a pour rôle d'ajuster la température intérieure afin de maintenir le niveau de confort souhaité.

Soulignons que l'action du système de chauffage transforme le fonctionnement du bâtiment d'un système en boucle ouverte (bâtiment seul) en un système en boucle fermée (la sortie agit sur l'entrée par rétroaction). Les apports internes peuvent être vus comme une « perturbation » du comportement thermique du bâtiment, étant donné que cet apport calorifique vient s'ajouter à l'apport calorifique généré par le chauffage injecté dans le bâtiment.

On aboutit ainsi à une première modélisation en bloc du comportement du bâtiment prenant en compte les éléments décrits précédemment présentée sur la Figure II.3 .

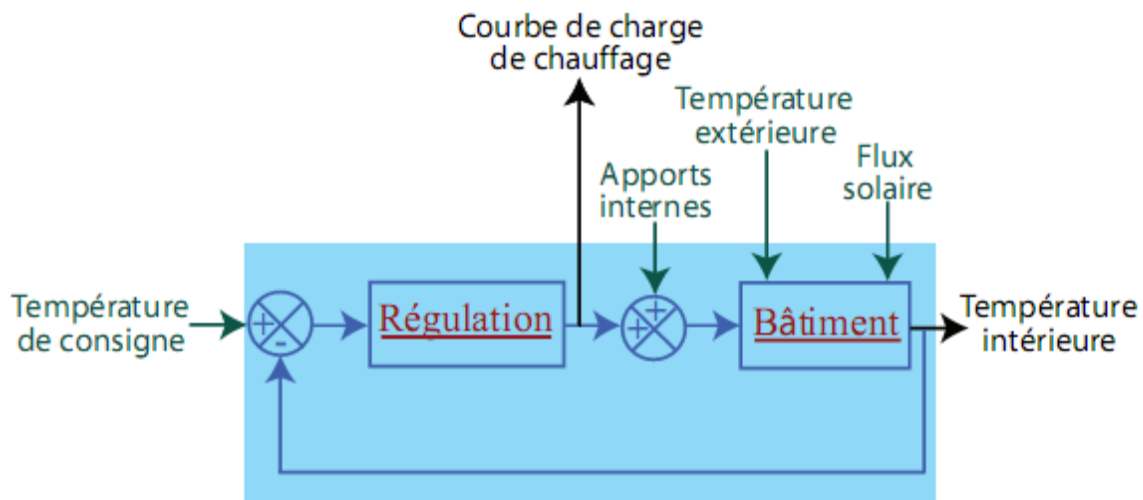


Figure II.3: Schéma bloc associé au modèle global du bâtiment : entrées (vert), mesures (noir) et systèmes inconnus (rouge)

Sur cette Figure II.3, les entrées du système de chauffage sont la température de consigne, grandeur choisie par l'utilisateur et souvent inconnue et la température intérieure (ambiante). La sortie de la régulation est une puissance donnée du chauffage, grandeur qui peut être mesurée. Cette puissance thermique est convertie en énergie calorifique injectée dans bâtiment. Par ailleurs, le fonctionnement de ce dernier est perturbé par les apports internes et les données météo.

La résultante de ces interactions est une température intérieure donnée, qui va à son tour être prise en compte par le système de régulation du chauffage. La sortie du système est une température intérieure du bâtiment, grandeur dont la définition s'avère délicate comme nous l'illustrerons ultérieurement.

Le schéma bloc présenté sur la Figure II.3 met en évidence que les deux composantes du système, le chauffage et le bâtiment, sont couplés. La prise en compte de ce couplage a transformé le problème en régime libre en un problème en boucle fermée. L'identification du modèle global.

#### IV. Conclusion :

Permis les trois outils de modélisation que en explique avons en choisir **la méthode nodale** et sa retour a leur coïncide avec tout les donner et les hypothèses de notre problème ou ce que en chercher la, T dans des zones d'effarants et aussi avec tous leur avantage, facilité et

gain de temps .exemple leur rapidité de prédire le comportement d'un bâtiment et sur une longue durée (1 ans).

L'un des variables principales du confort global est les conditions environnementales et physiques (dimension,..) , ce qui on va le détailler dans la partie suivants de notre travail (chapitre III) .

## CHAPITRE III :

### Dimensionnement Et étude thermique

#### I Description de bâtiment étudié :

Pour simulé le model que en est présenté , Il existe plusieurs types des bâtiment mais en a choisir le type d'un local administrative pour que nous résultats reste plus proche a la réalité et même a une étude d'un problème multi zone même a l'intérieur des étages parce que généralement la séparation entre les bureau sera par l'aluminium ou le bois .et aussi avec un neveux désigne de ces jours .

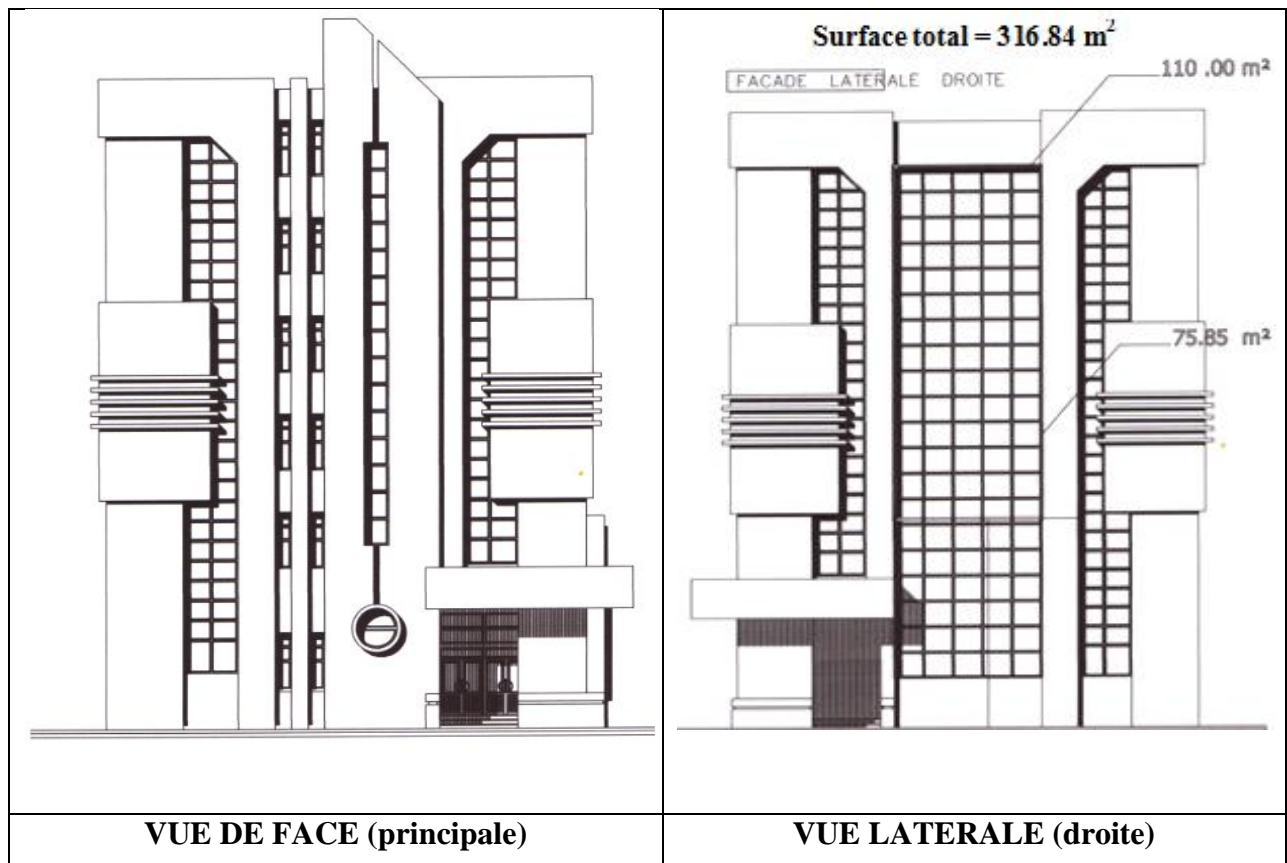


Figure III.1 : schéma de bâtiment étudié

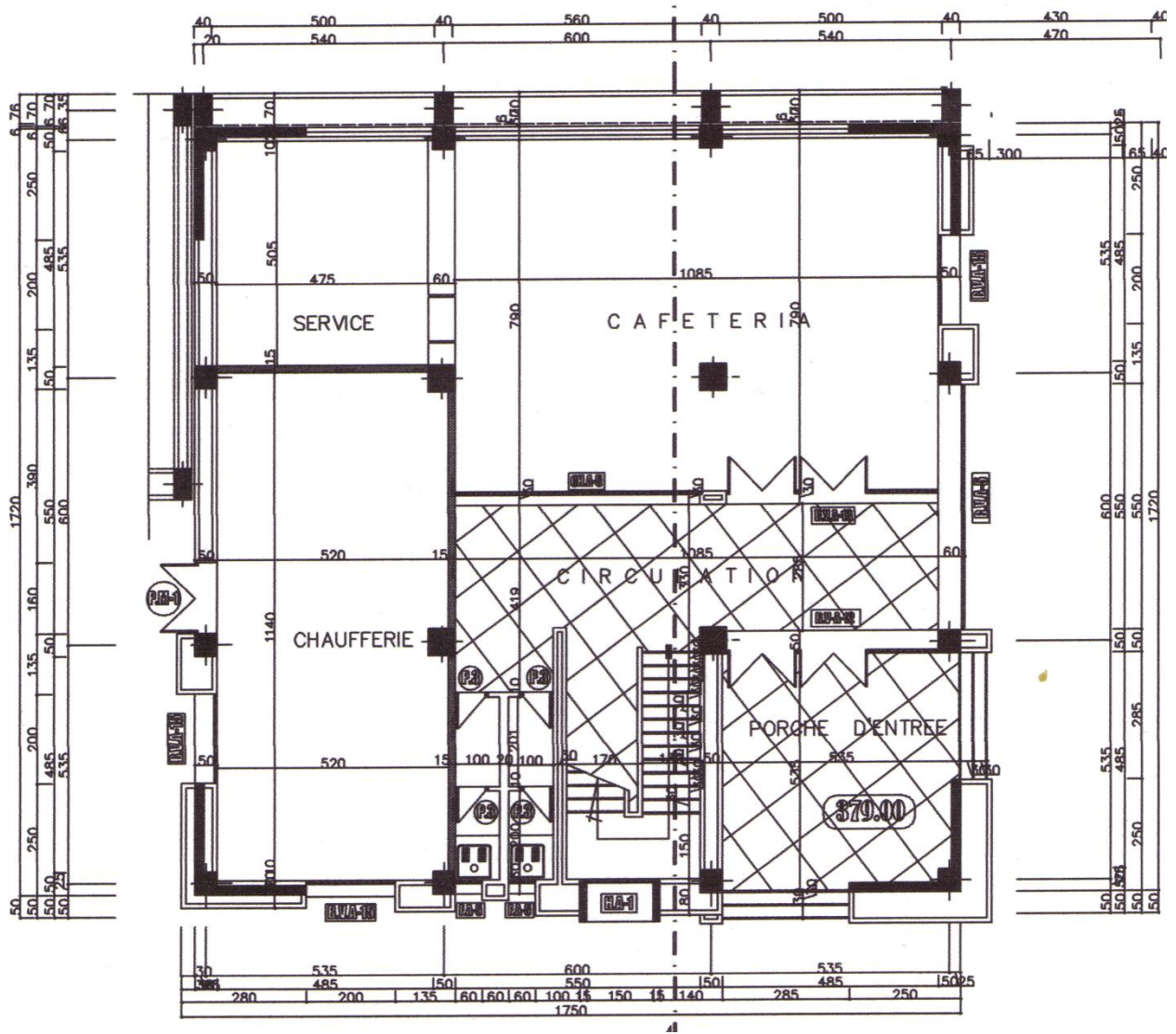


Figure III.2 : PLAN DE REZ DE CHAUSSEE



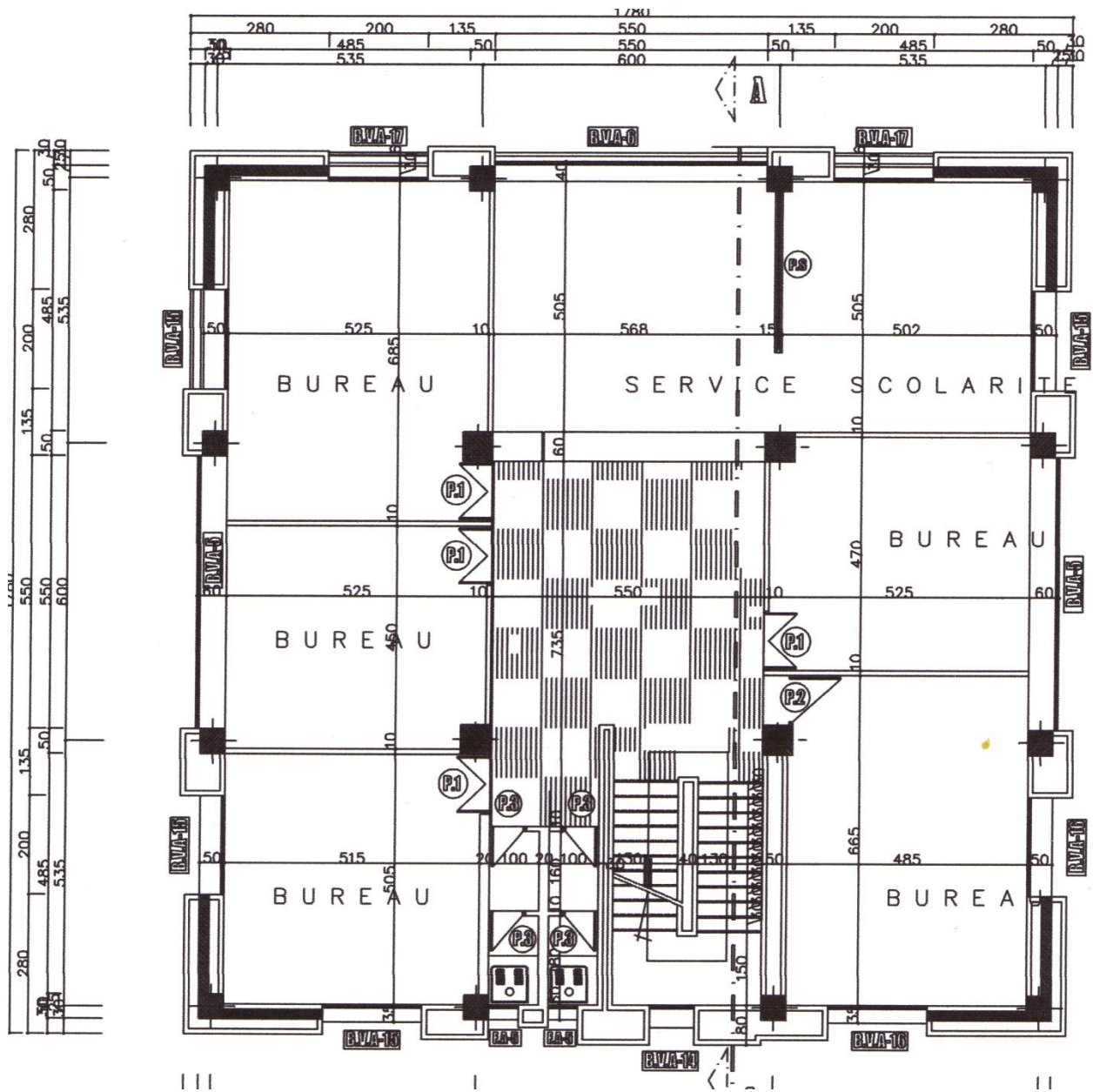


Figure III.3 : PLAN DES ETAGE 1-6



Et on prêt dans notre étude l'étage comme une seul chambre ( un seul volume ) ce ta dire un problème **mono zone pour l'étage**

