

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



**UNIVERSITE SAAD DAHLAB DE BLIDA 1**  
**FACULTE DE TECHNOLOGIE**  
**DEPARTEMENT DE MECANIQUE**

Projet de Fin d'Etudes  
Pour l'obtention du Diplôme de Master en Génie Mécanique  
Option : Energétique

**Titre:**

**Etude de faisabilité d'un système de climatisation solaire par  
dessiccation solide destiné pour le département de mécanique  
Université de Blida 1**

Proposé et encadré par :

Dr.Roudane Mohammed

Dr.Ketfi Omar

Réalisé par :

Lebli Oussama

Zenkhri Amel

Année universitaire 2019/2020

## Résumé

Le présent travail est une étude de faisabilité d'un système de climatisation solaire par dessiccation solide du deuxième étage du département de mécanique (pavillon 19) à l'université Saab Dahleb de Blida 1.

Les charges de climatisation des salles et laboratoires du l'étage sont simulés à l'aide du logiciel numérique TRNSYS pour deux modes, à savoir, ventilation et la recirculation d'air. Ce système est alimenté par l'énergie solaire thermique qui est basée sur l'aspect de gratuité de tel façon que notre système consomme le moins d'énergie électrique pour assurer un confort intérieur à un cout d'exploitation optimal.

Les résultats trouvés dans cette étude sont très prometteurs en vue d'amélioration des conditions climatiques dans les salles et les laboratoires de recherche dans notre département tout en respectant les conditions de confort ainsi cités dans ce mémoire.

**Mots clés :** climatisation solaire, apports calorifique, déperdition thermique, dessiccation solide, capteur solaire, département de mécanique, confort thermique.

## **Abstract**

The present work is a feasibility study of a solar air conditioning system by solid desiccation of the department of mechanics (ward 19) at Saab Dahleb University Blida 1.

The cooling loads of the classes and laboratories on the second floor of the department are simulated using simulation software TRNSYS for ventilation and air recirculation. This system is powered by thermal solar energy which is based on the appearance free in such a way that our system consumes the least amount of electrical energy to ensure interior comfort at an optimal operating cost.

The results found in this study are very promising with a view to improving the climatic conditions in the classes and research laboratories in our department while respecting the conditions of comfort thus mentioned in this brief.

**Key words:** solar air conditioning, heat input, heat loss, solid desiccation, solar collector, mechanics department, thermal comfort.

## ملخص

العمل الحالي عبارة عن دراسة جدوى لنظام التكييف الشمسي بواسطة التجفيف الصلب لقسم الميكانيك (جناح 19) بجامعة سعد دحلب البليدة (بليدة 1).

تم محاكاة أحمال التبريد للغرف والمختبرات في الطابق الثاني من القسم باستخدام برنامج المحاكاة **TRNSYS**.

بنمطين الأول التهوية ثم النمط الثاني يتمثل في إعادة تدوير هواء العملية المستعمل، ويعتمد هذا النظام على الطاقة الشمسية الحرارية التي تتميز بالمجانبة عند الاستغلال، بحيث يستهلك نظامنا اقل قدر ممكن من الطاقة الكهربائية مع الحفاظ على شروط الراحة الداخلية في الأقسام والمختبرات بأقل تكلفة ممكنة.

النتائج المتحصل عليها بهذه الدراسة واعدة للغاية، بحيث تم إثبات فعالية النظام وهذه الأخيرة تتمثل في تحقيق النتائج المرغوبة.

**الكلمات المفتاحية:** تكييف الهواء الشمسي، مدخلات الحرارة، الضياع الحراري، الجفاف الصلب، مجمع الطاقة الشمسية، قسم الميكانيك، الراحة الحرارية.

# Remerciement

Ce travail de thèse a été réalisé au sein du département de Mécanique de l'université Saad Dahleb de Blida.

Selon la tradition, et à travers cette page de remerciements, nous tenons à saluer toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à la concrétisation de ce travail.

Un grand merci à Dieu de nous avoir donné le courage et la patience et qui a éclairé notre chemin pour achever ce travail.

Plus particulièrement, nous remercions Dr.Roudane Mohammed et Dr. Ketfi Omar pour l'orientation, la confiance, la patience qui a constitué un apport considérable sans lequel ce travail n'aurait pas pu être menée à bon port. Que ces derniers trouvent dans ce travail un hommage vivant à leurs hautes personnalités.

Nos vifs remerciements vont également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail et de l'enrichir par leurs propositions.

Nos très cordiaux remerciements vont aussi à tous nos enseignants pour les efforts conjugués tout au long de notre formation.



**Dédicace**

Au nom d'ALLAH Le clément, Le miséricordieux, louange à ALLAH

Le tout puissant.

Je dédie ce mémoire à mes très chers parents à qui je dois tout ce travail

Qui est le fruit de leur amour, encouragement et sacrifices

A ma très chère mère et mon cher père

A mes chers frères et chères sœurs

A toute ma famille, en particulier mon cher oncle « Djamel, Nabil, et

Amine »

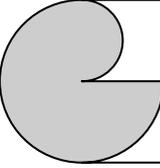
A mes meilleurs amis en particulier « Ahmed, Abdelhadi, Farid, Nabil

et Oussama »

A mon binôme «Zenkri Amel »

A promotion génie énergétique 2020

A toute personne ayant contribué à la réalisation de ce travail.



***Oussama***

### *Dédicace*

Je dédie ce travail tout particulièrement aux personnes qui sont les plus chères au monde ; Mes très chers parents « Hamid » et « Souad » qui m'ont soutenu et encouragé durant toute ma vie. Que dieu les garde.

Mes sœurs « Meriem, Zineb et Amina ».

Ma tante « Rafika » et mon oncle « Hakim » qui n'ont pas cessé de m'encourager et me soutenir.

Mon Binôme « Lebli Oussama ».

Tous mes amis, en particulier « Meriem et Fella ».

Toute la promotion sortante Génie énergétique 2020

*Amel*

# Table de matière

Résumé

Remerciements

Dédicaces

Liste des figures

Liste des tableaux

Nomenclature

Introduction Générale .....1

Recherche bibliographique .....3

## Chapitre I : Le confort Thermique

I.1. Introduction .....4

I.2. Les enjeux énergétiques ..... 5

I.2.1 La consommation d'énergie .....5

I.2.2 Energie et pollution .....7

I.2.3 L'effet de serre .....8

I.3 Isolation .....9

I.3.1 Les phénomènes à l'œuvre .....9

A. Pertes de chaleur .....10

B. Ponts thermiques .....10

C. Parois froides .....11

D. Condensation .....11

E. Le transfert de chaleur .....11

I.3.2 Les caractéristiques qui influencent pour un isolant thermique .....12

A. La conductivité thermique .....12

B. La résistance thermique .....12

C. La transmission thermique .....	13
D. La capacité thermique massique (ou chaleur spécifique) .....	13
E. La masse volumique .....	13
F. Inertie thermique .....	13
G. Déphasage thermique .....	13
H. Le facteur d'amortissement (exprimé en %) .....	14
<b>1.4 Le confort thermique dans les bâtiments .....</b>	<b>15</b>
1.4.1 Bilan thermique du corps humain .....	15
1.4.2 Indices empiriques de sensation thermique : le PMV et le PPD .....	17

## **CHAPITRE II : Familiarisation sur le principe de fonctionnement de système**

<b>II.1 Introduction .....</b>	<b>19</b>
<b>II.2 Climatisation solaire .....</b>	<b>19</b>
<b>II.3 Techniques basées sur la conversion photovoltaïque .....</b>	<b>22</b>
II.3.1 Systèmes à compression de vapeur .....	23
II.3.2 Techniques basées sur la conversion thermique.....	23
A. Capteurs solaires .....	24
B. Capteur plan vitré .....	24
C. Capteurs solaires sous vide .....	24
<b>II.4 Processus thermomécanique .....</b>	<b>25</b>
II.4.1 Cycle de Rankine (compression).....	25
II.4.2 Le cycle à jet de vapeur .....	26
<b>II.5 Processus thermodynamique .....</b>	<b>26</b>
A. Les systèmes fermés.....	26
B. Les systèmes ouverts.....	27
II.5.1 Les cycles a absorption .....	29