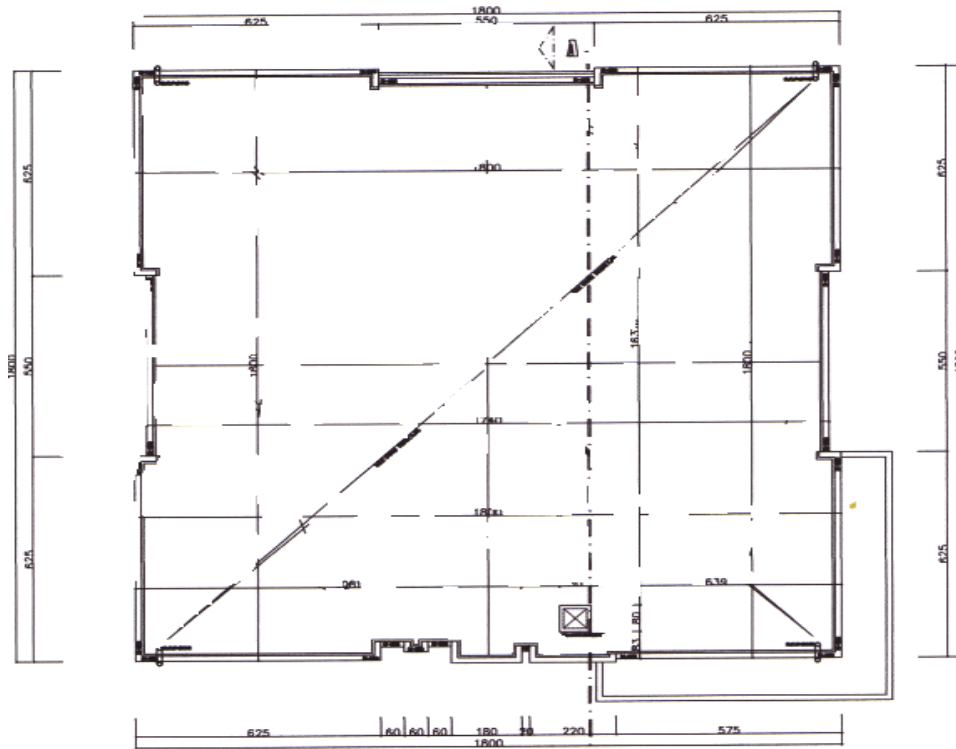


Figure III.4 schéma présenté le volume d'étage étudié

**Mais le problème est multi zone pour tout le bâtiment**

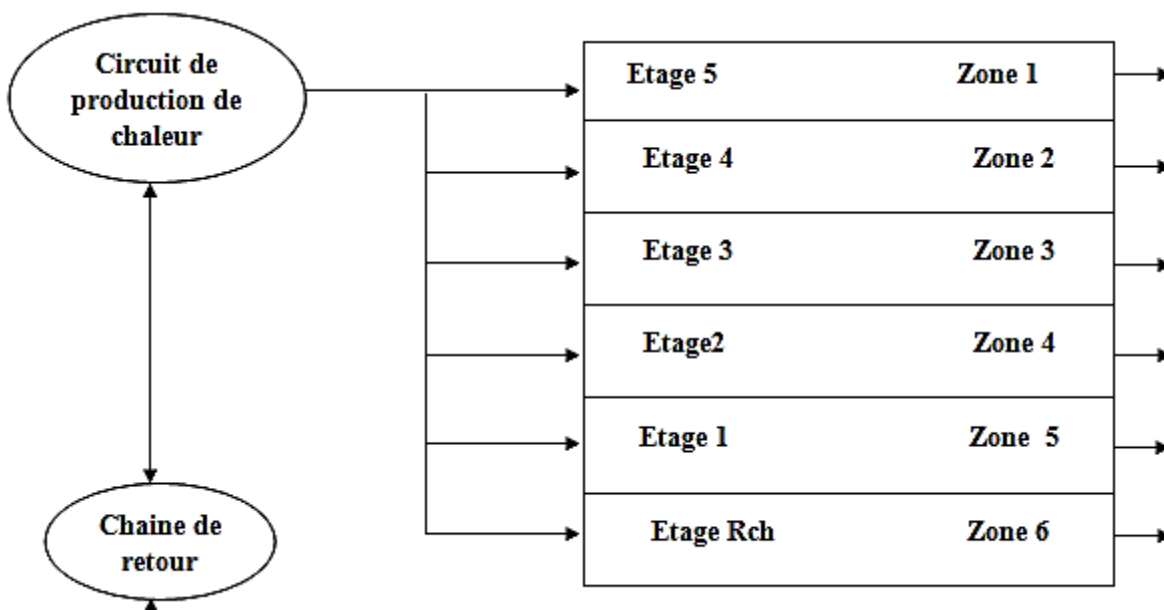


Figure III.5 Schéma de coordination entre les circuits de l'installation

**II Paramètres dimensionnel de bâtiment étudié :**

$$B = A = 17.80 \text{ m} \quad . \quad H = 19 \text{ m}$$

$$S = A * B = 316.84 \text{ m}^2$$

$$V = A * B * H = 110894 \text{ m}^3$$

Rez de chaussée :

$$h = 3.5 \text{ m} \quad . \quad a = b = 17.8 \text{ m}$$

$$S_m = 62.3 \text{ m}^2$$

$$S_F = 17.85 \text{ m}^2$$

Les étages 1 . 4 et 5 :

$$S_m = 49.84 \text{ m}^2$$

$$S_F = 35 \text{ m}^2$$

Etage 2 et 3 :

$$S_m = 49.84 \text{ m}^2$$

$$S_F = 31.64 \text{ m}^2$$

Etage 6 :

$$S_m = 49.84 \text{ m}^2$$

$$S_F = 25 \text{ m}^2$$

**III Etude thermique de l'installation :****III.1 bilan d'énergie d'un capteur solaire :**

La figure III.6 représente les transferts thermique dans un capteur plan d'une part , dans le capteur lui-même ( entre ses différents éléments ) et d'autre part , entre le capteur et le milieu extérieur .

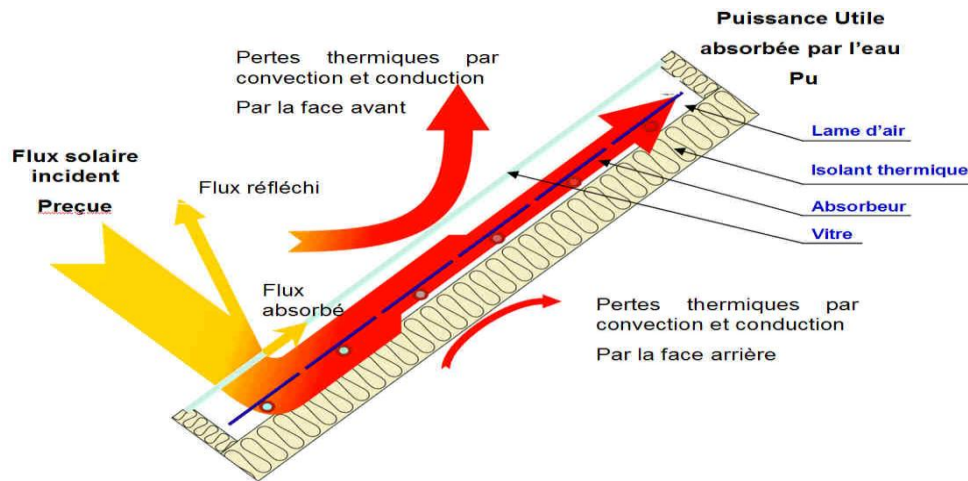


Figure III.6 :les transferts thermique dans le capteur plan

On commence par établir les bilans thermique dans chaque composant du capteur.

### III.1.1 l'Absorbeur :

Le bilan de chaleur dans la plaque absorbante c'écrit ainsi :

$$Q_{st} = Q_{ab,a} - Q_{a \rightarrow e} - Q_{a \rightarrow c} \quad (III.1)$$

Avec :

$Q_{a-c}$  : Flux de chaleur transféré à la couverture transparente ; ( W )

$Q_{a-e}$  : Flux de chaleur transféré à l'eau ; ( W )

$Q_{st-a}$  : Flux de chaleur stocké ; ( W )

$Q_{ab-a}$  : Flux de chaleur absorbé ; ( W )

#### > Le flux transféré à la couverture transparente

Le flux thermique transféré à la couverture transparente s'effectue par convection et par rayonnement.

$$Q_{a \rightarrow c} = (h_{r,a \rightarrow c} + h_{c,a \rightarrow c}) S_{pa} (T_{pm} - T_{cm}) \quad (III.2)$$

Avec

$T_{pm}$  : La température moyenne de la plaque absorbante ; ( K )

$T_{cm}$  : La température moyenne de la couverture transparente ; ( K )

$S_{pa}$  : La surface de la plaque absorbant ; (  $m^2$  )

$h_{c,a \rightarrow c}$  : Le coefficient de transfert thermique par rayonnement entre la plaque absorbante et la couverture transparente, exprimé en  $(W/m^2 \cdot K)$ , et donné par la relation suivante :

$$h_{r,a \rightarrow c} = \frac{\sigma(T_{pm}^2 + T_{cm}^2)(T_{pm} + T_{cm})}{\frac{1}{\varepsilon_p} + \frac{1}{\varepsilon_c} - 1} \quad (III.3)$$

$\sigma$  : Constante de Stephan-Boltzmann. ( $a = 5,675 \cdot 10^8 W/m^2 \cdot K^4$ )

$\varepsilon_p$  : L'émissivité de la plaque absorbante.

$\varepsilon_c$  : L'émissivité de la couverture transparente.

$h_{r,a \rightarrow c}$  : Le coefficient de transfert thermique par convection entre la plaque absorbante et la couverture transparente, exprimé en  $(W/m^2 \cdot K)$ . Le coefficient de convection entre deux plans parallèles inclinés est donné par la formule suivante :

$$h_{c,a \rightarrow c} = \frac{\lambda_a}{L_v} \cdot (1 + f_1 + f_2) \quad (III.4)$$

Les valeurs des paramètres  $f_1$  et  $f_2$  sont définis comme suit :

$$\text{Si} \begin{cases} \left[1 - \frac{1708}{Ra \cdot \cos(\beta)}\right] \leq 0 & \Rightarrow f_1 = 0 \\ \left[1 - \frac{1708}{Ra \cdot \cos(\beta)}\right] > 0 & \Rightarrow f_1 = 1,44 \left[1 - \frac{1708(\sin(\beta))^{1,6}}{Ra \cdot \cos(\beta)}\right] \cdot \left[1 - \frac{1708}{Ra \cdot \cos(\beta)}\right] \end{cases}$$

Et :

$$\text{si} \begin{cases} \left[\left(\frac{Ra \cdot \cos(\beta)}{5830}\right)^{1/3} - 1\right] \leq 0 & \Rightarrow f_2 = 0 \\ \left[\left(\frac{Ra \cdot \cos(\beta)}{5830}\right)^{1/3} - 1\right] > 0 & \Rightarrow f_2 = \left[\left(\frac{Ra \cdot \cos(\beta)}{5830}\right)^{1/3} - 1\right] \end{cases}$$

Avec :

$\lambda_a$  : Conductivité thermique de l'air entre les plans ;  $(W/m \cdot K)$

$L_v$  : L'espace entre les deux plans ; (m)

$\beta$  : L'angle d'inclinaison des deux plans ; (degré)

$Ra$  : Le critère de Rayleigh, donné par la relation suivante :

$$Ra = \frac{g \cdot \rho_a \cdot \beta' \cdot \Delta T \cdot L_v'}{\mu_a \cdot \lambda_a} \quad (\text{III.5})$$

Avec :

$g$  : Conductivité thermique de l'air entre les plans ; (W/m . K)

$\beta'$  : Coefficient de dilatation thermique ( pour les gaz  $\beta' = 1/T$  ) ; (  $K^{-1}$  )

$\Delta T$  : L'écart de température entre les deux plaques ; ( K )

$\mu_a$  : Viscosité dynamique ; (pa.s)

### > Le flux thermique transféré à l'eau

La puissance utile est la puissance transmise au fluide caloporteur, elle est donnée par la relation suivante :

$$Q_{a \rightarrow e} = h_{a \rightarrow e} \cdot S_{pa} \cdot (T_{pm} - T_{fm}) \quad (\text{III.6})$$

Avec :

$$\begin{cases} \text{Re} > 5.10^5 \text{ et } \text{Pr} \geq 0.5 \\ \text{Re} < 5.10^5 \text{ et } 10 \geq \text{Pr} \geq 0,5 \end{cases}$$

Et :

$h$  : le coefficient de convection de l'absorbeur vers l'eau ; (W/m.k)

$T$  : La température moyenne de fluide caloporteur ; ( K )

### ➤ Le flux de chaleur stocké

La puissance thermique stockée est représentée par la puissance qui provoque l'augmentation de la température de plaque absorbante, elle est donnée par :

$$Q_{st,a} = M_a \cdot C_{p_a} \frac{dT_{pm}}{dT} \quad (\text{III.8})$$

$M_a$  : La masse de la plaque absorbante ; (kg)

$Cp_a$  : La capacité calorifique de la plaque absorbante \ (j/kg.k)

➤ **Le flux de chaleur absorbé**

Le flux de chaleur absorbé a pour expression :

$$Q_{st} = Q_{ab,c} + Q_{c \rightarrow a} - Q_{c,a} - Q_{r,a} \quad (III.11)$$

$\tau_{cr}$  : Coefficient de transmission de la couverture transparente par rapport au rayonnement solaire

$\alpha_{pa}$  : Coefficient d'absorption de la paroi absorbante des rayonnements solaires ;

$G^*_t$  : Eclairement (densité de flux) solaire incident sur le capteur ; ( $W/m^2$ )

➤ **L'équation finale du bilan thermique au niveau de l'absorbeur**

L'équation finale du bilan thermique au niveau de l'absorbeur s'écrit alors,

$$M_a \cdot Cp_a \frac{dT_{pm}}{dT} = \tau_{cr} \cdot \alpha_{pa} \cdot G_t^* \cdot S_{pa} - (h_{r,a \rightarrow c} + h_{c,a \rightarrow c}) \cdot (T_{pm} + T_{cm}) S_{pa} - Q_{a \rightarrow e} = h_{a \rightarrow e} \cdot S_{pa} \cdot (T_{pm} - T_{fm}) \quad (III.10)$$

### III. 1.2 La couverture transparente :

Le bilan d'énergie dans la couverture transparente est :

$$Q_{st} = Q_{ab,c} + Q_{c \rightarrow a} - Q_{c,a} - Q_{r,a} \quad (III.11)$$

$Q_{ab-s}$  : Flux de chaleur absorbé ; (W)

$Q_{c \rightarrow a}$  : Flux de chaleur transféré à l'absorbeur ; (W)

$Q_{c,a}$  : Flux de chaleur échangé par convection avec l'atmosphère ; (W)

$Q_{r,a}$  : Flux de chaleur échangé par rayonnant avec l'atmosphère ; (W)

$Q_{s \tau, c}$  chaleur stocké en ; (W)

➤ **Flux de chaleur absorbé**

Le flux de chaleur absorbé a pour expression :

$$Q_{ab,c} = \alpha_{\infty} \cdot G_t^* \cdot S_c \quad (III.12)$$

Avec :

$\alpha_{\infty}$  : Coefficient d'absorption de la couverture transparente du rayonnement solaire.

$S_c$  : Surface de a couverture transparente ; ( $m^2$ )

➤ **Flux de chaleur transféré par l'absorbeur**

Ce flux de chaleur transféré est égal à :

$$Q_{c \rightarrow a} = S_c \cdot (h_{r,a \rightarrow c} - h_{c,a \rightarrow c}) (T_{pm} - T_{cm}) \quad (III.13)$$

➤ **Flux de chaleur échangé par convection avec l'atmosphère**

Ce flux de chaleur transféré est égal à :

$$Q_{c \rightarrow a} = h_{c,a} \cdot S_c \cdot (T_{cm} - T_a) \quad (\text{III.14})$$

Avec :

$$h_{c,a} = 5.67 + 3.86 \cdot V \quad (\text{III.15})$$

$h_{c,a}$  : Convection de la couverture transparente vers l'atmosphère ; (W /m<sup>2</sup>.k)

V : la vitesse de vent ; (m/s)

T<sub>a</sub> : la température ambiante ; (k)

➤ **Flux de chaleur échangé par rayonnant avec l'atmosphère**

flux de chaleur est égal à :

$$Q_{r,a} = h_{c,r} \cdot S_c \cdot (T_{cm} - T_c) \quad (\text{III.16})$$

$h_{c,r}$  : coefficient de transfert de chaleur par rayonnement entre la couverture transparente et le ciel . et il est donné par la relation suivante :

$$h_{c,r} = \varepsilon_c \cdot \sigma \cdot (T_{cm} + T_c) (T_{cm}^2 - T_c^2) \quad (\text{III.17})$$

Et  $T_c$  est donnée par la relation suivante :

$$T_c = 0.0552 \cdot T_c^{1.5} \quad (\text{III.18})$$

> **Flux de chaleur stocké**

La puissance thermique stockée est la puissance qui provoque l'augmentation de la température de couverture, elle est donnée par :

$$Q_{st,c} = M_c \cdot Cp_c \cdot \frac{dT_{cm}}{dt} \quad (\text{III.19})$$

Ou :

$M_c$  : La masse de la couverture en (kg),

$Cp_c$  , La capacité calorifique à pression constante de couverture (J/kg.k).

➤ **L'équation finale de la couverture transparente :**

L'équation finale du bilan thermique au niveau de la couverture transparente s'écrit alors,

$$M_c \cdot Cp_c \cdot \frac{dT_{cm}}{dt} = \alpha_\infty \cdot G_i \cdot S_c + (h_{r,a \rightarrow c} + h_{c,a \rightarrow c}) S_c \cdot (T_{pm} - T_{cm}) - h_{c,r} \cdot S_c \cdot (T_{cm} - T_c) - h_{c,a} \cdot S_c \cdot (T_{cm} - T_a) \quad (\text{III.20})$$

### III.1.3 Bilan énergétique du fluide caloporteur :

Le bilan d'énergie du fluide caloporteur est :

$$Q_{st,f} = Q_{a \rightarrow e} - Q_p - Q_u \quad (\text{III.21})$$

$Q_{a \rightarrow e}$  : La chaleur transférée par la plaque absorbante ; (w)

$Q_u$  : La chaleur utile ;(w)

$Q_p$  : Les pertes thermiques ;(w)

$Q_{st,f}$  : Le flux stocké par le fluide caloporteur ;(w)

#### ➤ L'énergie utile

Ce flux de chaleur est égal :

$$Q_u = \dot{m}_{fc} \cdot Cp_{fc} \cdot (T_{fs} - T_{fe}) \quad (\text{III.22})$$

$T_{fs} - T_{fe}$  : La température d'entrée et de sortie du capteur ;(k)

$\dot{m}_{fc}$  : Le débit du fluide caloporteur ; (kg/s)

$Cp_{fc}$  : la capacité calorifique de fluide caloporteur ;(J/kg.k)

#### ➤ L'énergie transférée par la plaque absorbante

Ce flux de chaleur est égal :

$$Q_{a \rightarrow e} = h_{a \rightarrow e} \cdot S_{pa} \cdot (T_{pm} - T_{fm}) \quad (\text{III.23})$$

#### ➤ L'énergie perdue

Ce flux de chaleur est égal :

$$Q_p = K_p \cdot S_{pa} \cdot (T_{fm} - T_a) \quad (\text{III.24})$$

Avec :

$$K_p = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{e_{is}}{\lambda_{is}} + \frac{1}{h_e}} \quad (\text{III.25})$$

$h_i$  : coefficient de convection

#### ➤ L'énergie stockée



Ce flux de chaleur est égal :

$$Q_{st,f} = M_{fc} \cdot Cp_{fc} \cdot \frac{dT_{fm}}{dt} \quad (III.26)$$

$M_{fc}$  : La masse du fluide caloporteur se trouvant dans le capteur ; (kg)

### ➤ Equation finale du fluide caloporteur

L'équation finale du bilan thermique relative au fluide caloporteur s'écrit alors,

$$M_{fc} \cdot Cp_{fc} \cdot \frac{dT_{fm}}{dt} = h_{a \rightarrow e} \cdot S_{pa} \cdot (T_{pm} - T_{fm}) - \dot{m}_{fc} \cdot Cp_{fc} \cdot (T_{fs} - T_{fe}) - K_p \cdot S_{pa} \cdot (T_{fm} - T_a) \quad (III.27)$$

## III. 1.4 le bilan énergétique dans le réservoir :

Le bilan d'énergie dans le réservoir est :

$$Q_{st,r} = Q_u - Q_b - Q_{per} \quad (III.28)$$

$Q_{st,r}$  : le flux de chaleur stocké dans le réservoir de stockage ; (w)

$Q_u$  : le flux utile ; (w)

$Q_b$  : le flux utilisé dans le bouilleur ; (w)

$Q_{per}$  : le flux perdu à travers la paroi de réservoir ; (w)

### ➤ Le flux de chaleur stocké dans le réservoir de stockage

Ce flux de chaleur est égal :

$$Q_{st,f} = M_{fr} \cdot Cp_{fr} \cdot \frac{dT_{fr}}{dt} \quad (III.29)$$

$T_{fr}$  : la Température dans le réservoir ; ( K )

$M_{fr}$  : la masse de fluide caloporteur dans le réservoir ;( Kg)

$Cp_{fr}$  : la capacité calorifique de fluide caloporteur dans le réservoir ;(J /Kg.K)

### ➤ Le flux utile

Ce flux de chaleur égal :

$$Q_u = \dot{m}_{fc} \cdot Cp_{fc} \cdot (T_{fs} - T_{fe}) \quad (III.30)$$

### ➤ Le flux utilisé dans le bouilleur

Ce flux dépend de l'installation à absorption (il sera défini dans la partie de climatisation).

➤ **Le flux perdu à travers la paroi de réservoir**

$$Q_{per} = K_{per} \cdot S_{per} \cdot (T_{fr} - T_a) \quad (III.31)$$

$K_{per}$  : le coefficient de transfert thermique à travers la paroi de réservoir ;(w/m<sup>2</sup>.K)

$S_{per}$  : la surface extérieure de réservoir ;(m<sup>2</sup>)

➤ **Equation finale du réservoir**

L'équation finale de bilan thermique relative au fluide caloporteur s'écrit alors,

$$M_{fr} \cdot Cp_{fr} \cdot \frac{dT_{fr}}{dt} = \dot{m}_{fc} \cdot Cp_{fc} \cdot (T_{fs} - T_{fe}) - Q_b - K_{per} \cdot S_{rex} \cdot (T_{fr} - T_a) \quad (III.32)$$

## Chapitre IV :

### Chauffage et climatisation d'habitations

#### I. Introduction :

Tous les types de bâtiments, qu'ils soient d'habitation ou tertiaires, nécessitent des systèmes plus ou moins complexes pour maintenir, pour leurs occupants, une ambiance confortable. Ces systèmes apportent, suivant les saisons, chaleur ou fraîcheur (climatisation), avec plus ou moins d'efficacité (meilleure ambiance pour une moindre consommation)

Le domaine de l'énergie solaire passive suppose la conception de bâtiments et la mise en place des composants de construction appropriés afin d'utiliser la lumière solaire pour l'éclairage naturel, le chauffage des locaux ou la climatisation des locaux. En plus de réduire la consommation d'énergie, un avantage primordial que procure l'énergie solaire passive est le confort ressenti par les occupants. et avec l'augmentation des besoins de la demande de chauffage d'habitation ( locaux ) au monde va prêter une grande importance pour le étudier et développer et chercher tout jour des nouvelles installations avec plus de rendement et plus économie d'énergie

Le composant de construction le plus utilisé par l'énergie solaire passive est la fenêtre. Au cours d'une année, la perte d'énergie, pour la plupart des fenêtres, est plus importante que le gain en énergie. Ces fenêtres à haut rendement thermique ont amélioré les perspectives en matière de chauffage solaire passif des locaux. Cela peut être aussi simple que de choisir des fenêtres pour votre bâtiment avec un plus haut taux d'énergie, voire même un taux positif. Pour économiser plus d'énergie, ou pour une meilleure utilisation de l'énergie solaire passive, on doit également choisir d'autres composants et/ou concevoir le bâtiment de façon appropriée. Ces composants supplémentaires comprennent une grande masse thermique intérieure (p. ex. du béton) afin de conserver la chaleur, ainsi qu'une enveloppe du bâtiment bien isolée.

#### II. Système Solaire Combiné Plus :

Les Systèmes Solaires Combinés Plus (SSC+) valorisent la chaleur provenant de capteurs solaires thermiques pour le chauffage en hiver, la climatisation en été, et la production d'eau chaude sanitaire (ECS) tout au long de l'année. La figure ci-dessous présente les principaux composants qui constituent généralement ces systèmes :

- des capteurs solaires thermiques qui produisent la chaleur utile parfois soutenue d'une source de chaleur d'appoint,
- un ballon de stockage qui peut être installé soit sur le circuit chaud (Figure IV.1), soit sur le circuit froid, soit sur les deux,
- une unité de préparation d'eau chaude sanitaire,
- une machine à sorption alimentée en eau chaude (70-100°C), (v) un équipement de dissipation de la chaleur à température intermédiaire (30-40°C) via une tour de aéro-réfrigérante (humide ou sèche) ou un autre puits de chaleur (une piscine),
- un réseau de distribution d'eau glacée (ventilo-convecteurs ou plafonds rafraichissants), et (vii) un réseau de distribution d'eau chaude (de préférence à basse température).

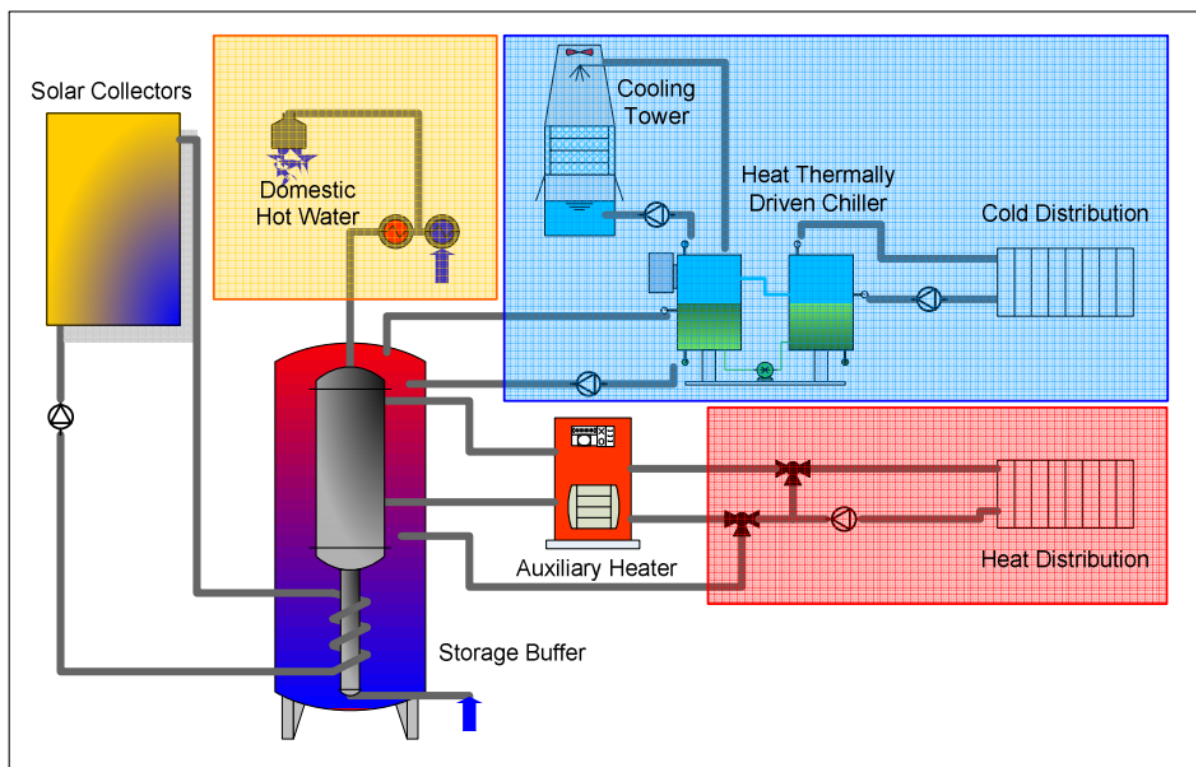


Figure IV.1 : Assemblage classique d'un système Solaire Combiné Plus (Source :EURAC )

- Voilà le système qu'on a souhaité à le réaliser dans notre projet mais vu le temps a loué et vu le travail important on a décidé de commencer seulement par le premier circuit de chauffage

## II.1. LE CHAUFFAGE DES HABITATIONS

### II.1.1 DEFINITION DE L'OPERATION :

Le principe consiste à distribuer la chaleur provenant des capteurs solaires dans des radiateurs de grande surface ou dans un plancher chauffant (bâtiment neuf), le chauffage des locaux étant réalisé dans les deux cas en basse température. Ces systèmes de chauffage doivent recourir à un appoint puisque l'on ne couvre jamais 100 % des besoins de chauffage.

Il existe essentiellement deux types d'installations :

1. la première utilise un ballon de stockage solaire tampon plus ou moins important qui va permettre de continuer à chauffer le bâtiment même pendant les périodes consécutives de faible insolation.

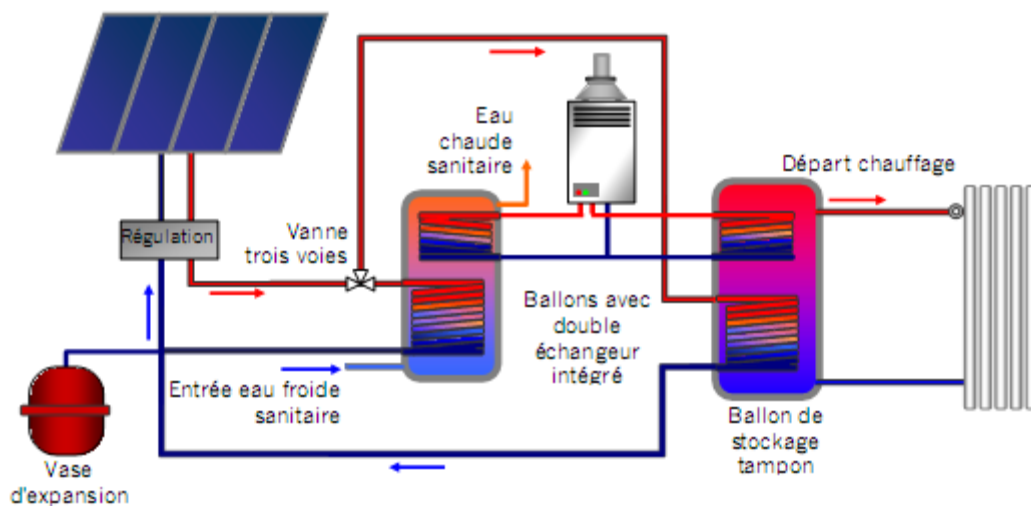


Figure IV.2 : Schéma de principe du chauffage solaire avec tampon

Il est courant de voir aujourd'hui un seul ballon de stockage combiné qui permet ainsi de limiter l'encombrement et de simplifier la construction et la régulation de ces systèmes

Dans le domaine de l'habitat, le chauffage solaire d'une habitation et de l'eau chaude sanitaire est appelé **SSC** (Système Solaire Combiné)..

2. la seconde installation envoie directement le fluide caloporteur provenant des capteurs solaires dans un circuit de tuyaux qui circulent dans la dalle en béton. L'inertie de cette dalle d'une épaisseur de 10 à 15 cm permet de restituer en soirée l'énergie accumulée pendant la journée [12].

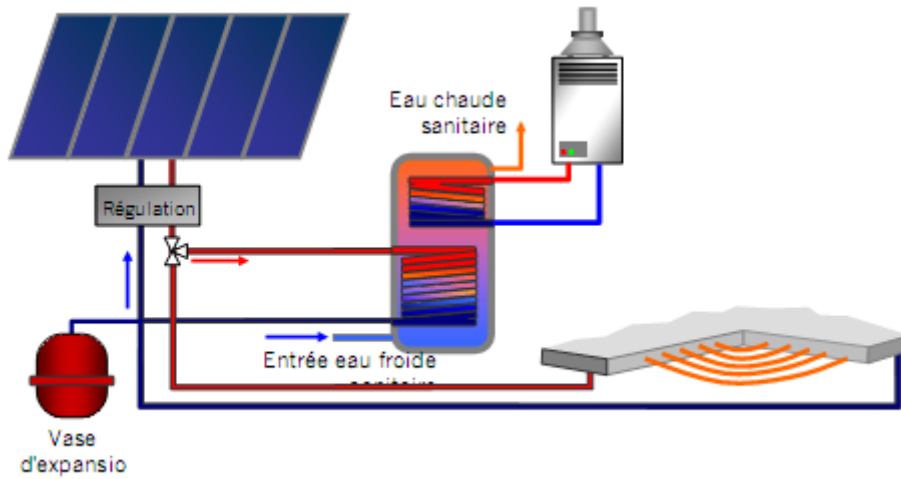


Figure IV.3 : schéma de principe d'une installation solaire avec chauffage direct

L'appoint peut être intégré au système solaire et dans ce cas, le plancher chauffant ou les radiateurs servent à distribuer la chaleur complémentaire qui provient d'une résistance électrique ou d'une chaudière gaz ou fioul.

### II.1.2 Le chauffe-eau solaire :

On ne peut pas utiliser directement l'eau chauffée dans les capteurs du fait de l'antigel. On va donc se servir de cette eau (eau antigel) pour chauffer l'eau sanitaire. Pour cela, on réalise le montage suivant.

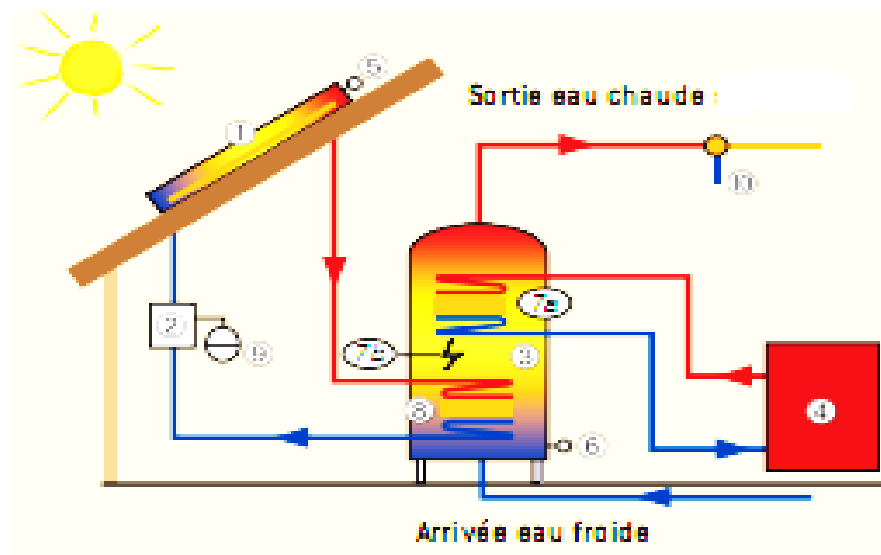


Figure IV. 4 : schéma d'un chauffe-eau solaire.

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 90°C.

Il existe plusieurs **Systèmes (circuit) standard de production d'eau chaude** pour assurer le confort en les présente ce suivre :

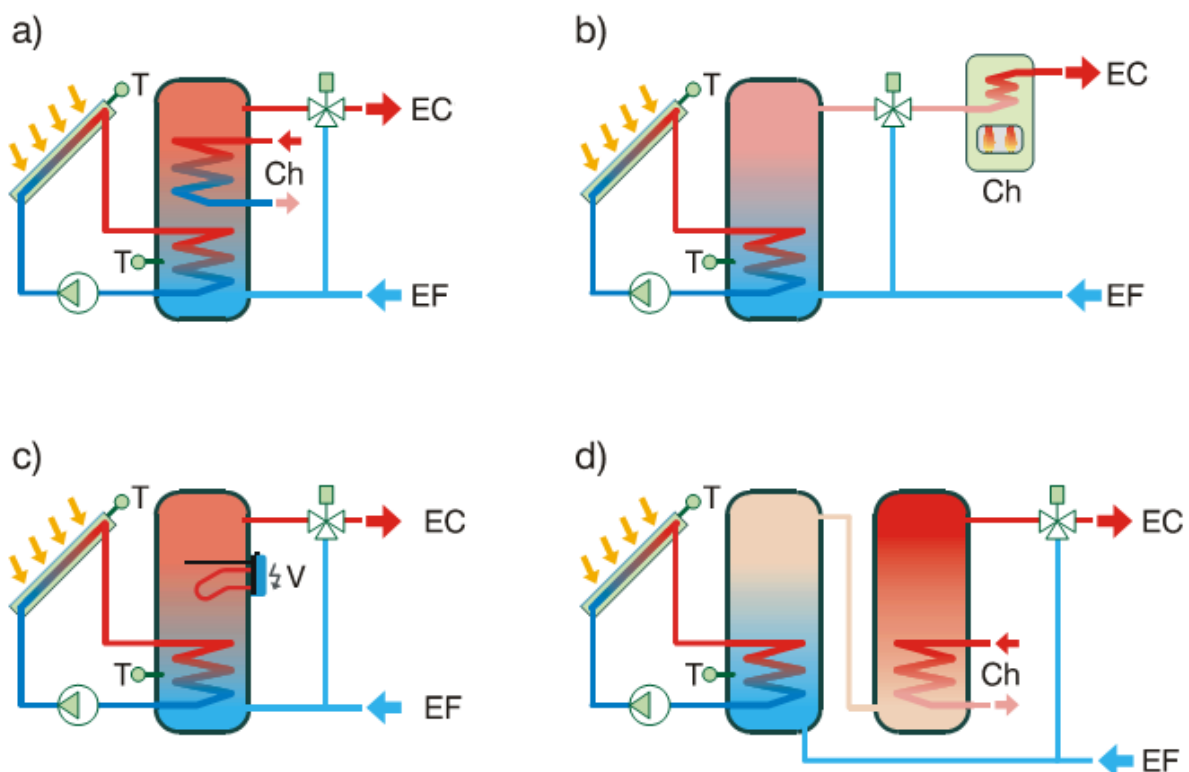


Figure IV.5 : Systèmes standard de production d'eau chaude (d'après DGS  
Solar Anlagen - 2001)

a) Système standard.