<b>II.6 Adsorption</b> .....	29
II.6.1 La dessiccation .....	29
<b>II.7 Stockage d'énergie solaire</b> .....	31
II.7.1 Ballon de stockage .....	31
<b>II.8 Aspects technologiques</b> .....	33
II.8.1 La roue à dessiccation- Principe d'adsorption .....	33
II.8.2 L'échangeur rotatif non-hygroscopique.....	34
II.8.3 Les matériaux dessiccants .....	34
A. Les adsorbants .....	35
B. Les charbons actifs.....	35
C. Les zéolites .....	35
D. Les gels de silice.....	36
II.8.4 Durée de vie des matériaux dessiccants .....	36
 <b>CHAPITRE III : Présentation du projet</b>	
<b>III.1 Introduction</b> .....	38
III.2 Localisation géographique.....	38
III.3 Description du pavillon 19.....	39
III.4 Zone climatique.....	41
III.5 Les déperditions calorifiques .....	41
III.6 Calcul du coefficient d'échange K.....	42
III.7 Résistance thermique d'une couche hétérogène .....	42
III.8 Application au projet.....	43
III.9 Les dimensions des murs .....	45
III.10 Conditions intérieures de base .....	49
III.10.1 Valeurs des conditions intérieures de base .....	49
<b>III.11 Calcul des gains</b> .....	50
III.11.1 Gains dus aux occupants.....	50

III.11.2 Gains dus à l'éclairage.....	50
III.11.3 Gains dus aux machines électriques.....	51
<b>III.12 Le confort thermique.....</b>	<b>52</b>
III.12.1 Facteur Vêtements.....	52
III.12.2 Taux métabolique.....	52
<b>CHAPITRE IV : Simulation et résultats</b>	
<b>IV.1 Description du logiciel TRNSYS.....</b>	<b>54</b>
<b>IV.2 Utilisation du logiciel TRNSYS.....</b>	<b>55</b>
<b>IV.3 TRNSYS Simulation Studio.....</b>	<b>55</b>
IV.3.1 Bibliothèque de composants.....	55
IV.3.2 TRNBuild.....	57
IV.3.3 Méteonorme.....	57
IV.3.4 Fonctionnement d'un module.....	58
<b>IV.4 Avantages du logiciel.....</b>	<b>59</b>
<b>IV.5 Inconvénients de logiciel.....</b>	<b>59</b>
<b>IV.6 Simulation et résultats.....</b>	<b>60</b>
IV.6.1 Gain occupant.....	60
IV.6.2 Gain éclairages artificielle et machines électriques.....	60
<b>IV.7 Réalisation le cycle de rafraîchissement à dessiccation solide.....</b>	<b>64</b>
A. Mode ventilation.....	65
A.1 Dimonsionnement de la boucle solaire.....	70
B. Mode recirculation.....	74
B.1 Dimonsionnement de la boucle solaire.....	79
<b>Conclusion.....</b>	<b>81</b>
<b>Conclusion général</b>	

## **Annexes**

## Liste des figures

Figure I.1 : L'évolution de la consommation énergétique mondiale entre 1990 et 2017.....	6
Figure I.2 : Production mondiale d'électricité par source en 2017.....	7
Figure I.3 : Mécanisme de l'effet de serre. Les échanges par rayonnement solaire sont en jaune, ceux par rayonnement infrarouge en rouge .....	8
Figure I.4: Evolution d'émission CO <sub>2</sub> total 1990-2017.....	9
Figure I.5 : schéma illustrant l'effet d'un pont thermique au niveau du plancher .....	10
Figure I.6 : Le phénomène de parois froides.....	11
Figure I.7 : Comportement thermique d'une enveloppe selon sa constitution. ....	14
Figure I.8 : Le facteur d'amortissement. ....	14
Figure I.9 : L'interaction thermique entre le corps humain et son environnement .....	17
Figure II.1 : Organigramme des différentes technologies de production de froid à partir de l'énergie solaire.....	20
Figure II.2 : Fonctionnement d'un climatiseur traditionnel .....	21
Figure II.3 : Schéma de Principe d'une photopile .....	22
Figure II.4 : Schéma de Principe d'une machine à compression de vapeur couplé à des panneaux PV .....	23
Figure II.5 : Descriptif d'un capteur plan.....	24
Figure II.6 : Descriptif d'un capteur à tube sous vide .....	25
Figure II.7 : Machine frigorifique couple à cycle de Rankine .....	26
Figure II.8 : Principe d'un système à absorption.....	28
Figure II.9 : Schéma de Principe d'une installation à dessiccation solide (mode de ventilation).....	30
Figure II.10 : Schéma de Principe d'une installation à dessiccation solide (mode de recirculation).....	31
Figure II.11 : Ballon eau chaude .....	32

Figure II.12 : Schéma de la technologie d'une roue a dessiccation.....	33
Figure II.13 : Photo d'un déshydrateur à adsorption de la marque "Ventsys fonctionnant selon le Principe de la roue dessicante .....	34
Figure III.1 : Localisation du pavillon de mécanique (Pav19).....	38
Figure III.2: Plan du 2 <sup>ème</sup> étage.....	40
Figure III.3: Déperditions dans les locaux d'habitation .....	41
Figure III.4 : Vue en coupe d'un Mur double cloison .....	43
Figure III.5: Vue en coupe d'un mur intérieur.....	44
Figure IV.1 : Figure Interface du logiciel TRNYS.....	55
Figure IV.2: Bibliothèque de modèles (component ou TYPE).....	56
Figure IV.3 : Interface du logiciel TRNBuild.....	57
Figure IV.4 : Fonctionnement d'un module.....	58
Figure IV.5 : exemple, 2 des 9 outputs du TYPE88 sont utilisés comme inputs au TYPE65d (online plotter).....	59
Figure IV.6 : TRNSYS studio projet (Besoin en climatisation).....	61
Figure IV.7 : Variation de la température pendant l'année.....	62
Figure IV.8 : Les besoins en climatisation en pendant l'année.....	63
Figure IV.9: Représentation de cycle dessiccation solaire TRNSYS (mode ventilation).....	65
Figure IV.10: La variation de la température et humidité absolue de lair de process en cas d'entrer et de sorite de la roue dessicante (mode ventilation).....	66
Figure IV.11: La variation de la température et humidité absolue de l'air de process en cas d'entrer et de sorite de la roue dessicatif pendant la période estivale (mode ventilation).....	67
Figure IV.12: Variation de la température des zones et régénération requise pendant l'année (mode ventilation).....	68
Figure IV.13 : Variation de la température des zones et régénération requise pendant la période estival (mode ventilation).....	69
Figure IV.14 : Les variations de température d'air de régénération assuré par l'échangeur pendant l'année(mode ventilation).....	71
Figure IV.15 : Les variations de température d'air de régénération assuré par l'échangeur pendant la période estivale (mode ventilation).....	72

Figure IV.16 : Représentation de cycle dessiccation solaire TRNSYS (mode recirculation).....	73
Figure IV.17 : La variation de la température et humidité absolue de l'air de process en cas d'entrer et de sortie dans la roue dessiccatif pendant l'année (mode recirculation).....	74
Figure IV.18 : La variation de la température et humidité absolue de l'air de process en cas d'entrée et sortie de la roue dessiccatif pendant la période estivale (Mode recirculation).....	75
Figure IV.19 : La variation de la température des zones et l'air de régénération pendant l'année. ....	76
Figure IV.20 : La variations de température d'air de régénération pendant la période estivale (mode recirculation).....	77
Figure IV.21 : La variations de température d'air de régénération pendant l'année (mode recirculation).....	78
Figure IV.22 : La Variation de la température d'air de régénération pendant la période estivale (mode recirculation).....	79

## Liste des tableaux

<b>Tableau II.1:</b> Les avantages et les inconvénients d'une climatisation solaire.....	21
<b>Tableau II.2:</b> Avantages et inconvénients qualitatifs.....	36
<b>Tableau III.1:</b> Les coordonnées géographiques.....	39
<b>Tableau III.2:</b> Conditions intérieurs de base .....	50
<b>Tableau III.3:</b> Gain du à l'éclairage.....	51
<b>Tableau III.4:</b> Apports calorifiques dus aux machines de bureau .....	51
<b>Tableau III.5:</b> Les ensembles vestimentaires courants .....	52
<b>Tableau III.6:</b> Le taux métabolique représente une production de chaleur en fonction du niveau d'activité .....	52
<b>Tableau IV.1:</b> Les résultats obtenu en 2 modes .....	80

## Nomenclature

<b>Symboles</b>	<b>signification</b>	<b>unité</b>
$\lambda$	Conductivité thermique	W/m.K
R	Résistance thermique	m <sup>2</sup> .K/W
U	Coefficient de transmission surfacique	W/m <sup>2</sup> .k
Cp	Chaleur spécifique	J/Kg.K
U <sub>w</sub>	Coefficient de transmission thermique	W/m <sup>2</sup> .k
M	Métabolisme	met
S	Surfaces de peau nue	S <sup>2</sup>
m	Masse de l'individu	Kg
h	Hauteur de l'individu	m
PPD	Pourcentage prévu d'insatisfaits	%
PMV	Vote moyen prédit	---
COP	Coefficient de performance	---
D	Déperdition thermique totales	W/°C
D <sub>R</sub>	Déperdition par renouvellement d'air	W/°C
D <sub>S</sub>	Déperdition surfacique à travers les parois	W/°C
D <sub>li</sub>	Déperdition à travers les liaisons	W/°C
D <sub>sol</sub>	Déperdition à travers les parois en contact avec le sol	W/°C
D <sub>Inc</sub>	Déperdition à travers les parois en contact avec Les locaux non chauffés	W/°C
Ri	Résistance thermique de la couche	m <sup>2</sup> .C/W
ei	Epaisseur de la couche de matériau	m

$Q_{soc}$	Gain sensible occupant	W
$Q_{loc}$	Gain latent occupant	W
n	Nombre d'occupant	---
$C_{soc}$	Chaleur sensible des occupants	W
$C_{loc}$	Chaleur latente des occupants	W
AI	Gain du à l'éclairage	W
$W_n$	Puissance nominale de l'ampoule	W
$C_{me}$	Coefficient de majoration	---
$C_{cr}$	Pourcentage de chaleur résiduelle	%
$m_p$	Débit de processus	Kg/s
$m_r$	Débit de régénération	Kg/s
VZ	Volume spécifique de la zone	Kg/h
Xv	Pourcentage de volume de la zone par rapport Le volume total d'étage	%
$C_{min}$	Le débit de capacité thermique massique minimale	KJ/h.K
$Q_{clim}$	Les besoins en climatisation	KJ/h
$C_{chaud}$	La capacité thermique à cote chaud de l'échangeur	KJ/hr.K
$C_{froid}$	La capacité thermique à cote chaud de l'échangeur	KJ/hr.K
$C_{pchaud}$	La chaleur spécifique de fluide chaud	KJ/kg.K
$C_{pfroid}$	La chaleur spécifique de fluide froid	KJ/kg.K
$Q_{echangeur}$	L'énergie transférée à travers l'échangeur de chaleur	KJ/h

# **Introduction générale**

## **Introduction générale :**

L'utilisation de l'énergie solaire pour produire du froid est une alternative attirante, puisque le maximum d'énergie solaire correspond généralement à celui des besoins en froid. Les technologies basées sur un processus de transformation thermodynamique sont actuellement les plus prometteuses, trois d'entre elles sont développées à un niveau commercial.

La technologie de froid solaire à dessiccation en cycle ouvert s'appuie sur l'utilisation du potentiel de changement de phase de l'eau pour refroidir l'air soufflé dans un local. Pour maximiser l'effet de la chaleur latente de vaporisation de l'eau, le flux d'air ventilé est d'abord desséché dans une roue à dessiccation nécessitant un flux d'air chauffé par des capteurs solaires (de 50 à 85°C). Ce système, appelé « desiccant cooling » ou cycle de Pennington.

Le système dessiccation est un cycle ouvert, ce qui signifie que les variations des conditions d'air (température et humidité) extérieur et intérieur influent fortement sur la puissance froide dégagée.

La hausse croissante des exigences des usagers vis-à-vis du confort thermique liée au probable dérèglement climatique à venir est l'un des enjeux de la recherche énergétique dans le domaine du bâtiment. La saison estivale ne peut plus être ignorée lors de l'étude thermique d'un bâtiment. Il est nécessaire de prendre en compte à la fois les besoins en chauffage et la limitation de la surchauffe en été.

Afin de limiter la demande en énergie pour les applications de climatisation, il est alors nécessaire de développer des techniques alternatives aux machines frigorifiques visant à réduire la consommation énergétique de ce poste et favorables à l'environnement.

Notre travail se base sur l'étude de la faisabilité d'un système de climatisation par dessiccation solide alimenté par l'énergie thermique du soleil sur le site d Blida, notre système est destiné à assurer la climatisation d'un étage du département de mécanique à l'université de Blida1.

Ce travail est présenté sous forme de quatre chapitres :

- un premier chapitre que décrivent les besoins de climatisation pour le confort thermique dans les bâtiments.

- Le second chapitre présente les différents systèmes de produire du froid avec l'énergie solaire.
- Pour le troisième chapitre, une description du projet avec présentation du site d'implantation sont la localisation géographique, description du pavillon 19, conditions intérieurs de base et calcul des apports.
- Le dernier chapitre présente la réalisation de cycle dessiccations solaire en 2 modes (ventilation et recirculation) par logiciels TRNSYS et comparaison des résultats.
- Finalement, une conclusion générale qui répond les objets de travail et résultats obtenus.

## Recherche bibliographique

Dans cette partie, on a réalisé un petit résumé de quelques principaux travaux réalisés dans l'application, l'étude le développement des technologies de climatisation solaires :

- En 2013 **Bennoui Mohamed Sallah [1]** a présenté une thèse de magistère sur l'optimisation des procédés de climatisation solaire pour la compatibilité des procédés de climatisation solaire étudiés avec le climat Algérien. Il a constaté que la solution utilisant le système à absorption est performante dans tous le climat algérien avec une légère supériorité dans le climat sec, cependant pour la solution à dessiccation solaire elle est très performante dans le climat sec, moyennement performante dans le climat modéré, et d'une qualité médiocre dans le climat humide, Une autre constatation est que l'environnement de simulation TRNSYS est un outil très performant grâce à sa prise en charge des bases de données météo ses modèles d'équipements précis et validés.
- En 2012 **Mohamed Ali Djebiret a [2]** présenté une thèse de Magister sur l'Etude de faisabilité d'un climatiseur solaire adapté à la région de Biskra, Algérie. Dans l'objectif de dresser l'état de l'art des technologies de production du froid solaire (climatisation et réfrigération) en mettant en évidence l'aspect technico-économique des différentes technologies, Comparer entre les performances et les coûts d'investissement des différentes technologies et présélectionner les meilleures techniques. et Etudier la faisabilité technico-économique d'un climatiseur solaire dans la région de Biskra par une description détaillée d'une future installation.
- En 2018 **Hamichi Meriem et Chabane Chauche Atika [3]** ont présenté une mémoire de master sur l'Etude et analyse thermodynamique de machine à absorption (NH<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O) afin de simuler le comportement d'une machine à absorption binaire avec un mélange ammoniac-eau grâce à un programme écrit en Fortran 90. Les paramètres thermodynamiques utilisés dans cette modélisation ont été tirés du diagramme Merkel et Oldham pour un mélange binaire.
- En 2012 **Fellah Ilyes et Djaidier Rafik [4]** ont présenté une mémoire de master sur l'Etude et conception d'un système de climatisation utilisant l'énergie solaire pour objectif le calcul d'une installation de climatisation par absorption fonctionnant à base solaire à partir d'une application développée en simulation numérique (logiciel TRNSYS).