Le système standard est le système le plus courant en cas de construction neuve ou de remplacement complet de l'installation de production d'eau chaude, pour les installations de petite et moyenne tailles. La plupart des fabricants propose pour une application unifamiliale un « kit standard » fonctionnant selon ce principe, et combinant  $\pm 5 \text{ m}^2$  de capteurs solaires à un ballon de stockage de  $\pm 300$  litres. Il s'agit d'un système à circuit double : le circuit

primaire reliant les capteurs solaires au ballon et le circuit secondaire assurant l'alimentation du ballon de stockage en eau potable et la distribution de l'eau chaude en aval du ballon.

Le ballon de stockage est du type « biénergie » (à double échangeur de chaleur interne). L'échangeur de chaleur situé dans son tiers inférieur est destiné à l'alimentation par la chaleur solaire ; l'échangeur situé dans le tiers supérieur, destiné à l'appoint de chaleur par la chaudière. La partie supérieure du ballon, maintenue à une température proche de 60°C, doit avoir un volume suffisant que pour assurer les besoins instantanés maximaux en eau chaude. Les deux tiers inférieurs du ballon sont destinés au stockage de la chaleur solaire, le volume de cette partie inférieure est généralement proche du volume d'eau chaude moyen consommé quotidiennement. A la sortie du ballon est installé un mitigeur thermostatique à trois voies afin de limiter (à 55– 60°C) la température de l'eau envoyée vers le circuit de distribution.

Les principes de régulation utilisés .La pompe du circuit solaire est activée quand la température à la sortie des capteurs solaires dépasse de 5 à 8°C celle dans le tiers inférieur du ballon de stockage. L'appoint de chaleur est quant à lui commandé par la régulation de la chaudière : lorsque la température de consigne n'est pas atteinte dans le tiers supérieur du ballon, la chaudière est enclenchée. La chaudière est de type classique à double fonction eau chaude et chauffage (avec priorité eau chaude).

Le montage d'une telle installation est relativement simple. La plupart des fournisseurs veillant à la simplification et à la limitation du nombre de branchements.

b) Système à appoint de chaleur externe placé en série .cette configuration est la plus recommandée dans le cas d'habitations où un raccordement gaz existe et où la production d'eau chaude se fait de manière indépendante de la production de chaleur pour le chauffage.

c) Système à appoint de chaleur interne à l'électricité .cette configuration est la plus appliquée dans le cas d'habitations où la production d'eau chaude se fait de manière indépendante de la production de chaleur pour le chauffage et où aucun raccordement au réseau de gaz naturel n'existe. D'un point de vue purement environnemental, un appoint de chaleur à l'électricité est à considérer en dernier recours

d) Système à double ballon de stockage. cette configuration est la plus recommandée dans le cas d'habitations où la production d'eau chaude se fait au moyen d'une chaudière récente comportant un ballon de stockage interne ou alimentant un ballon de stockage externe existant. Et l'installation solaire est ajoutée en amont de l'installation existante [13].



### II.1.3 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.

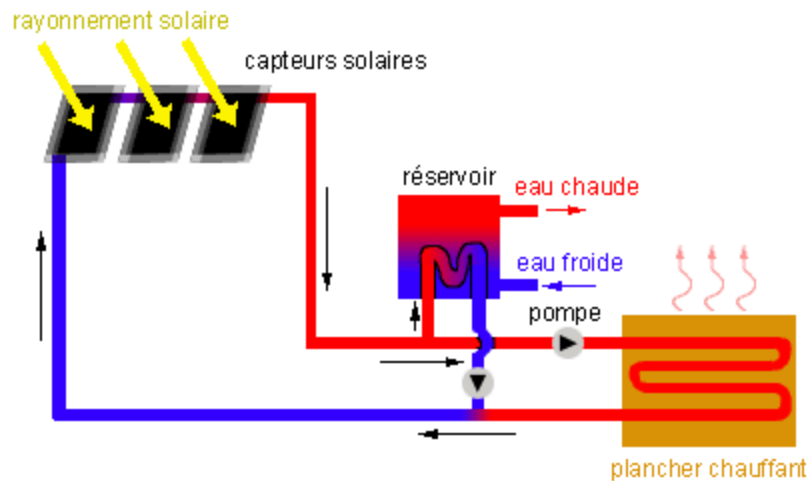


Figure (IV. 6) : schéma d'une installation destiné pour le chauffage des maisons

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.

## II.2 La climatisation solaire :

La climatisation est un moyen de maintenir l'air à des conditions déterminées de température et d'humidité au moyen d'une circulation qui permet de régénérer l'air ambiant dans un espace (Figure IV.7).

La climatisation solaire, qui consiste à produire le froid à partir de chaleur d'origine solaire en alimentant un cycle thermodynamique à absorption ou à adsorption constitue une solution et fait l'objet d'études de plus en plus approfondies dans beaucoup de pays.

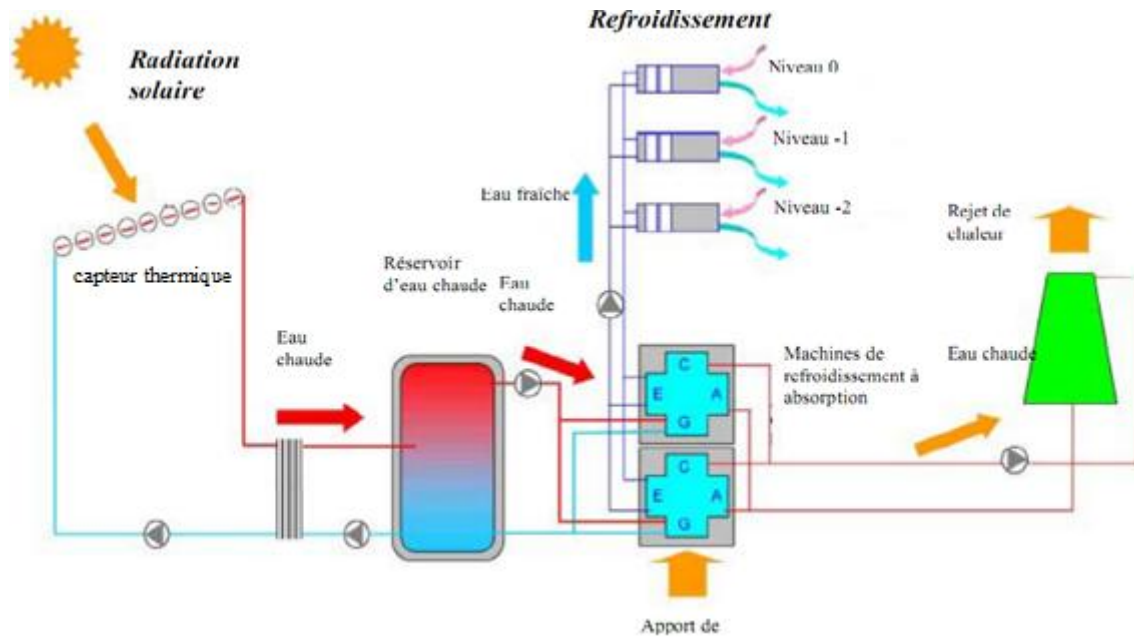


Figure IV.7 : schéma d'installation de climatisation

### II.2.1 Les différents systèmes de climatisation :

Il existe trois techniques au stade commercial pour produire le froid mais qui nous intéressent et aussi bien marcher avec notre installation c'est l'Absorption,

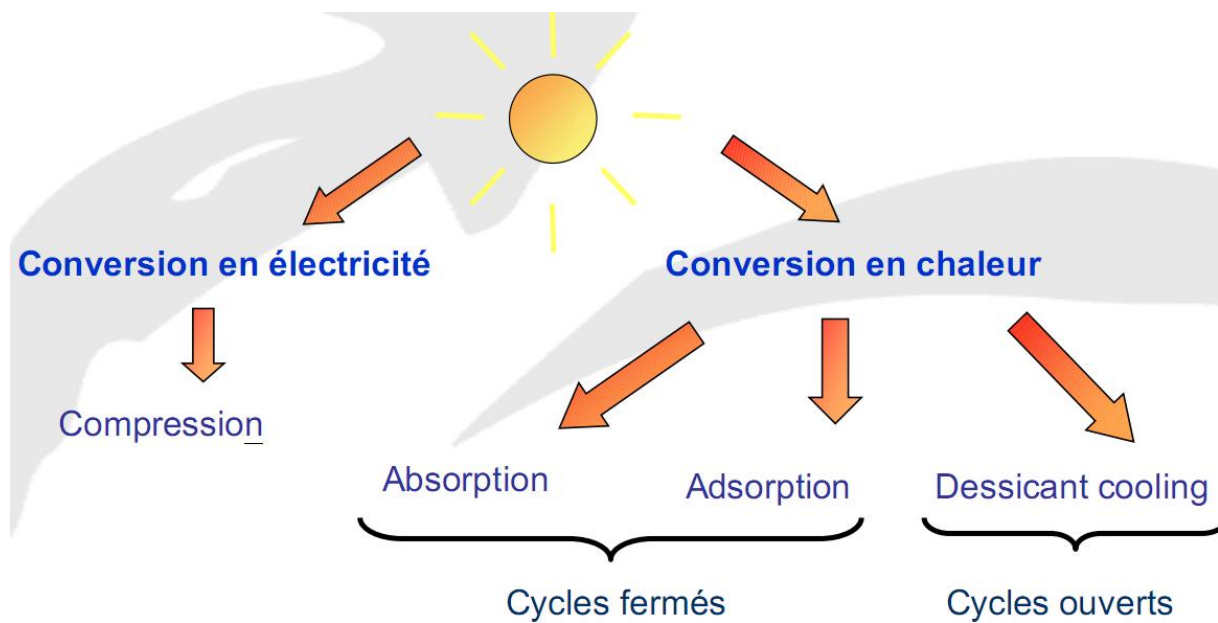


Figure IV.8 : Les différents systèmes de climatisation

**II.2.2 Avantages et inconvénients de l'absorption :****a- Avantage :**

- Consommation électrique 20 fois inférieure à celle du compresseur remplacé
- Fluide frigorigène inoffensif (eau), sel absorbant présent à l'état naturel et sans impact environnemental
- Nuisance sonore du compresseur supprimée

**b- Inconvénients :**

- Appoint nécessaire pour garantir une température de consigne : appoint possible au gaz mais COP faible (intéressant si le solaire couvre plus de 80% des besoins) ou appoint électrique (investissement supplémentaire)

**III. Conclusion :**

La climatisation (chauffage, fraîcheur ) est un moyen de maintenir l'air à de conditions déterminées de température et d'humidité au moyen d'une circulation qui permet de régénérer l'air ambiant dans un espace fermé ,et tous les systèmes que on a présenté dans ce chapitre (ssc+, ecs,...) nous pouvant les installées mais chaque un dépende de notre système fermé (local) et les perturbations externe , Il utilise une énergie propre en plus de diminuer considérablement le coût de votre facture d'énergie

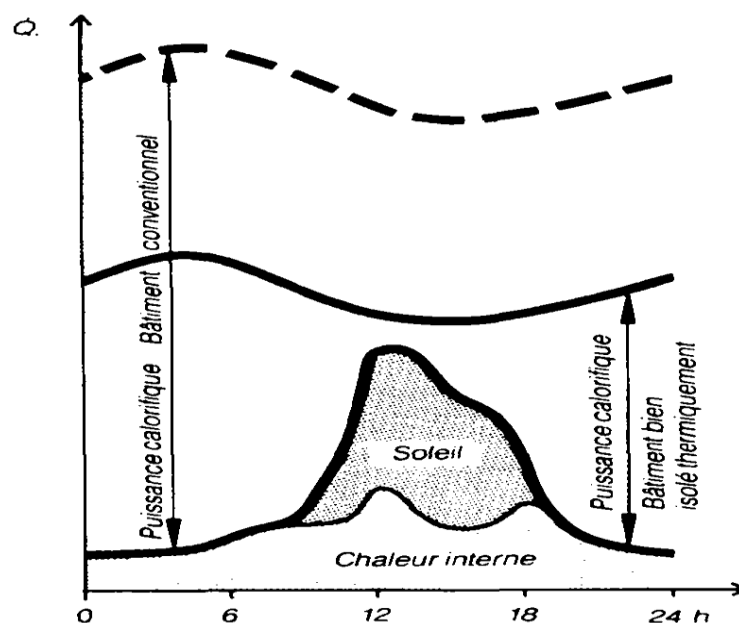
**Bon Confort avec moins d'énergie consommé**

## Chapitre V :

### Régulation du système de chauffage

#### I. Introduction :

Le climat intérieur des bâtiments est soumis aussi bien à des perturbations intérieures qu'extérieures. Il s'agit principalement des occupants, des gains internes de l'ensoleillement de la température extérieure et du vent. La nature aléatoire de ces perturbations, en particulier de l'ensoleillement et des actions des utilisateurs (gestion des stores et ouvertures de fenêtres) rend difficile une gestion optimale des apports de chaleur et de froid. Le confort thermique des occupants peut alors s'en ressentir (surchauffes, températures matinales trop basses) et la consommation de chaleur et de froid être excessive. Paradoxalement, ce type de problèmes se rencontre plutôt dans des bâtiments bien isolés et dotés de gains solaires passifs importants, comme l'illustre la figure V.1.



----- Déperditions thermiques d'un bâtiment conventionnel

———— Déperditions thermique d'un bâtiment bien isolé thermiquement

Figure V.1 : Déperdition thermique d'un bâtiment (gains solaire) [17]

Un bâtiment est soumis en permanence à des sollicitations extérieures (température, ensoleillement, vent) qui viennent perturber son état thermique.

Le système de régulation, dont l'objectif est de rendre insensible aux occupants les variations climatiques externes, prendra partiellement ou totalement en compte les phénomènes météorologiques et les caractéristiques thermiques des locaux.

En outre, le comportement dynamique des locaux et des systèmes de traitement d'air, les exigences de confort, ainsi qu'une meilleure maîtrise des coûts impliquant une gestion rigoureuse des installations font de la régulation des systèmes de chauffage et de climatisation une discipline qui requiert les connaissances de spécialités aussi différentes que l'automatique, l'informatique, la thermique et la météorologie.

L'ère primaire du thermostat est révolue. Les régulateurs à actions proportionnelle, intégrale et dérivée dédiés aux applications de génie climatique se développent. Les systèmes de régulation s'intègrent dans des architectures de gestion technique centralisée englobant les fonctions de télécommande télésurveillance, de contrôle et autocontrôle ou de télé suivi et comptabilité énergétique.

Avant de développer tous ces concepts, les notions concernant les principes généraux de la régulation seront rappelées, les différents capteurs et actionneurs rencontrés en chauffage et en climatisation seront mentionnés. Au-delà du simple catalogue de solutions types, la méthodologie générale de conception d'un ensemble de régulation, les solutions en matériels et logiciels seront traitées, de la simple régulation de la température d'un local à un système complexe piloté par une installation de gestion technique de bâtiment.

## I.1 Rappels sur la commande d'un processus

Le lecteur se reportera utilement aux articles généraux Principes des chaînes de régulation [R 7 090] et Chaînes de régulation types [R 7 100], dans la rubrique Automatique du traité Informatique industrielle.

### I.1.1 Régulation en boucle ouverte

La régulation d'un système consiste à trouver un moyen pour maintenir la grandeur réglée  $y(t)$  aussi voisine que possible de la valeur de consigne  $y_c$ .

Une première solution consiste à **régler une fois pour toutes les commandes**. Le réglage de la température de l'eau de la douche est un exemple de boucle ouverte (Figure V.2). Toutes variations externes (perturbations) comme la pression ou la température, sur l'une des arrivées d'eau, modifient la valeur de la grandeur réglée (température du mélange dans cet exemple), ce qui est douloureusement ressenti par l'utilisateur.

Un autre exemple de régulation en boucle ouverte est représenté sur la Figure V.3. Le

régulateur R règle la température du circuit d'eau à une valeur qui est fonction de la température extérieure en agissant sur la puissance du brûleur. Des variations de température intérieure seront observées si des perturbations viennent modifier l'équilibre du système : ensoleillement, apports internes, infiltration d'air, etc.