- En 2013 **Grari Fatima** et **Guendouz Rafika** [5] ont présenté une mémoire de master sur l'étude comparative entre les systèmes de climatisation classique et solaire, application à la climatisation d'un immeuble, l'objectif de ce travail est de présenter une simulation d'une deux installations une installation de climatisation classique à machine absorption et une installation de rafraîchissement solaire à machine absorption dans le but d'optimisation de ses performances.
- **Leila Merabti et al.** [6] ont présenté un papier scientifique sur le rafraîchissement solaire par dessiccation. Le but de ce travail consiste en l'étude d'un système de rafraîchissement évaporatif par dessiccation couplé à une installation solaire, permettant ainsi de réduire la consommation électrique et utilisant une énergie propre et gratuite. Les résultats trouvés montrent que le système permet de contrôler l'humidité et fournit donc des conditions de confort acceptables, ce qui confirme qu'il est bien adapté pour des zones humides, telles que les villes côtières de notre pays.
- En 2014 **Belkessam Hafidh** [7] a présenté une thèse de magistère sur la contribution à la valorisation de l'utilisation de l'énergie solaire pour des besoins de climatisation et de conditionnement d'air. Le but de ce travail était de présenter la mise en place de la simulation d'une installation de rafraîchissement solaire d'une maison individuelle. Cette installation de rafraîchissement solaire a été simulée avec le logiciel TRNSYS 17, utilisant le modèle multizone (type 56).
- En 2013 **Hadj Abdelkader Meryem** et **Ben Zenine Fadéla** [8] ont fait un mémoire de master sur la modélisation des composants d'un système de rafraîchissement solaire à absorption. l'objectif de cette étude est de présenter une méthode pour évaluer les caractéristiques et les performances d'une machine a absorption simple effet, fonctionnant avec le mélange binaire bromure de lithium (absorbant) /eau (fluide frigorigène), la chaleur nécessaire et des équations de transfert de masse décrivant les propriétés des fluide actif sont spécifiées, ces équations sont utilisé dans un programme informatique MATLAB.

# **Chapitre I :**

## **Le confort Thermique**

## **I.1. Introduction :**

La possibilité de production de froid à partir de l'énergie solaire a été initiée par les développements technologiques dans la filière solaire. Les recherches dans ce domaine sont motivées par les besoins de climatisation pour le confort thermique dans les bâtiments. La croissance de cette demande, en particulier dans les régions chaudes impose de s'orienter vers de nouvelles solutions.

## **I.2. Les enjeux énergétiques :**

Il est important de rappeler le contexte énergétique général et sa problématique environnementale pour bien comprendre l'urgence de la mise en place d'une réelle politique d'économies d'énergie et de développement des énergies renouvelables. C'est dans ce cadre et dans cette dynamique que doit s'intégrer la démarche cherchant à rafraîchir les bâtiments. On sent donc poindre le fait que la climatisation solaire n'est pas une fin en soi mais, le cas échéant, l'ultime étape d'une démarche cohérente que nous détailleront plus en avant. [7]

### **I.2.1 La consommation d'énergie :**

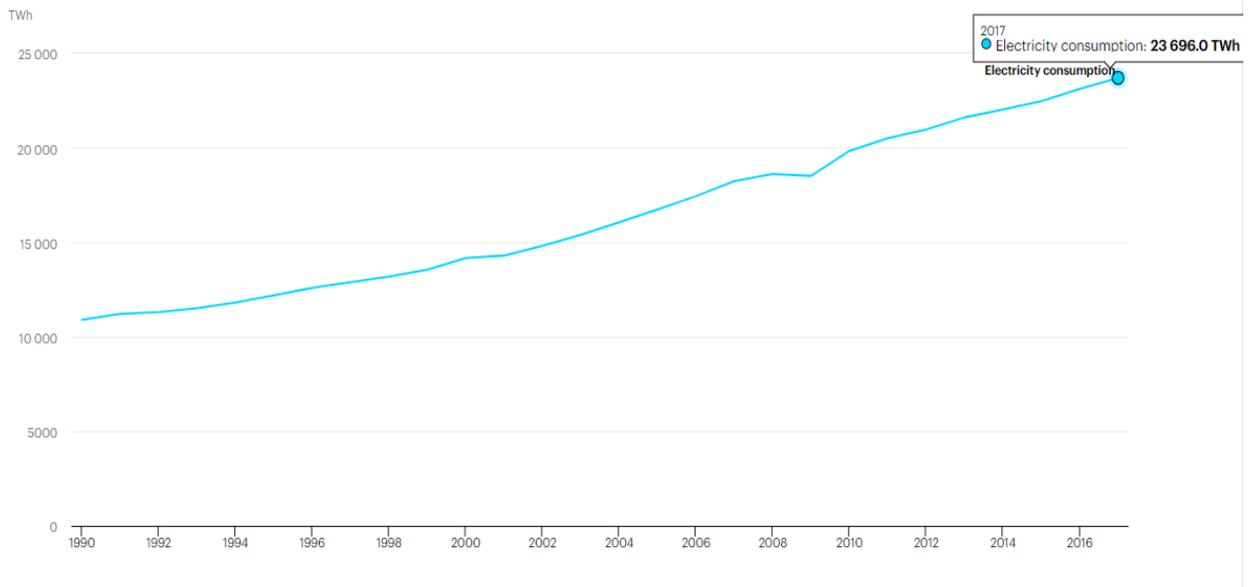
La consommation mondiale d'énergie est restée très longtemps stable lorsque l'homme n'utilisait l'énergie que pour sa survie et ses besoins alimentaires.

A partir de 1850 la révolution industrielle a provoqué une augmentation brutale des besoins en énergie. Celle-ci n'a cessé ensuite de croître de façon explosive sous l'effet conjoint de l'augmentation du niveau de vie et la croissance simultanée de la population.

L'Agence internationale de l'énergie (AIE) vient de publier ses dernières statistiques sur les tendances en matière de consommation et de production d'énergie dans le monde. Et les nouvelles ne sont pas bonnes.

En 2017, la consommation totale d'énergie dans le monde, sous forme d'énergies renouvelables, de produits pétroliers, de charbon, de gaz, de biomasse et de nucléaire, a augmenté de 2,1%. C'est nettement plus que les 0,9% de croissance mesurés en 2016 et que les 0,9% de croissance moyenne annuelle sur les cinq dernières années

Plus le monde se développe, plus il a besoin d'énergie. Il est donc logique qu'en période de croissance économique, la consommation augmente. [9]



**Figure I.1** : L'évolution de la consommation énergétique mondiale entre 1990 et 2017. [10]

L'Agence internationale de l'énergie estime que le nombre de climatiseurs dans le monde passerait de 1,6 milliard d'unités à 5,6 milliards d'ici 2050.

Tout d'abord, une part importante des climatiseurs vendus ou déjà installés dans le monde sont très énergivores.

Ils consomment beaucoup d'électricité, majoritairement produite à l'aide de charbon, dont l'exploitation est très émettrice en CO<sub>2</sub>. On s'attend à ce que cette augmentation soit particulièrement sensible dans les économies émergentes comme en Inde où la climatisation pourrait représenter 45 % de la demande de pointe en électricité en 2050, contre 10 % aujourd'hui.