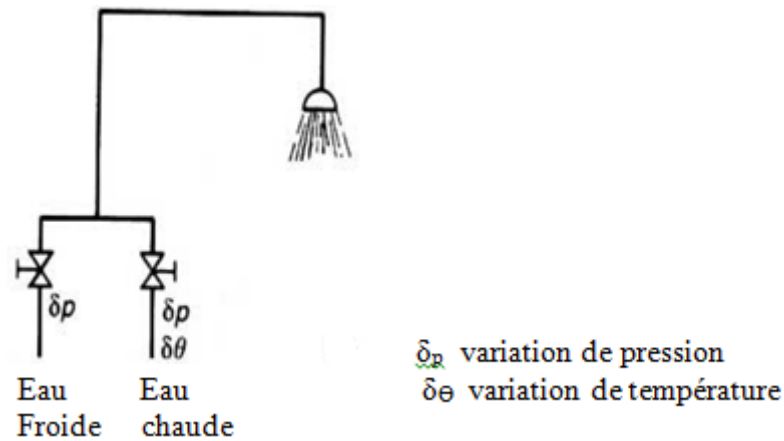


Figure V.2 – Exemple de réglage d'organes de commandes (vannes) :

Système en boucle ouverte

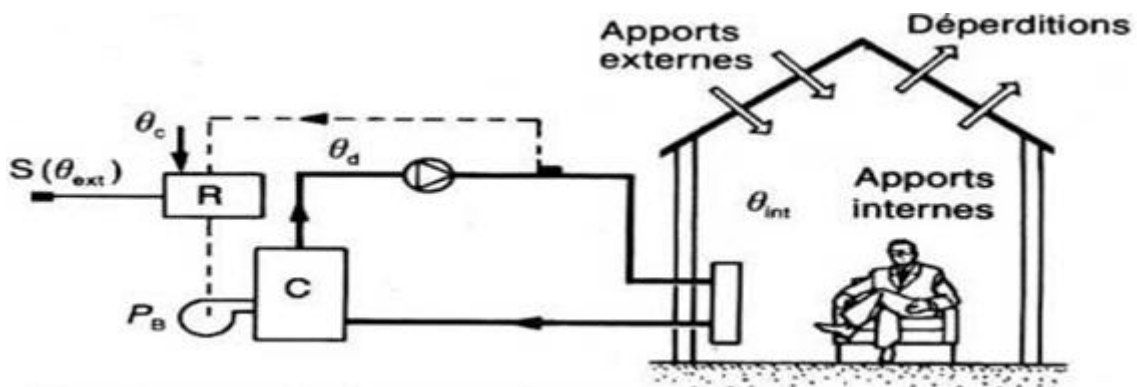


Figure V.2 : Principe de régulation [17]

Grandeur perturbatrice : température extérieure  $\theta_{ext}$

Grandeur de sortie : température intérieure  $\theta_{int}$

Grandeur de consigne : température  $\theta_c$

Grandeur réglée : température de départ  $\theta_d$

Grandeur réglante : puissance de brûleur  $P_b$

$$\theta_d = \theta_c = f(\theta_{ext}) \quad (V.1)$$

- C chaudière  
 R régulateur  
 S sonde de température extérieure

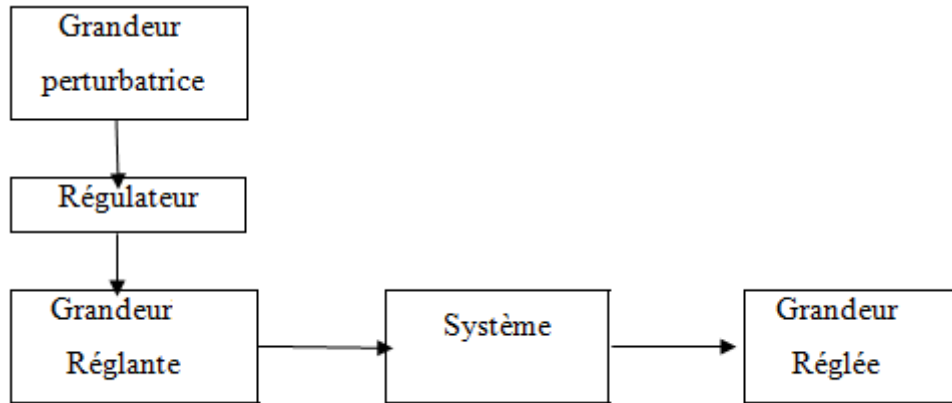


Figure V.3 – Exemple de régulation en boucle ouverte

Une régulation en boucle ouverte, le signal de sortie ne réagit pas sur le signal d'entrée. C'est une régulation rapide, imprécise dans les systèmes subissant de fortes perturbations, mais stable.

ce mode de régulation nécessite d'une part de pouvoir mesurer la grandeur perturbatrice, et d'autre part d'avoir défini au préalable une relation entre la perturbation et la grandeur de réglage.

$$P = G_V \cdot (T_{cons} - T_e) \quad (V.2)$$

Avec : P : puissances fournie (W)

$G_V$  : coefficient de déperditions thermiques du bâtiment (W/°C)

$T_{cons}$  : température de consigne (°C)

$T_e$  : température extérieure (°C)

### I.1.2 Régulation en boucle fermée

Le seul moyen d'être sûr que la grandeur réglée rejoigne ou soit égale à la valeur de consigne est de la mesurer en permanence et de s'en servir pour le réglage. C'est pourquoi, **dans une régulation en boucle fermée, la mesure directrice est la grandeur réglée** (Figure V.4 )

La prise en compte des facteurs perturbateurs (apports internes et externes ou déperditions)

peut être réalisée à l'aide d'une réaction qui agit constamment sur la commande  $u(t)$  en fonction de l'écart  $e(t)$  qui existe entre le point de consigne et la valeur mesurée.

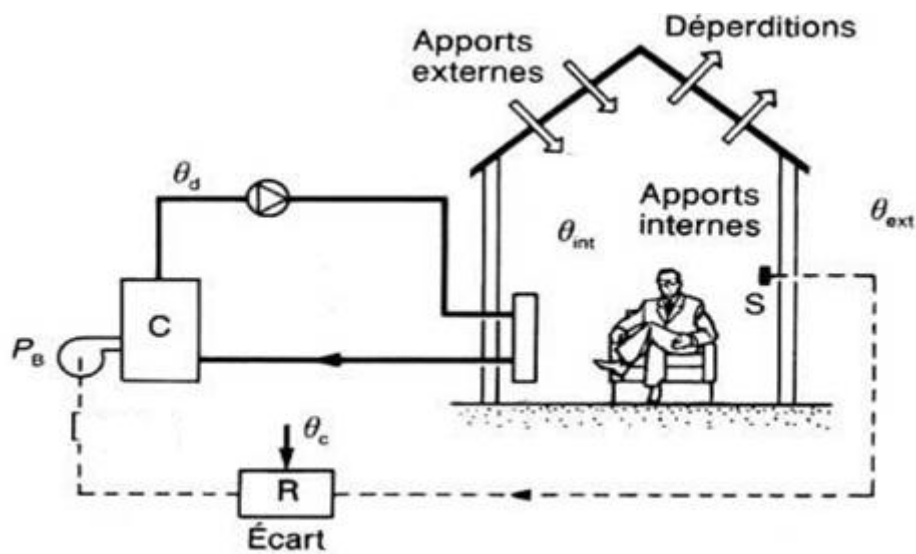
La régulation en boucle fermée applique donc au système un signal de commande de la forme:

$$\mu(t) = f[e(t).t] \tag{V.3}$$

Avec :  $e(t) = y_c - y(t)$ .

Dans l'exemple de la Figure IV.4  $y_c = \theta_c$  et  $y(t) = \theta_{int}(t)$ .

A-



B-

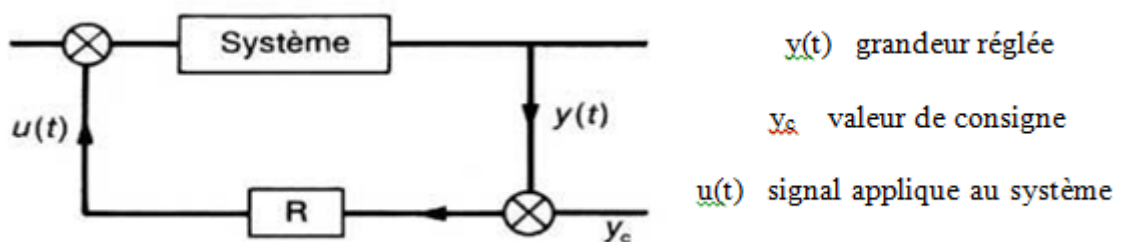


Figure V.4. (A-B) : Régulation en boucle fermée [17]

**Ce concept, le plus important en automatique, sera utilisé tout au long des paragraphes suivants.**

Une représentation symbolique peut être faite pour tout système de régulation ; celle de la boucle fermée est donnée sur la Figure V.4 .



### 1.3 Différents modes de régulation

#### 1.3.1 Régulation par tout ou rien

L'organe de commande ne peut occuper que deux positions : position ouverte ou position fermée. Le passage de l'une à l'autre est réalisé lors du franchissement du point de consigne. Pour éviter des phénomènes d'oscillations (appelés pompages), on introduit une plage neutre appelée aussi **différentiel** : le changement de position n'intervient qu'après un dépassement (en plus ou en moins) du point de consigne supérieur au demi-différentiel

(Figure V.5)

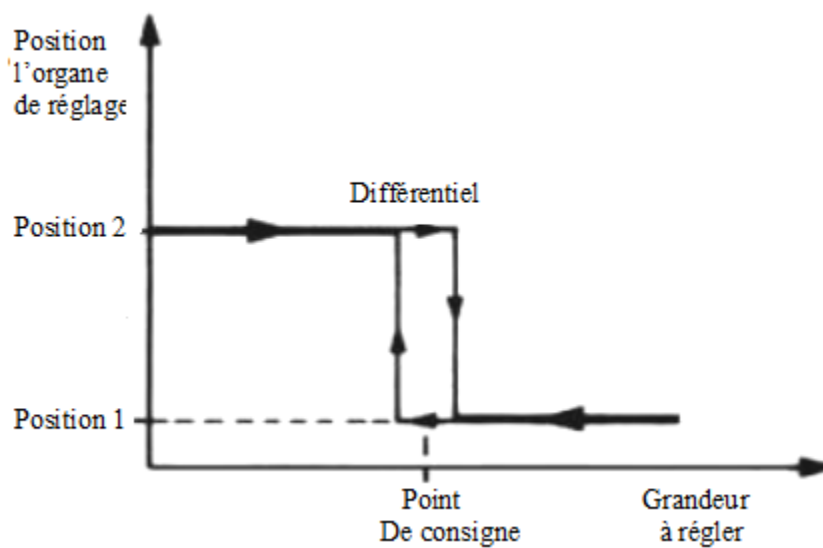


Figure V.5: Régulation Tout ou Rien

#### 1.3.2 Commande d'un processus

Un bâtiment ne réagit pas instantanément à une sollicitation qui peut être une variation des conditions climatiques extérieures ou un arrêt du système de chauffage. Les systèmes que l'ingénieur climaticien doit réguler présentent donc des **retards** (temps de réponse, délais).

Trois exemples de retard pouvant exister sur les installations, individuellement ou combinés entre eux, sont donnés ci-après.

➤ **Retard introduit par l'inertie du bâtiment :**

considérons, à titre d'exemple, un module de bâtiment (Figure V.6.a) constitué d'une paroi échangeant et stockant de la chaleur. L'équation simplifiée du bilan thermique est donnée par la relation :

$$E(t) = GV[\theta_{int}(t) - \theta_{ext}(t)]dt + M_{cp}d\theta \quad (V.4)$$

Avec :

$E$  énergie dissipée dans le système,

$GV$  paramètre caractéristique des déperditions,

$Mc_p$  paramètre caractérisant l'accumulation de chaleur dans la paroi.

Si l'on applique un échelon de puissance à l'intérieur du local, l'expression de la température intérieure s'écrit (les autres paramètres restant constants) :

$$\theta_{int}(t) = \theta_{int0} + \frac{E}{GV} \left[ 1 - \exp\left(-\frac{GV}{Mc_p} t\right) \right] \quad (V.5)$$

Avec ::  $\theta_{int0}$  température intérieure avant application de l'échelon de puissance.

Dans le cas d'une variation de température extérieure (de  $\theta_{ext0}$  à  $\theta_{ext1}$ ) sous forme d'un échelon, la température intérieure est donnée par la relation :

$$\theta_{int}(t) = \theta_{ext1} + (\theta_{ext0} - \theta_{ext1}) \exp\left(-\frac{GV}{Mc_p} t\right) \quad (V.6)$$

Dans les deux cas, la constante de temps  $GV/Mc_p$  est une caractéristique du bâtiment.

Des modélisations plus complètes permettent de connaître les flux thermiques en fonction des différentes excitations (température, flux solaire) et d'accéder ainsi à tous les calculs habituels en thermique des bâtiments.

La Figure V.6.b montre l'évolution de la température intérieure d'un local à occupation intermittente pour une hypothèse de sollicitations extérieures constantes.

La température à l'intérieur du local est maintenue constante entre 8 et 18 h. À partir de 18 h, l'arrêt des émetteurs de chaleur conduit à un abaissement de la température intérieure que l'on peut distinguer selon deux phases :

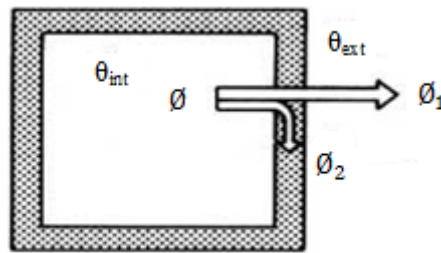
- la première phase correspond à la décharge thermique des masses légères (air, mobilier, etc.) , elle se traduit par une variation brusque de la température intérieure ;
- dans le seconde phase, les masses lourdes se déchargent, ce qui se traduit par une décroissance plus lente de la température intérieure ; le phénomène inverse s'observe à partir de 23 h, heure de la remise en service de l'installation (scénario 1) ; une seconde relance de puissance s'effectue à partir de 7 h pour obtenir la température souhaitée à l'arrivée des occupants (8 h).

Un second scénario peut être imaginé en réduisant au maximum la température intérieure et en opérant une seule relance de puissance importante à partir de 5 h 30 [14].

Le choix entre les deux scénarios dépend du coût des énergies qui peut être variable au cours

de la journée.

A- Paroi échangeant la chaleur



$\phi$  : flux thermique

$$\phi_1 = GV(\theta_{int} - \theta_{ext}) \quad (V.7)$$

$$\phi_2 = M_{Cp} \cdot \Delta\theta / t$$

B- Evolution de la température intérieure selon scénarios de chauffage

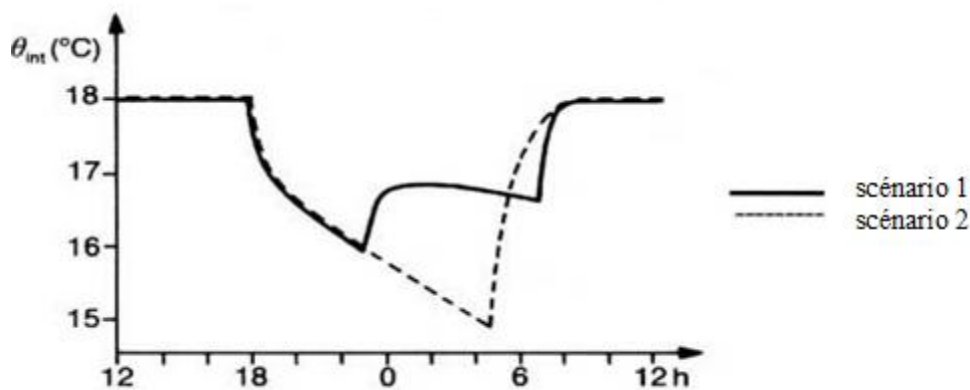


Figure V.6. (A.B) : Retard provoqué par l'inertie du bâtiment [16]

➤ **Retard dû à la distance sonde-actionneur :**

La vitesse de circulation d'un liquide à l'intérieur d'une canalisation varie entre 0,5 et 2 m/s. L'effet de l'actionneur n'est donc pas détecté instantanément par le capteur, mais au bout d'un temps que l'on peut estimer à environ 1 seconde par mètre linéaire de canalisation (Figure 7 a).

Ce retard, qui rend la régulation flottante, car le régulateur ne mesure pas instantanément son effet, peut être utilisé pour amortir la commande de systèmes à échelon de puissance. Les pompes à chaleur sont parfois commandées à partir de la température de retour du réseau.

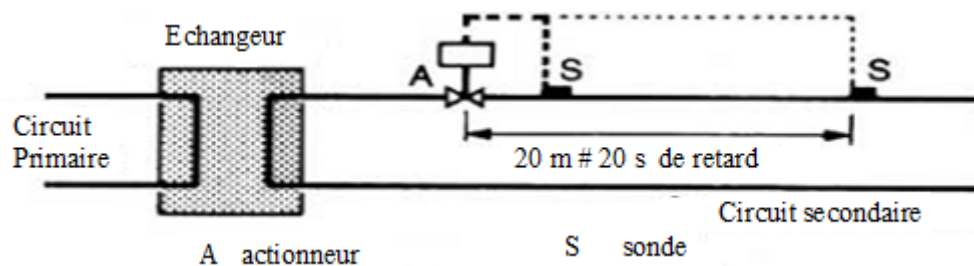
➤ **Retard introduit par l'inertie de la sonde de température :**

Une sonde de température se comporte comme un système du premier ordre possédant une

résistance et une capacité. Lorsque la sonde est soumise à une variation brusque de température (Figure 7 b), la réponse du détecteur évolue selon une loi exponentielle.

Une sonde placée dans un liquide réagit plus vite que la même sonde placée dans un gaz, en effet, le coefficient de convection d'un gaz est environ 1 000 fois plus faible que celui d'un liquide [15].

A- Eloignement de la sonde de température par rapport à l'actionneur



B- inertie de la sonde de température

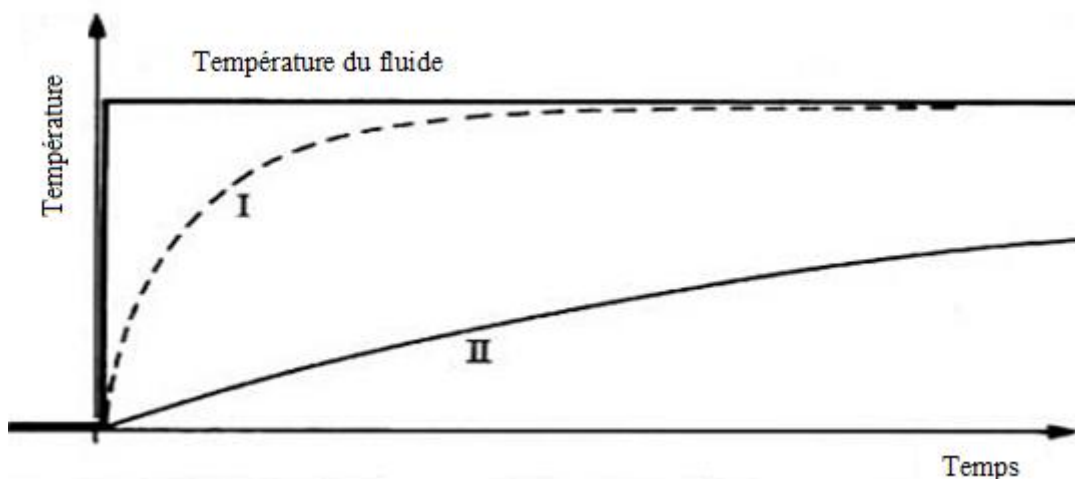


Figure V.7. (A.B) : Retard dû à la sonde de température [17]

I : température mesurée par le détecteur d'une sonde placée dans écoulement liquide

II : température mesurée par le détecteur d'une sonde placée dans écoulement gazeux

## II. Application à la régulation d'un bâtiment :

Le bâtiment est découpé en zones. Chaque zone a son circuit, avec une température d'eau préparée en fonction de ses propres besoins (sonde extérieure, programmation horaire,...). Reste que chaque local peut avoir des besoins différents de celui de sa zone ! ...