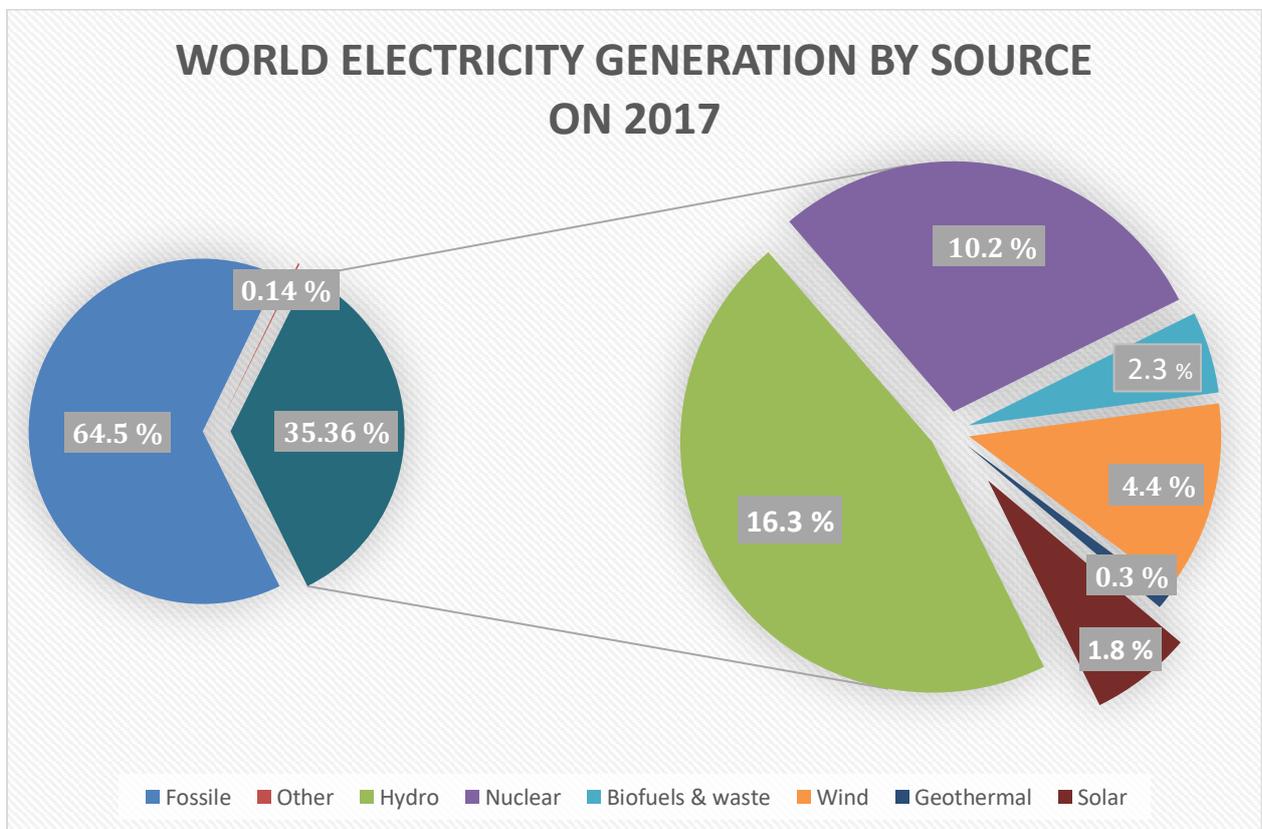
Il est également impératif que l'architecture s'adapte aux changements climatiques, pour le neuf (surtout en Asie) et pour l'existant (en Europe et Amérique du Nord). L'isolation et le choix des matériaux utilisés, mais aussi la possibilité de protéger les fenêtres contre le rayonnement solaire sont autant de solutions permettant de réduire fortement les besoins en climatisation. [11]

## I.2.2 Energie et pollution :

L'approvisionnement énergétique mondial a toujours été dominée par les combustibles fossiles, la consommation massif d'énergies fossiles est une des principales sources de la dégradation de l'environnement, et a de graves effets secondaires :

Les insultes résultant de l'utilisation du charbon et du pétrole en particulier entraînent un nombre croissant de maladies humaines et de perturbations des écosystèmes.

L'usage énorme de ces combustibles a déjà commencé à dérégler l'effet de serre, ce garant si fragile de notre survie. Ce dérèglement menace déjà notre climat. On 2017, 64.5 % de l'énergie primaire mondiale provient de combustibles fossiles selon les statistiques de IAE

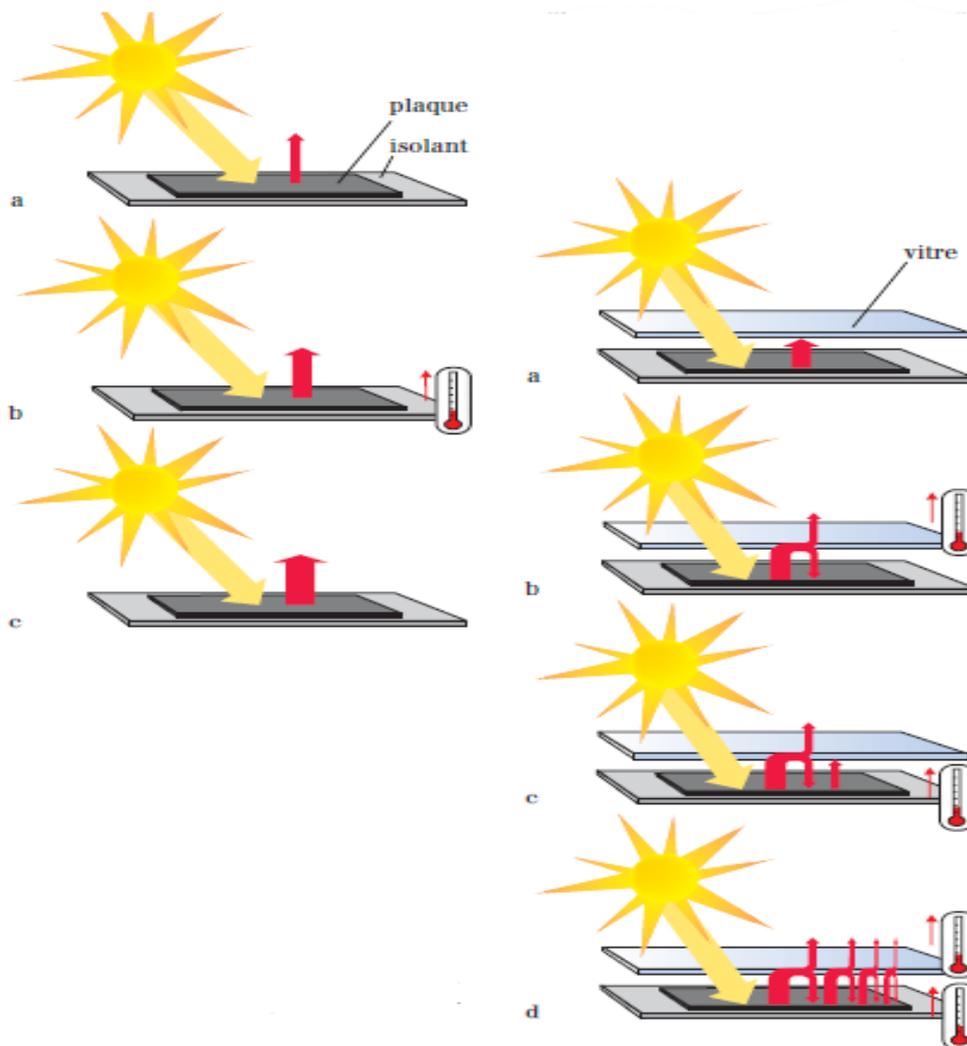


**Figure I.2 :** Production mondiale d'électricité par source en 2017. [10]

Les avantages environnementaux des énergies renouvelables sont assez clairs lorsque les énergies renouvelables remplace la production d'énergie conventionnelle à partir de combustibles fossiles, ces avantages peuvent être quantifiés en réduction des émissions directes dans l'atmosphère de CO<sub>2</sub> dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>), azote oxydes (NO<sub>x</sub>), particules et métaux lourds.

### I.2.3 L'effet de serre :

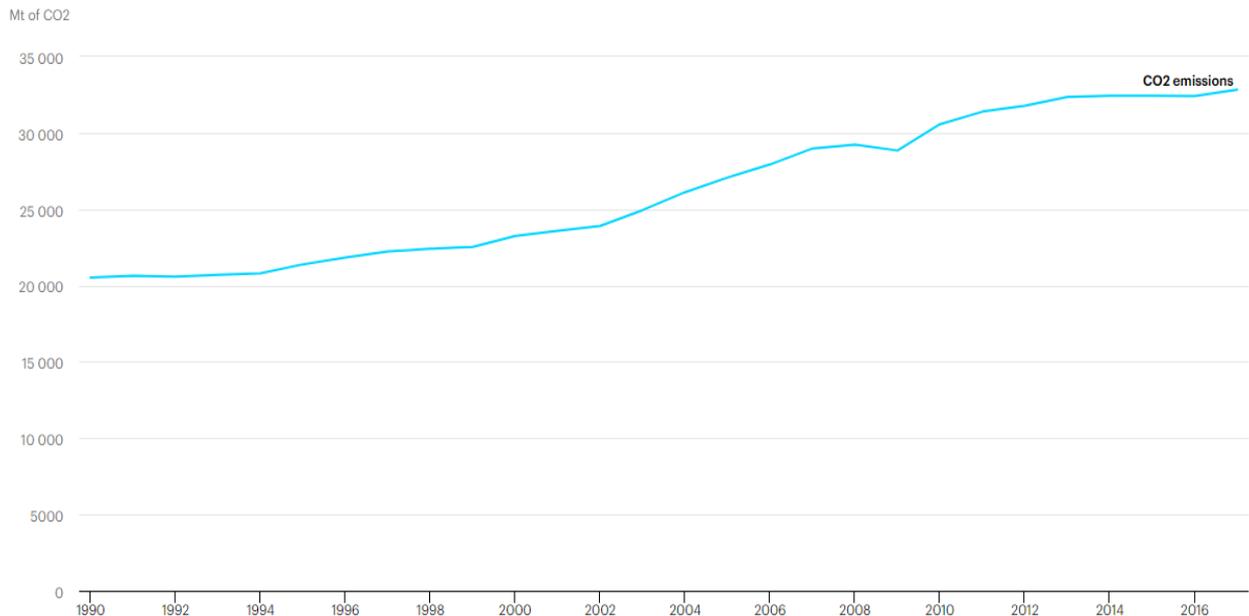
Dans l'atmosphère terrestre, les gaz à effet de serre jouent le rôle de la vitre de l'expérience suivante (Figure I.3). La vapeur d'eau ( $H_2O$ ) et le dioxyde de carbone ( $CO_2$ ) sont les deux principaux gaz à effet de serre. Par ciel clair, la vapeur d'eau est responsable de 60 % de l'effet de serre et le dioxyde de carbone de 26 %, le méthane ( $CH_4$ ), le protoxyde d'azote ( $N_2O$ ), l'ozone ( $O_3$ ) et d'autres gaz étant responsables des 14 % restants. L'ensemble de ces gaz à effet de serre constitue moins de 1 % de l'atmosphère.



**Figure I.3 :** Mécanisme de l'effet de serre. Les échanges par rayonnement solaire sont en jaune, ceux par rayonnement infrarouge en rouge.

Parallèlement à l'accroissement de la concentration en  $CO_2$  dans l'atmosphère, on observe une augmentation de la température moyenne de la surface de la Terre. Ce réchauffement est d'environ  $0,8\text{ }^{\circ}C$  sur cent cinquante ans, dont  $0,6\text{ }^{\circ}C$  sur les cinquante dernières années. Le

CO<sub>2</sub> étant un des principaux gaz à effet de serre, une augmentation de sa concentration renforce l'absorption du rayonnement infrarouge par l'atmosphère, ce qui a pour conséquence d'augmenter la température de surface. [12]



**Figure I.4 :** évolution d'émission CO<sub>2</sub> total 1990-2017. [10]

### **I.3 Isolation :**

C'est un procédé permettant d'éviter et de combattre les déperditions de chaleur. L'isolation désigne l'ensemble des techniques mises en œuvre pour limiter les transferts de chaleur extérieur d'envahir l'intérieur des bâtiments ou le sens inverse. L'isolation dans les bâtiments se consacre plus dans deux éléments essentiels, les parois et le vitrage.

L'un des défis les plus importants des futurs bâtiments est la réduction la consommation d'énergie dans toutes leurs phases de vie, de la construction à la démolition, le programme des Nations Unies (UN) pour l'environnement estime que les bâtiments consomment environ 40 % de l'énergie mondiale 25% de l'eau mondiale, 40% des ressources mondiales, les bâtiments sont également responsables d'environ 1/3 des émissions de gaz à effet de serre de la planète entière. Des valeurs similaires ont été observées dans des études réalisées par des agences officielles américaines et européennes. [13]

### I.3.1 Les phénomènes à l'œuvre : [14]

De nombreux phénomènes jouent si une isolation thermique n'est pas mise en place. Le but est notamment d'éviter quatre phénomènes :

#### A. Pertes de chaleur :

Que ce soient les sols, les plafonds, les toits ou les murs, il est nécessaire d'isoler toutes les parois en contact avec l'extérieur. Les demandes en isolation - et donc en résistance thermique - varient suivant la zone à isoler car les pertes énergétiques ne se répartissent pas de la même façon dans le bâtiment. Le but étant d'assurer une continuité de l'enveloppe isolante autour des pièces de vie.

#### B. Ponts thermiques :

Un pont thermique est un défaut d'isolation où il existe une discontinuité de l'enveloppe isolante continue entraînant d'importantes pertes thermiques. Un raccordement plancher-mur extérieur, une gaine de ventilation ou un cadre de fenêtre mal isolés en sont des exemples. Ces ponts thermiques doivent être traités car ils engendrent des pertes thermiques mais également un refroidissement des parois.

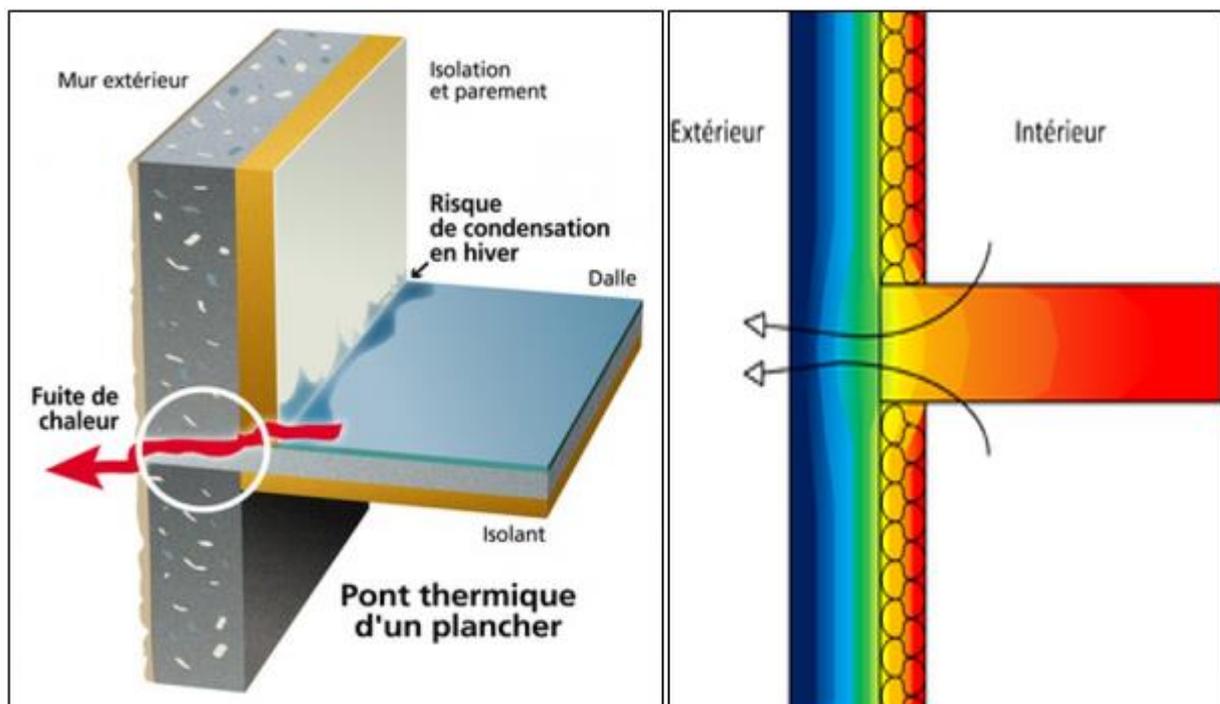


Figure I.5 : schéma illustrant l'effet d'un pont thermique au niveau du plancher.