De plus, la seule régulation en fonction de la température extérieure ne tient pas compte d'une série d'éléments perturbateurs :

- Renouvellement d'air variable du bâtiment en fonction du vent,
- Apports internes (occupants, bureautiques, ...) variables en fonction des locaux,
- Apports externes (soleil, ombre d'un bâtiment voisin, ...) variables,
- l'impact d'une augmentation des pertes par ventilation sur la température intérieure

est immédiat, celui d'une diminution de température extérieure, lent, du fait de l'inertie du bâtiment,

- déséquilibre thermique entre les corps de chauffe,
- ...

Il est donc nécessaire de recourir à une régulation de l'ambiance locale par local, en complément d'une régulation centrale en fonction des conditions extérieures :

- Pour assurer le confort dans tous les locaux,
- Sans surchauffe (et donc surconsommation) dans les locaux favorisés.

On propose de faire l'étude simplifiée d'un système (globale) de régulation automatique pour les installations de simulation de la thermique des bâtiments. Le système en question est composé du point de vue technologique, d'une installation solaire de climatisation /chauffage de l'enceinte climatique mais on a 6 étages (étage=enceinte) .

Pour assurer le contrôle de la température des enceintes l'utilisation des contrôleurs et des détecteur de température est recommandée.

L'objectif du système est de pouvoir contrôler la température de l'enceinte malgré les perturbations subies par le système et par l'extérieur. le schéma de principe de ce système de climatisation /chauffage pour explique en générale est donné ci-après dans la figure V.8 [16]:

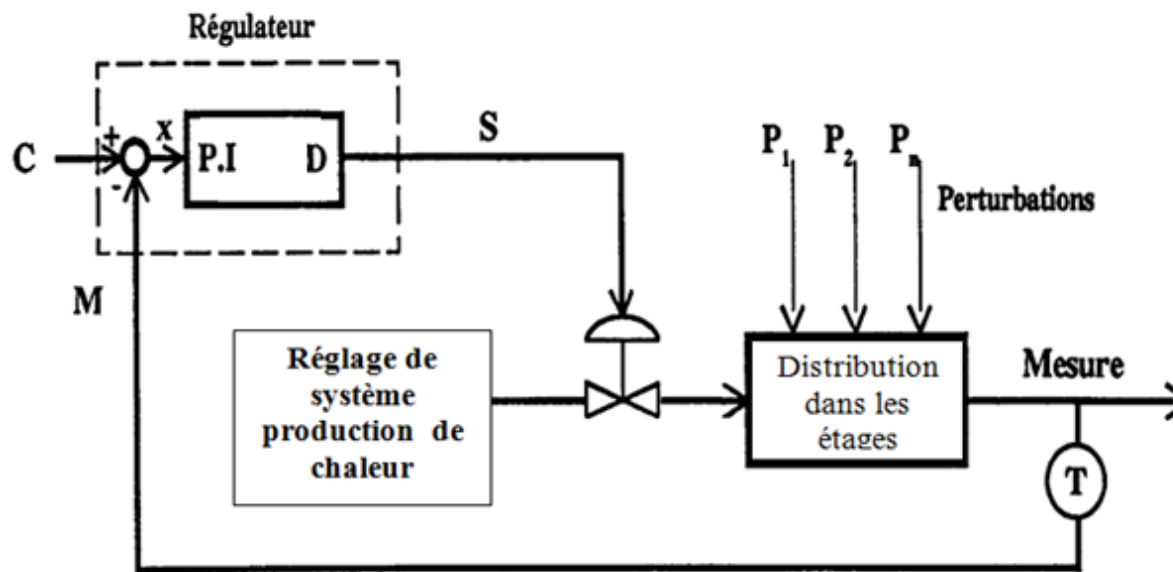


Figure V.8 : principe de régulation bâtiment

## II.1 Application à la régulation dans notre bâtiment étudié :

Pour assurer une bon régulation a notre système on la découpé a deux grandes parties pour la régulation de notre bâtiment

La 1 premier c'est savoir régulée la température de sorite de la chaine de production au on a le système d'point qui commence démarre leur travail sauf quand il existe des grandes perturbations au niveau des enceinte à chauffer ou les problèmes de climat (pas de soleil,.....)

Et la 2 éme parties c'est au niveau des étages au aussi on utilise deux types de régulation manuel (régulation local) avec des vannes a l'entrée de l'étage avons les radiateur qui nous permet de bien sécurise notre système de chauffage bâtiment au en peut éliminer un étage complètement quand on aura des problème de maintenance ou d'autre parts... sans arrêter tout le système de chauffage a bâtiment.

Et le 2 éme type c'est de girée les vanne de distribution a les étages avec des régulateurs dépendent des 3 sondes de température l'une place a l'entrée et l'autre a la sortie une 3 éme pour faire la différence avec l'extérieur (sonde de T ambiante )

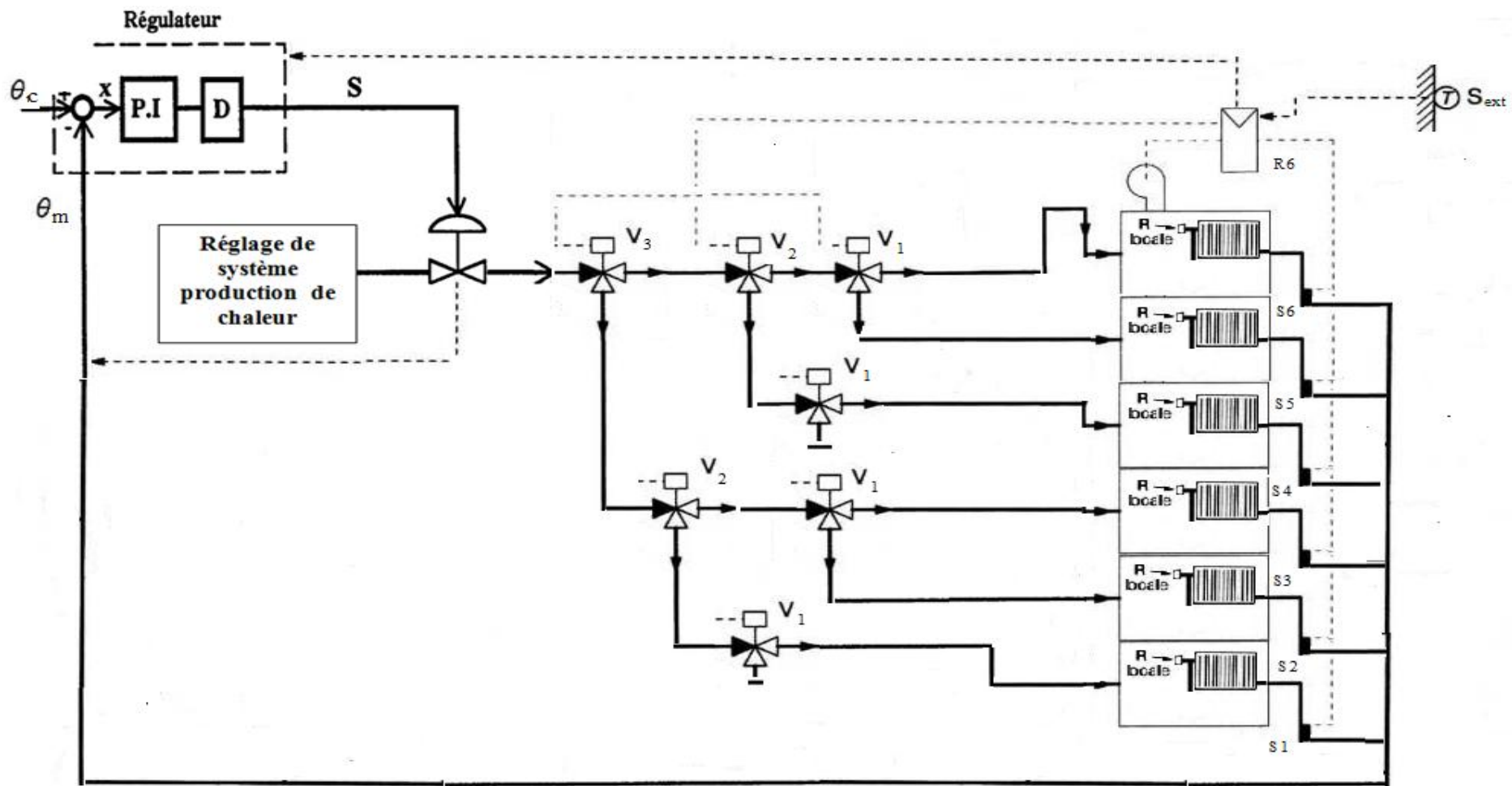


Figure V.9 : représentation de système de la régulation dans notre bâtiment étudié

### Choix des vannes et régulation de chaque circuit :

Chaque zone thermique est dotée d'une régulation qui lui est propre. Le plus souvent, dans le cas d'un chauffage par radiateur, ce sera une vanne trois voies qui règle la température de l'eau de départ de chaque circuit.

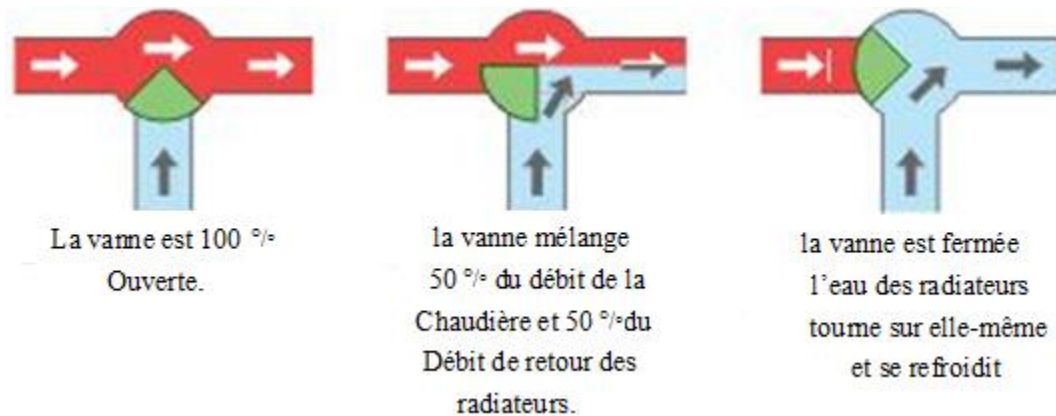


Figure V.9 : Fonctionnement d'une vanne mélangeuse

Toute la difficulté consiste à trouver le "témoin" fidèle des besoins de la zone. C'est pourquoi, traditionnellement, on utilise la température extérieure car si la température extérieure descend, le besoin de chauffage augmente. Ce lien n'est que grossièrement valable et d'autres témoins doivent souvent être trouvés.

Par exemple, il est intéressant de choisir un régulateur dont le réglage de la courbe de chauffe peut être automatiquement ajusté (décalage automatique de la courbe) en fonction :

- d'une sonde d'ensoleillement (pour un circuit alimentant une façade sud),
- d'une sonde de vent (pour les immeubles de grande hauteur),
- ou d'une sonde d'ambiance (nécessaire aussi pour gérer l'intermittence avec un optimiseur). cette dernière possibilité permettra de pallier les difficultés de réglage "manuel" de la courbe de chauffe.

Evidemment, on aura compris que ces différentes sondes, appelées "sondes de compensation" ne peuvent pas être utilisées si le circuit de chauffage dessert des locaux d'orientation différente ou avec des apports internes de chaleur différents.



## II.2 Diagramme fonctionnel de l'installation

Pour construire le schéma bloc du système (figure V.9), on globale donc notre problème sera plus complexe et vue le modèle (bâtiment) complique aussi vue le temps consacré on a essayé de travail pour une seul zone (étage).

on générale on a préféré de découpler le système et le étudier zone par zone ,c'est ta dire prendre chaque étage comme étant une zone autonome .

Nous allons considérer  $\theta_c$  comme variable d'entrée et  $\theta$  comme variable de sortie, et expliciter les équations caractérisant le fonctionnement de chaque élément constituant le système

### Relation entre les températures de l'enceinte (étage), de consigne et d'extérieur :

On se propose de déterminer la relation entre les températures de l'enceinte, de consigne et d'extérieur (donnant  $\theta$  en fonction de  $\theta_c$  et  $\theta_o$ ). Partant des équations caractérisant  $\theta_m$ ,  $P_1$  et  $P$ , il vient les relations respectives suivantes :

$$\theta_m(s) = \frac{\theta(s)}{1+2s} \quad (8)$$

$$\theta(s) = \frac{(C_1s + K_1) \cdot \theta_1(s) + a\theta_m(s) - a\theta_c(s)}{K_1} \quad (9)$$

$$\theta_1(s) = \frac{(K_1 + C_1s + K) \cdot \theta(s) - K\theta_o(s)}{K_1} \quad (10)$$

- L'équation qui régit l'échange thermique avec l'installation solaire est:

$$P_1 = C_1 \cdot \frac{d\theta_1}{dt} + K_1 \cdot (\theta_1 - \theta) \quad (11)$$

- L'équation qui caractérise le fonctionnement de l'enceinte est du même type que l'équation précédente :

$$P = C \frac{d\theta}{dt} + K(\theta - \theta_0) \quad \text{Avec} \quad P = K_1 \cdot (\theta_1 - \theta) \quad (12)$$

- $\theta$  est la température de l'enceinte à régler,  $K_1$  est le coefficient d'échange entre l'installation solaire et l'enceinte. Les échanges entre l'installation solaire et le milieu extérieur sont négligés.
- Le détecteur de température est constitué d'un thermocouple représenté par une fonction de transfert du premier ordre avec une constante de temps  $T$  secondes et un gain statique  $G$ . La température  $\theta_m$  mesurée par ce thermocouple est utilisée par le contrôleur pour commander une puissance calorifique/frigorifique  $P_1$ , proportionnellement à l'écart entre une température de consigne  $\theta_c$  et la température mesurée  $\theta_m$ . La constante de proportionnalité correspondante est  $a$ . La puissance  $P_1$  est fournie à l'installation solaire par le capteur solaire et le circuit annexe éventuellement.
- L'enceinte est à température homogène  $\theta$ . La capacité calorifique/frigorifique de l'enceinte, y compris ce qu'elle contient, est  $C$ . Le coefficient d'échange entre l'enceinte et le milieu extérieur à température  $\theta_0$  est  $K$ .

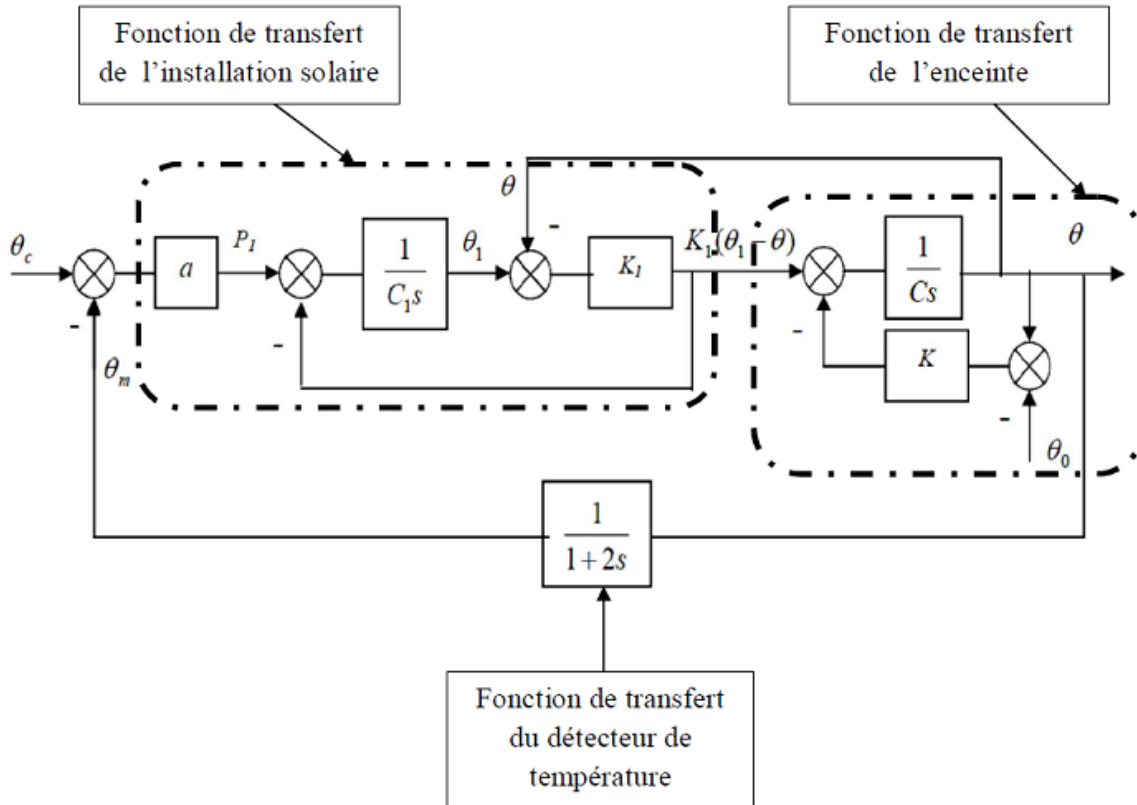


Figure V.10: Diagramme fonctionnel global de l'installation

La régulation du système de climatisation /chauffage permet de:

- régler automatiquement la puissance de l'installation en fonction des besoins (charge)
- maintenir à une valeur de consigne la température intérieure soumise à des variations.

La régulation automatique permet d'assurer le confort thermique tout en faisant des économies d'énergie.

# Chapitre VI :

## Simulation et interprétation des résultats

### I. Introduction :

Le confort thermique est probablement l'un des éléments venant le plus vite à l'esprit lorsque l'on pense au confort dans un bâtiment. Assurer une sensation de chaleur en hiver et préserver des surchauffes en été est, depuis longtemps, un souci majeur pour les architectes et bureaux d'études. Mais le confort thermique est quelque chose qu'il n'est pas facile de définir, et donc d'assurer, et qui n'est pas limité à la température.

les principaux paramètres physiques qui régissent la sensation de confort thermique sont :

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

Pour créer les conditions du confort thermique, on est obligé d'avoir recours au chauffage et à la climatisation. Dans le cadre de ce travail, nous nous limitons particulièrement au contrôle de la température. Pour l'application utilisée, il est exigé que la température de sortie soit égale à celle de sa consigne

### II . Simulation des bâtiments multi-zones avec TRNSYS :

#### II.1 Simulation :

En raison du coût et des durées expérimentales, la simulation est un moyen efficace pour mettre au point et étudier le comportement thermique des bâtiments en régime variable. Mais il est nécessaire de savoir ce que l'on cherche pour utiliser l'outil de façon optimale. L'informatique offre la possibilité d'effectuer des calculs qui seraient longs, fastidieux et répétitifs.

La simulation thermique dynamique permet de faire « vivre virtuellement » le bâtiment sur une longue période, afin d'étudier son comportement prévisionnel pour des résultats proches de la réalité. Pour valider Les solutions retenues, on a choisi pour la simulation le logiciel TRNSYS pour les divers avantages qu'il présente.

## II.2 Présentation du logiciel TRNSYS :

TRNSYS est un environnement de simulation dynamique permettant de simuler de manière fine le comportement d'un système thermique complexe, tel qu'un bâtiment. TRNSYS est disponible depuis 1975. Il a inspiré de très nombreux développements d'autres logiciels de simulation, qui utilisent soit son solveur générique, soit certains de ses modèles, soit les deux (Energy 10, Energy+, CA-SIS, HVACSIM+,...).

TRNSYS est basé sur une approche par schéma-bloc. Cette approche modulaire permet à la fois de décomposer des problèmes complexes en plusieurs problèmes moins complexes et de travailler dans un environnement « ouvert », permettant de rajouter de nouveaux composants et concepts. Un projet de simulation TRNSYS consiste donc à choisir un ensemble de modèles mathématiques de composants physiques (en s'appuyant soit sur des modèles existants dans les bibliothèques de modèles de TRNSYS, soit en les créant) et à décrire les interactions entre ces modèles. L'environnement graphique IISiBat 3 assiste l'utilisateur dans ces deux étapes avec un éditeur de modèles et un éditeur de projets. Chaque icône d'une fenêtre de projet IISiBat représente en effet un sous-programme (traditionnellement écrit en FORTRAN, sachant que la version 16 de TRNSYS permet l'utilisation de n'importe quel langage de programmation capable de générer une DLL Windows - C, C++, ...). Chacune de ces boîtes noires possède un jeu de variables d'entrées et un jeu de variables de sortie. Connecter les icônes revient à créer des connexions entre ces variables. L'utilisateur a la possibilité de rajouter des « boîte », i.e. définir de nouveaux algorithmes, pour simuler le comportement de nouveaux types d'objets qui n'existent pas dans la version standard de TRNSYS. Ceci est possible en spécifiant des équations directement (sans passer par un langage de programmation), en assemblant des modèles existants dans des « macro modèles », en dérivant des nouveaux modèles à partir de modèles existants par extension ou en créant des modèles entièrement nouveaux, en utilisant un langage de programmation tel que FORTRAN, C ou C++, voire même des applications externe comme le solveur d'équations générique EES.

TRNSYS 16 contient un grand nombre de modèles standards (Utilitaires, Stockage Thermique, Équipement, Charges et Structures, Échangeurs de Chaleur, Hydraulique, Régulateurs, Composants électriques/Photovoltaïque, Capteurs solaires, ...). Il suffit de les interconnecter dans un éditeur de projet pour définir un projet de simulation. TRNSYS profite également d'une active communauté d'utilisateurs, qui mettent au point des modèles «

freeware », accessibles gratuitement à tout utilisateur. Plusieurs bibliothèques de modèles TRNSYS existent également en tant que produits commerciaux supplémentaires, développés par des bureaux d'études spécialisés. Il existe plusieurs modèles de bâtiments. Le modèle le plus complet permet de simuler de façon très détaillée le comportement thermique d'un bâtiment multi-zones (température ambiante, besoins d'énergie, humidité de l'air pour chaque zone et chaque surface ; gains par infiltration / ventilation, couplage convectif avec d'autres zones ; variation de l'énergie sensible ; besoins d'énergie latente ; énergie solaire rentrant par les fenêtres ; confort ; ...).

Le paramétrage du modèle du bâtiment nécessite une description détaillée. Pour saisir cette information, une interface dédiée fait partie de TRNSYS : PREBID. Ce logiciel permet de rédiger un fichier de description du bâtiment en spécifiant les murs, ouvertures, orientations, etc.

### **II.2.1. Avantages du logiciel TRNSYS :**

Les avantages qu'offre le logiciel TRNSYS sont très nombreux.

En effet, en utilisant l'utilitaire TRANbuild la définition du bâtiment est devenue de plus en plus facile et permet de faire changer les différents paramètres très facilement. D'autre part, TRNSYS se trouve à être un logiciel modulaire auquel on peut y ajouter des modules écrits soit en fortran ou sous Matlab ou EES ce qui laisse la possibilité d'amélioration du modèle en y incluant différents phénomènes thermo-aérauliques et en y incluant aussi un modèle simulant les systèmes de chauffage, climatisation, ventilation et réfrigération. Enfin, et en comparaison avec le CFD, TRNSYS est plus rapide dans les simulations. Certes, ce n'est pas le même concept ni les mêmes équations à résoudre mais dans notre cas on a besoin de trouver les charges thermiques d'un aréna ce que TRNSYS peut à première vue déterminer.

### **II.2.2 Limites du logiciel TRNSYS :**

Les limites de TRNSYS pour la simulation thermique d'un aréna sont du nombre de deux : le transfert aéraulique et le rayonnement entre les surfaces internes.

En effet, TRNSYS ne calcule pas de champ de vitesse d'air entre les différentes zones thermiques ce qui nous oblige à spécifier les débits d'air échangé entre les zones.

D'autre part, TRNSYS considère les surfaces internes comme étant des surfaces noires et ne nous permet pas de changer l'émissivité des surfaces internes de l'enveloppe du bâtiment.

### II.2.3. Approche retenue :

Après l'étude des différentes méthodes de modélisation de bâtiments, nous avons choisi de simuler les transferts thermiques dans le bâtiment étudié à l'aide d'une méthode nodale en utilisant le logiciel TRNSYS. Ce choix est basé d'une part sur la validité du logiciel TRNSYS bien connu dans le domaine de simulation thermique des bâtiments. D'autre part la modularité de ce logiciel et la possibilité d'y implémenter d'autres modèles nous laisse la voie ouverte vers des améliorations future du modèle de simulation de bâtiment.

En utilisant cette approche, nous allons pouvoir déterminer de façon transitoire les températures de l'air et des surfaces dans l'aréna. Nous aurons aussi la possibilité d'évaluer les différentes charges thermiques dans le bâtiment.

## II.3 les outils de l'environnement TRNSYS :

### II.3.1 Météonorm :

Le logiciel Météonorm permet de disposer pour TRNSYS, des données climatiques fiables chaque heure et durant une année. Si on ne dispose pas d'une station météorologique, METENORM peut calculer par interpolation entre différentes station les conditions climatique d'un lieu.

Donner de notre site étudié :

Nom de site = TLEMCEN/ZENATA

Latitude [°]=35.010

Longitude [°] =-1.460

Altitude [m]=247

Température : période nouvelle =1996-2005

Rayonnement : période vieille=1981-2000



Figure VI.1 : Interface de logiciel. Données technique de la station et variation de rayonnement



Figure VI.2 : Représentation de la variation du rayonnement pour une année





Figure VI.3 : la représentation de température sur le logiciel

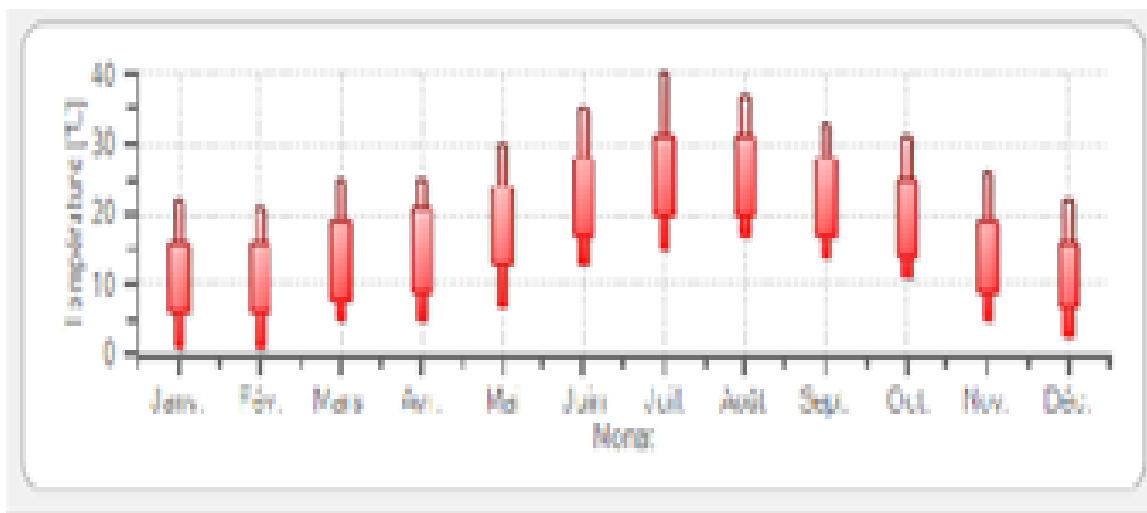


Figure VI.4 : la variation de température durant une année

### II.3.2 TRNBUILD :

En raison de la complexité d'un bâtiment multizone, les paramètres du TYPE 56 ne sont pas définis directement dans le dossier d'entrée de TRNSYS. Au lieu de cela, deux dossiers sont assignés contenant l'information exigée, la description de bâtiment (\*BLD) et la fonction de transfert d'ASHRAE pour des murs (\*TRN). Plus d'information sur le type 56 peuvent être obtenues à partir du TRNSYS principal Manuel de référence.

TRNBUILD (autrefois connu sous le nom de PREBID) a été développé pour fournir un outil facile à utiliser pour \*BLD Et\* les dossiers de TRN. Commencant par quelques données de base de projet, l'utilisateur décrit chaque zone thermique alternativement.

En conclusion, les sorties désirées sont choisies. Toutes les données saisies sont archivées dans un prétendu dossier de bâtiment (\*BUI), un dossier lisible des textes. Le dossier BUI est très maniable pour vérifier les données saisies dans TRNBUILD.

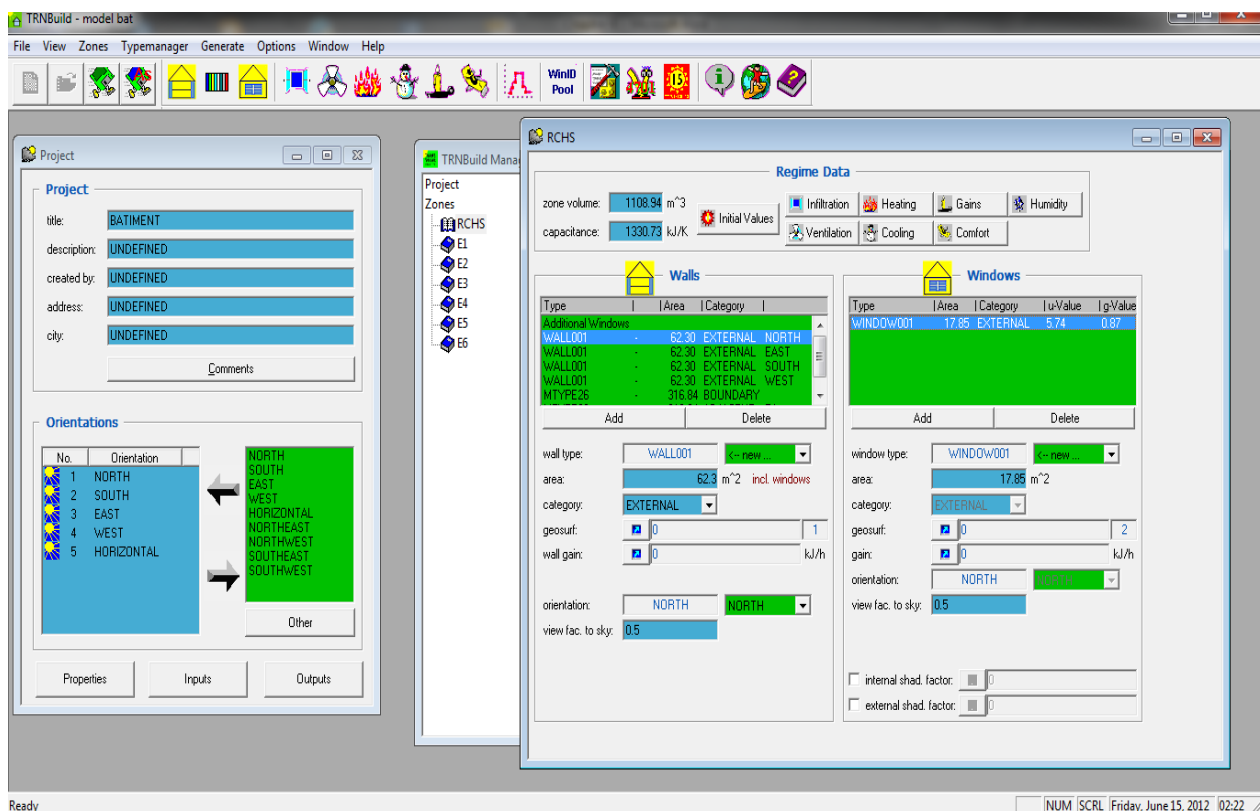


Figure VI.5 : l'interface avec les données saisies dans TRNBUILD

Avec Les donnes des dimensions détaillés du bâtiment étudié qui on a saisies Chapitre III.

### III. Présentation du modèle de l'installation à étudié :

Dans la construction de notre installation sur la plate-forme de TRNSYS on utiliser des déléguants organes et ce sont les plus utilisés dans la simulation du bâtiment sont :

TYPE 114, 114-2, 114-3 : pompes

TYPE 65c, 65c-2, 65c-3 : affichage des résultats

TYPE 2b, 2b-2 : système de régulation tout ou rien

TYPE 57: convertisseur d'unité

TYPE 6 : surchauffeur

TYPE 91 :Echangeur de chaleur

TYPE 109TMY2 : données climatique

TYPE 73 : panneau solaire plan

TYPE 4c:Echangeur de chaleur et ballon de stockage

TYPE 11e: vanne a3 de distribution

TYPE 56a: dimension du local multi zone à chauffer faite à l'aide de TRNBUILD

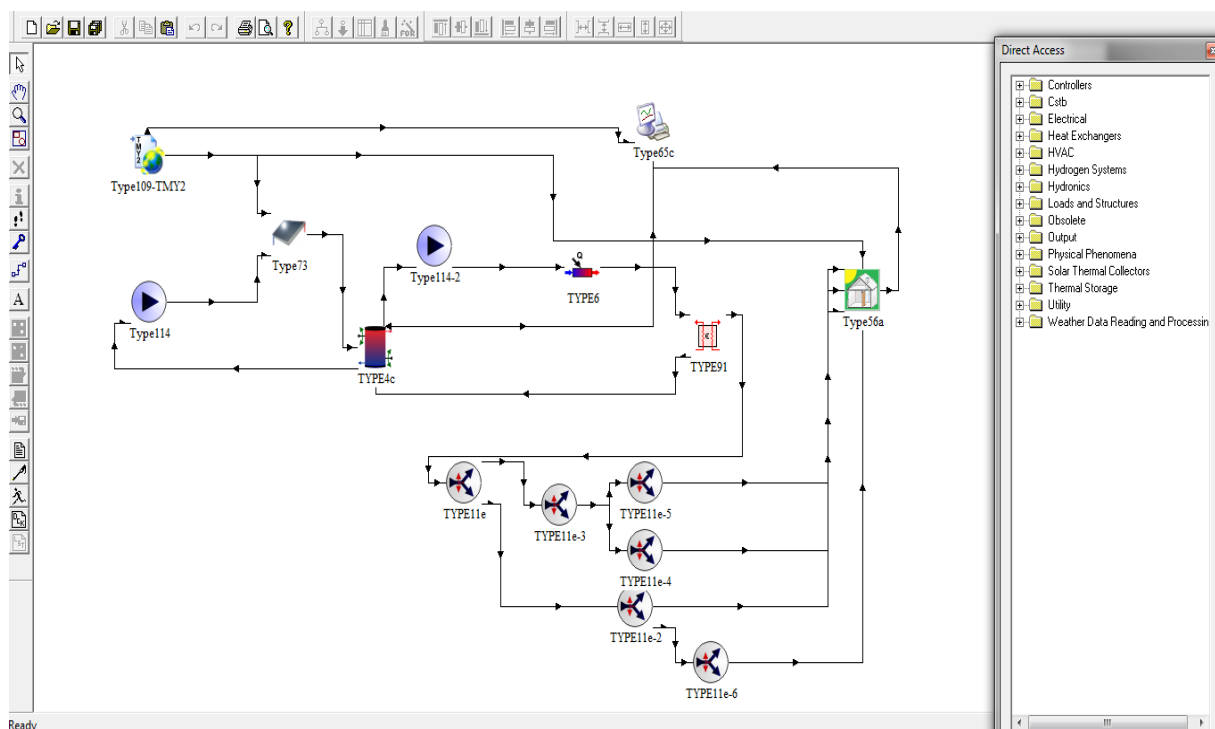


Figure VI.6 : la boucle de simulation su le logiciel TRNSYS[17]

## IV. Résultats et interprétations :

### IV.1 Graphes :

Après la simulation on a tétait notre problème par la prise des trois intervalles de temps délinants de l'année :