### C. Parois froides :

Au sein d'une pièce, la température ressentie par un corps humain correspond à la moyenne entre la température de l'air de la pièce et la température de surface des parois l'entourant. A titre d'exemple, si dans une pièce à une température de 21°C les parois sont à une température de 13°C, la température résultante ressentie sera de 17°C. D'où une forte sensation d'inconfort thermique, qui se traduira par l'augmentation des apports en chauffage pour compenser ce déséquilibre. Bien isoler signifie donc augmenter la température des parois, ce qui permet ainsi de réduire sa facture énergétique. [14]

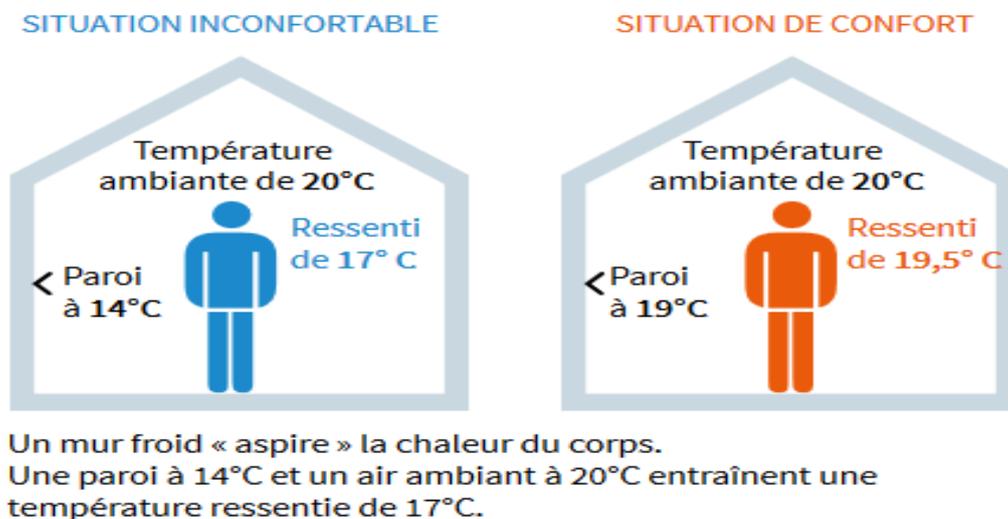


Figure I.6 : Le phénomène de paroi froid.

### D. Condensation :

La vapeur d'eau contenue dans l'air ou dans une paroi se condense à partir d'une certaine température pour un taux d'humidité donné. Si le taux d'humidité d'une pièce à 25°C est de 50% et que la température de la paroi est à 14°C, alors l'humidité va se condenser en surface sur le mur. Cette condensation va alors dégrader les matériaux de la paroi et provoquer des dangers sanitaires tels que moisissures et problèmes d'humidité. Si la paroi avait été à 20°C, il n'y aurait pas eu d'apparition de condensation.

### E. Le transfert de chaleur :

#### 1) Conduction :

C'est un mode de transfert thermique qui s'effectue par une simple interaction de molécules sans déplacement de matière. En présence d'une forte température, les molécules présentes dans la zone la plus chaude vibrent et se heurtent vivement entre elles. Elles transmettent alors

leur énergie aux molécules voisines qui à leur tour retransmettent cette énergie ; la chaleur est transmise.

## **2) Convection :**

On définit la convection comme un déplacement de chaleur au sein d'un fluide (eau, air) via un déplacement d'ensemble de molécules d'un point à un autre. En effet, quand un fluide est chauffé, il se dilate, devient plus léger et monte. Ce fluide est alors remplacé par un fluide plus froid qui est à son tour réchauffé : une convection naturelle se met alors en place. Si un apport extérieur permet d'accélérer cette transmission de chaleur, on parle alors de convection forcée.

## **3) Rayonnement :**

Ce processus de transmission d'énergie s'effectue via l'émission de rayonnements de la part d'un corps ou d'un objet en direction de son environnement. Ce transfert s'effectue entre deux surfaces séparées par de l'air ou du vide sans déplacement de molécules. Le cas le plus concret est le rayonnement du soleil à la surface de la terre. [15]

### **I.3.2 Les caractéristiques qui influencent pour un isolant thermique :**

#### **A. La conductivité thermique :**

La conductivité thermique traduit la propriété qu'ont les corps à transmettre la chaleur par conduction.

Elle correspond au flux de chaleur qui traverse en 1 seconde un matériau d'une surface de  $1\text{m}^2$  et de  $1\text{m}$  d'épaisseur pour un écart de température de  $1^\circ\text{C}$  entre les 2 faces. Elle est désignée par le coefficient  $\lambda$ , exprimé en  $(\text{W}/\text{m.K})$ .

Plus la conductivité thermique est faible, plus le matériau est isolant.

#### **B. La résistance thermique :**

La résistance thermique d'un matériau traduit sa capacité à résister à la transmission de chaleur. Elle dépend de l'épaisseur du matériau ( $e$ , en mètre) et de sa conductivité thermique ( $\lambda$ ) :  $R=e/\lambda$ , Elle est désignée par le coefficient  $R$  et exprimée en  $\text{m}^2.\text{K}/\text{W}$ .

La résistance thermique totale d'une paroi est égale à la somme des résistances thermiques de chacune des couches de matériau qui la constitue :  $R_{\text{parois}} = \sum R_{\text{matériau}}$

Plus la résistance thermique est élevée, plus la paroi considérée est Isolante.

### **C. La transmission thermique :**

Pour caractériser une paroi, on utilise aussi fréquemment le coefficient de transmission surfacique (U), qui est l'inverse de la résistance thermique (R) :  $U = 1/R$ .

Ce coefficient est exprimé en (W/m<sup>2</sup>.k).

Plus la valeur de U est faible, plus la paroi est performante thermiquement.

U est également utilisé pour quantifier la performance des vitrages (U<sub>g</sub>, g comme Glass), des menuiseries (U<sub>f</sub>, f comme Frame) et des fenêtres (Ensemble menuiserie et vitrage) (U<sub>w</sub>, w comme Windows).

### **D. La capacité thermique massique (ou chaleur spécifique) :**

C'est la capacité du matériau à emmagasiner la chaleur par rapport à son Poids. Elle caractérise la quantité de chaleur à apporter à 1 kg de matériau Pour élever sa température de 1°C. Elle est exprimée en J/ (Kg.k).

### **E. La masse volumique :**

La masse volumique ou densité d'un matériau est exprimée en Kg/m<sup>3</sup>. Il s'agit de la masse du matériau par unité de volume. D'une manière générale, les matériaux apportant de l'inertie possèdent une forte masse volumique.