A- l'intervalle de 24 heures



Figure VI.7 : Evolution de la température du bâtiment pour les premier 24heur (jan)

B- l'intervalle de 3 mois ( janvier , février , mars)

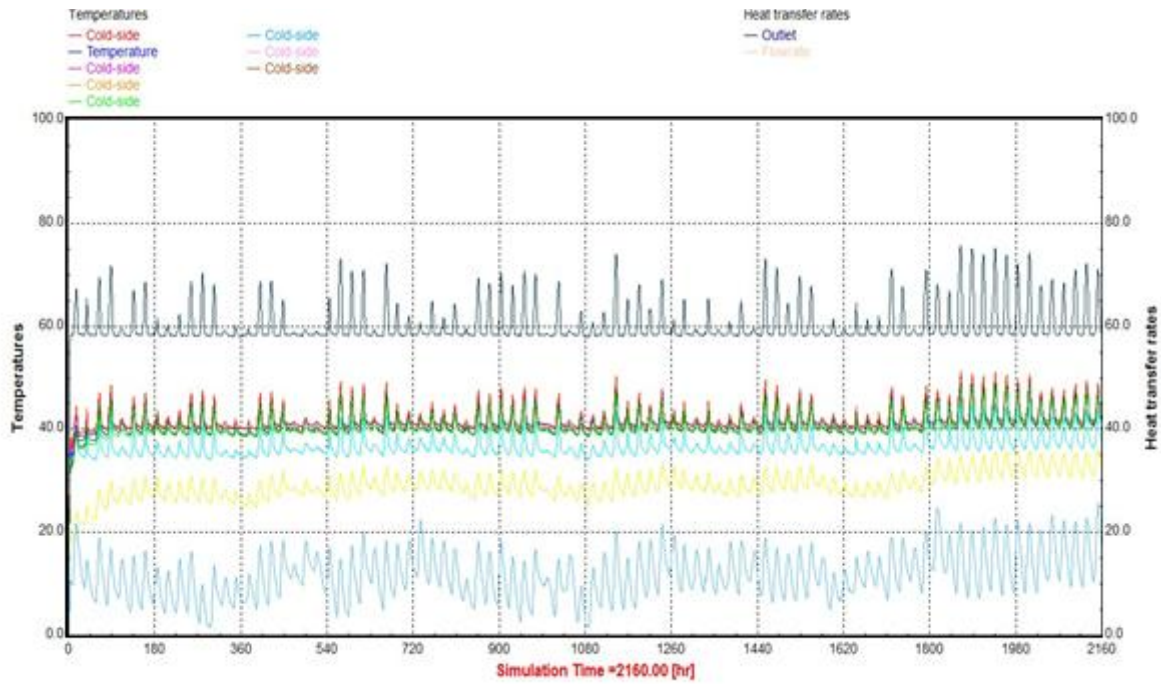


Figure VI.8 : Représentation de la simulation pour les 3 mois (janv, février, mars)

C- l'intervalle d'une année (0h-8760heurs)

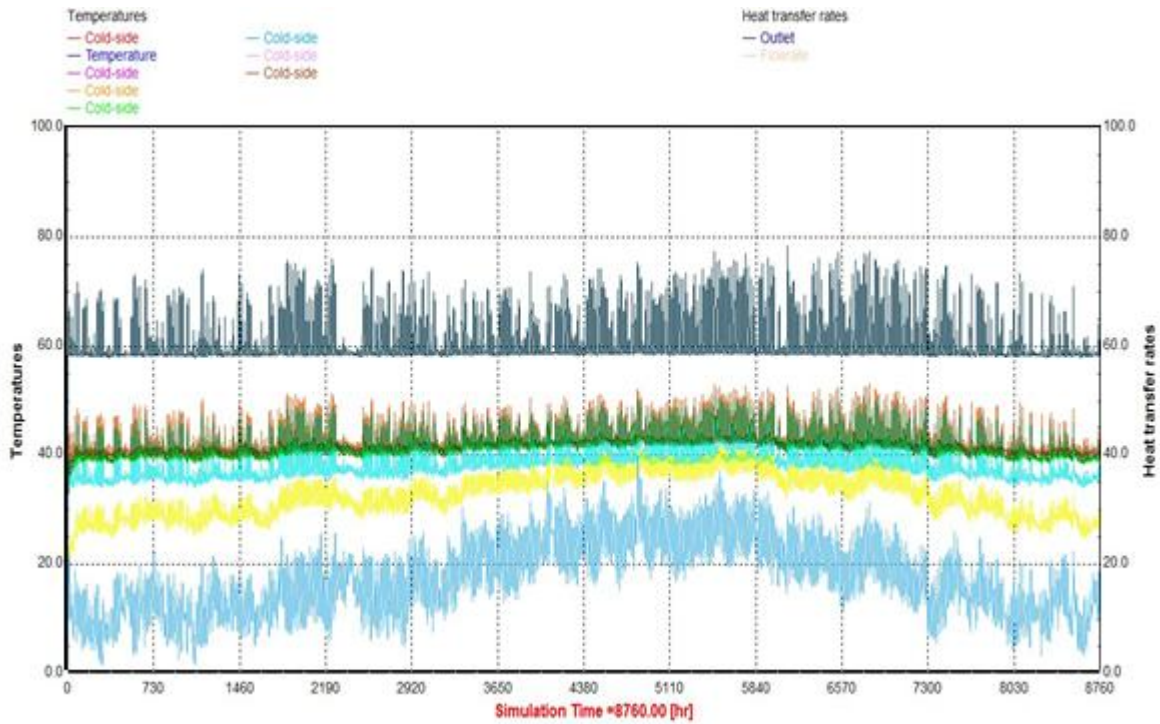


Figure VI.9 : Représentation de la simulation dans l'intervalle [0-8760]h (1 année)

- ❖ on prend un intervalle fixe de 7 jour et on augmentera la surface des capteur pour remarquer leur l'influence sur la consommations des énergie d'appoint

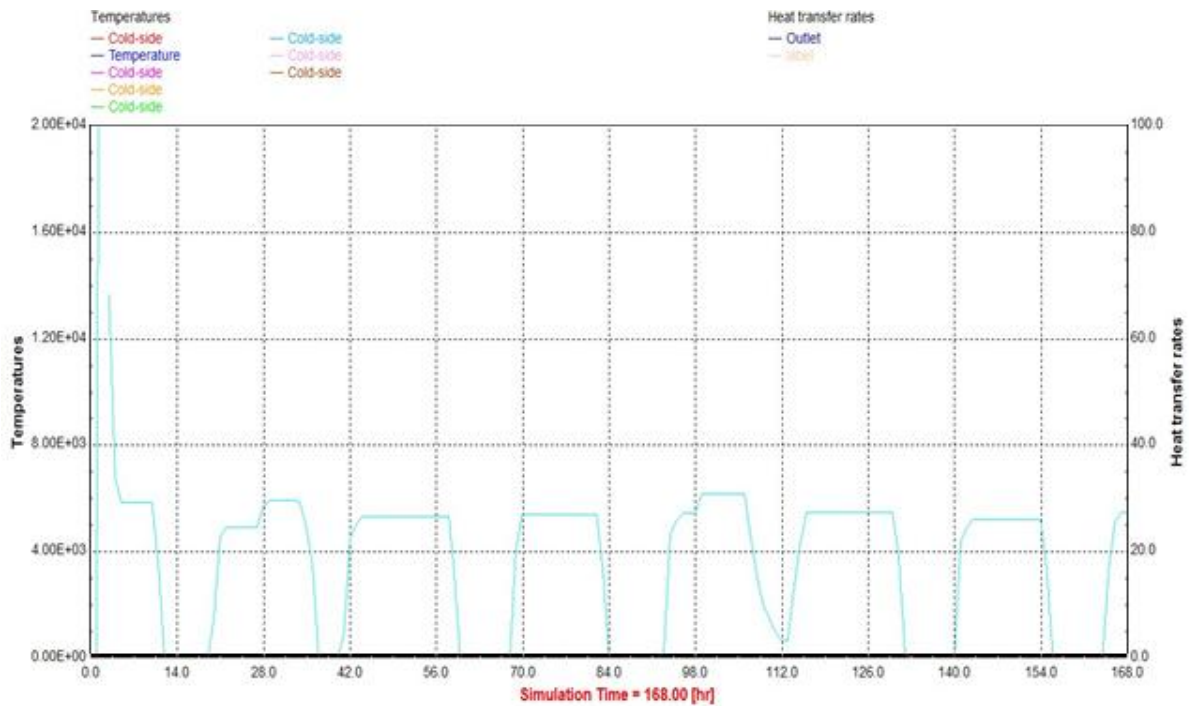


Figure VI.10 : Représentation de la consommation d'énergie d'appoint avec 3 capteur de surface total 6 mètre



Figure VI.11 : Représentation de la consommation d'énergie d'appoint avec 3 capteur de surface total 6 mètre

## VI.2 Interprétation des résultats :

Les trois premières figures (VI.7,8,9) nous présentant une comparaison entre trois points de mesure de température  $T_{\text{ambiante}}$ ,  $T_c$  à la sortie de capteur (l'échangeur à eau) et la température à niveau des étages pendant des périodes différentes de l'année (24h, 3mois, année). Au premier courbe en marron foncé si la  $T_{\text{ambiante}}$  et les autres à milieu est les températures des étages classé par ordre descendu des couleurs au menu de Figure et tout jour en haut avec badge la température qui sort de capteur  $T_c$ .

Dans les résultats obtenus on voit bien qu'il y a une concordance avec la température voulue et celle des étages, on voit que dans la période de l'été où les températures sont très importantes allant jusqu'à 78 °C, et on arrive à maintenir la température dans les étages (volumes) entre 23 °C et 45°C, et c'est le but de notre installation solaire.

Et on remarque l'évolution de la température dans la période la plus pressée pour le chauffage sur l'intervalle [0-2160h] et sur les 24 heures, et on voit bien la continuité de notre confort et les approches des températures au niveau des étages de notre bâtiment étudié.



Aussi on remarquant que l'augmentation de la surface de capteur juste par 3 mètre de section nous permet de garnie plus de  $2.00^E+03$  d'énergie .

Et d'après les résultats des températures obtenu au niveau de capteur et leur variation pendant l'année a notre site Tlemcen On sait bien que la suite de ce travail de seulement le chauffage solaire on pourrait l'ajouté aussi dans ce cas la climatisation solaire des local et cela en apportant des améliorations à la boucle de TRNSYS puisse que on aura une température constante durant toute l'année.

On voit bien la l'intérêt de cette chauffage/climatisation solaire et son bon fonctionnement et sa fiabilité.



## *Conclusion et perspectives*

Au terme de ce travail mené dans le but d'étudier le chauffage/climatisation solaire et la contribution à la régulation de la température dans un bâtiment, les principales conclusions tirées sont comme suit :

Rappelons que l'objectif fixé dans ce travail qui consiste à l'étude d'une climatisation (chauffage) ainsi la régulation de température dans un bâtiment a été atteinte.

Nous avons passé en revue un ensemble de travaux dans le domaine du froid solaire et la conversion thermosolaire. L'installation de la climatisation solaire a été étudiée d'une façon détaillée en présentant Les différents systèmes de climatisation. L'étude du capteur solaire plan, utilisé pour l'installation été menée d'une façon détaillée

Une présentation théorique du chauffage solaire nous a permis de bien détailler ce processus, ses éléments ainsi que le rôle de chacun d'eux dans cette opération. La détermination des charges des enceintes (étages) en fonction de divers facteurs nous a permis de dimensionner et sélectionner les éléments de l'installation.

Ce pendant, la documentation reste le grand défi devant le développement d'un tel sujet, la disponibilité des livres et articles est une contrainte majeure à vaincre ainsi que la manipulation du logiciel TRNSYS.

Ce travail nous a permis de nous sensibiliser sur les éventuels problèmes que nous aurons à affronter dans les projets d'ingénierie. il nous a en plus permis de maîtriser certaines notions sur la climatisation qui demeure un domaine passionnant.

Finalement nous ne pouvons terminer ce projet sans espérer une continuité dans cet axe de recherche, les futurs mémoires devront traiter ce phénomène sous tous ses aspects et ajouter les deux circuit climatisation solaire et l'eau chaude sanitaire pour bâtiment avec un système de régulation intègre par niveau et multizonale.

## *Références bibliographiques*

- [1] Nezzar S. et Gourdache M . 'Etude des performances énergétiques d'une conception bioclimatique en région aride' .World Energy Council,1999.
- [2] Olivier G. Publié in la Météorologie, 8° série les enjeux économique des politiques de prévention du risque climatique, 1998.
- [3] Guendouz B. Projet de fin d'étude pour ingénieur d'état en génie mécanique <<Etude d'un système de réfrigération solaire a absorption (application a une chambre froide)>>,2008.
- [4] Energie inépuisable disponible partout dans le monde ,  
<http://www.hespul.org/le-rayonnement-solaire.htm>Unesource.site consulté en avril 2012
- [5] la maitrise de l'énergie.  
[http://www.perso.wandoo.fr/ageden/energie\\_renouvelable](http://www.perso.wandoo.fr/ageden/energie_renouvelable).consulté :avril 2012
- [6] Tahibaut Vitte, thèse GC, Institut national des sciences appliquées de Lyon 2007 .
- [7]CHEILAN C.E. L'énergie- les enjeux de l'an 2000,alger :office des publications universitaires OPU,1991
- [8 ] Dr R.Cantin, B. Moujalled, Dr HDR G. Guarracino , 6 éme congrès Européen de Science des Systèmes Paris 19-22 septembre 2005.
- [9]Source :<http://energie.wallonie.be/energieplus/CDRom/Climatisation/theorie/ventheconfortthermique.htm>. consulté juin 2012
- [10] Petit Amélie Nimaga Fatoumata,Medou Delphine ,IUP M1 GSI Maîtrise de l'énergie (Analyse de confort thermique dans le CODYBA), 2007/2008
- [11] Ahmed Daoud. Simulation thermique d'un arénasous transys. Mémoir de Maitrise des sciences spécialité génie mécanique Canada .janvier 2005
- [12] Manuel de Fabrication et insttallation du chauffage-eau solaire bon marché (CESBM) Sociedade do Sol – Société du Soleil .  
[http://www.sabesp.com.br/pura/dicas\\_testes/conserve\\_limpa\\_ex\\_dagua.htm](http://www.sabesp.com.br/pura/dicas_testes/conserve_limpa_ex_dagua.htm)consulté février 2013
- Notes pour une norme technique Juillet 2005 – Version VII
- [13] Mme Muriel Hoogstoel, Utilisation domestique de l'énergie solaire : Les chauffe-eau solaires Support écrit pour l'architecte, janvier 2004
- [14] Haines (W.). – Techniques de régulation en génie climatique. Pyc Éditions (1981).

[15] Manuel de la régulation et de la gestion de l'énergie. Association Confort Régulation (1986).

[16] Buhler (H.). – Électronique de réglage et de commande. Dunod (1983).

[17] [www. Trnsys.com](http://www.Trnsys.com) consulté le 8 avril 2013

## ملخص

يهدف هذا العمل الى تطوير الحلول المثلى لتصميم ومراقبة النظم المغلقة للتوزيع وتداول التدفئة / التبريد تحديد خصائص الحل الأمثل. قمنا بدراسة المتغيرات على المعالم الرئيسية للنظم ومقارنتها مع بعضها البعض . جميع أنواع المباني، سواء كانت السكنية أو التجارية ، تتطلب أكثر أو أقل تعقيدا للحفاظ على جو مريح لقاطنيها . هذه الأنظمة تقدم وفقا للموسم، الحرارة أو البرودة (التكييف)، مع تفاوت الكفاءة (أفضل بيئة مع أقل استهلاك للطاقة). تم إجراء دراسة نظرية لتحديد العوامل التي تؤثر على السلوك الحراري للمبنى وتصميمه. تمت النمذجة الطاقوية للمشكل وفقا لطريقة نودال، حيث يتم تنفيذ المحاكاة باستخدام برنامج المتقدمة في TRNSYS. وفى الأخير، خاتمة تلخص النتائج ووجهات النظر الرئيسية المستخلصة و تقترح احتمالات للعمل بها في المستقبل. **كلمات البحث:** طريقة نودال، العوامل المؤثرة، والمحاكاة TRNSYS

---

## Résumé

Ce travail aura pour objectif de développer les solutions optimales de conception et de régulation des systèmes fermés de distribution et de circulation de chauffage /climatisation. des variantes portant sur les paramètres principaux des systèmes seront comparées entre elles afin de dégager les caractéristiques d'une solution optimale. Tous les types de bâtiments, qu'ils soient d'habitation ou tertiaires, nécessitent des systèmes plus ou moins complexes pour maintenir, pour leurs occupants, une ambiance confortable. Ces systèmes apportent, suivant les saisons, chaleur ou fraîcheur (climatisation), avec plus ou moins d'efficacité (meilleure ambiance pour une moindre consommation).

Une étude théorique est faite pour la détermination des différents facteurs influençant sur comportement thermique d'un bâtiment et leur dimensionnement.

La modélisation énergétique du problème est faite par la méthode nodale,

La simulation est réalisée à l'aide d'un programme élaboré sous TRNSYS.

Enfin, une conclusion résume les principaux résultats obtenus et des perspectives pour de futurs travaux sont proposées.

**Mots clés :** méthode nodale, facteur influençant, simulation TRNSYS.

---

## Abstract

This work i twill aim to develop optimal solution for the design and control of closed systems of distribution and circulation heating/cooling. variations on the main parameters of the systems are compared with each other to identify the characteristics of an optimal solution.

All types of buildings, whether residential commercial, require more or less complex systems to maintain their occupants with a comfortable atmosphere. These systems provide according to the season, heat or cold (air conditioning), with more or less efficiency (better atmosphere and low power consumption).

A theoretical study is made to determine the factors influence on thermal behavior of building and its design. The energy modeling problem is made by the nodal method, the simulation is performed using a program developed in TRNSYS .

Finally, a conclusion summarizes the main results and perspectives for future work that are proposed.

**Keywords :** nodal method, factor influencing, TRNSYS simulation