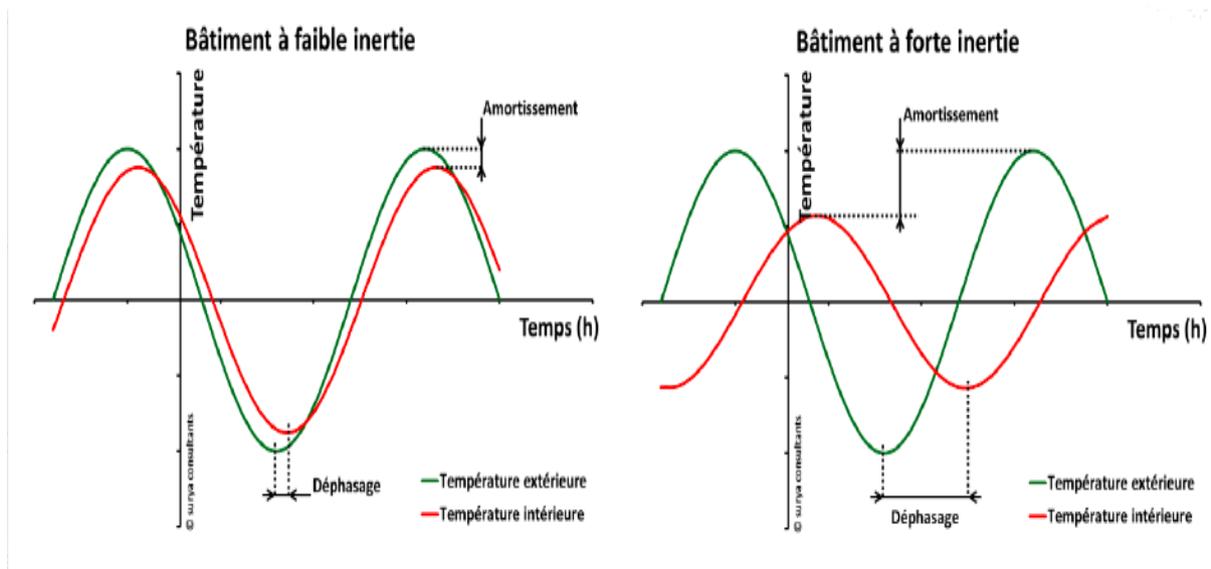
### **F. Inertie thermique :**

L'inertie thermique est la capacité d'un matériau à stocker de la chaleur ou de la fraîcheur. Cette caractéristique est particulièrement appréciée dans les combles aménagés.

L'inertie thermique prend en compte deux facteurs : le déphasage thermique et le facteur d'amortissement.

### **G. Déphasage thermique :**

Le déphasage thermique définit le temps que met un front de chaleur pour traverser une épaisseur donnée de matériau. Cette notion dynamique dépend également principalement de la masse volumique et de la capacité thermique massique du matériau. La prise en compte du déphasage thermique est notamment utile en été pour décaler au cœur de la nuit plus fraîche la pénétration de la chaleur reçue par les parois extérieures durant la journée. [16]

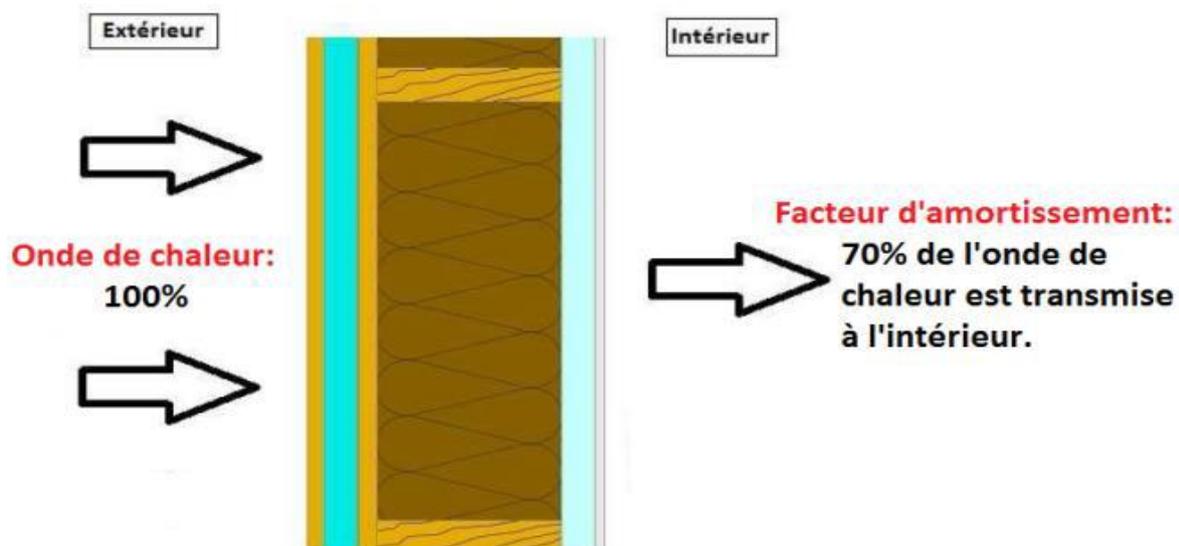


**Figure I.7 :** Comportement thermique d'une enveloppe selon sa constitution. [14]

### H. Le facteur d'amortissement (exprimé en %) :

Représente la différence de température entre le flux de chaleur entrant dans la paroi et le flux de chaleur sortant de la paroi.

Exemple : Avec un facteur d'amortissement de 30%, un flux de chaleur entrant à 30°C ressortira de la Paroi à environ 21°C (30% de 30°C = 9°C, 30°C – 9°C = 21°C).



**Figure I.8 :** le facteur d'amortissement. [14]

## **I.4 Le confort thermique dans les bâtiments :**

La définition du confort thermique dans les bâtiments est importante non seulement pour la qualité des ambiances intérieures, mais aussi pour la quantité d'énergie à fournir par les équipements d'ambiance quel que soit l'environnement dans lequel il se trouve, l'homme est une machine thermique qui doit maintenir sa température interne la plus constante possible grâce à des mécanismes de thermorégulation physiologique qui lui permettent de maintenir un bilan thermique équilibré. Ainsi, à partir de ces réactions physiologiques perçues puis interprétées de façon subjective en faisant intervenir ses préférences psycho-socioaffectives individuelles, l'homme essaie de limiter l'amplitude des sensations de désagrément en développant des processus de régulation comportementale et adaptative .

Le confort thermique a été le sujet de nombreux travaux de recherche. Ils ne concernent pas uniquement les bâtiments, mais aussi les moyens de transport (voitures, avions) ou les lieux de travail sous des conditions extrêmes. En ce qui concerne les bâtiments, le domaine de recherche sur le confort thermique est partagé entre deux approches. La première étudie le confort thermique d'une façon analytique. Elle n'est pas restreinte aux bâtiments. La deuxième approche, basée sur l'incapacité de l'approche analytique à représenter la réalité du confort thermique dans les bâtiments, est l'approche adaptative.

### **I.4.1 Bilan thermique du corps humain : [17] [18]**

- **La conduction (K) :** est un mode de transfert de chaleur par contact direct entre le corps et une surface à température différente
- **La convection thermique (C) :** est un échange de chaleur entre la surface du corps et l'air ambiant
- **Le rayonnement (R) :** correspond aux échanges radiatifs entre la surface du corps et les parois qui l'entourent. Il s'effectue par propagation d'ondes électromagnétiques et dépend des températures de surface de chaque paroi
- **L'évaporation cutanée (E) :** est un échange de chaleur latente dû à l'évaporation de l'eau à la surface de la peau. C'est le moyen le plus efficace du corps humain pour évacuer la chaleur en ambiance chaude. La quantité d'eau à évacuer est déterminée par le système de régulation physiologique et dépend essentiellement de la pression de vapeur dans l'air et de sa vitesse.
- **Les échanges de chaleur par voie respiratoire (R) :** s'effectuent à la fois par voie sensible (convection) et latente (évaporation), c'est-à-dire qu'il y a non seulement un

transfert de chaleur mais également de masse. Ce phénomène est régi par la différence de température et de pression entre l'air expiré et l'air ambiant. Cet échange est faible et dépend essentiellement de l'activité.

- **Le métabolisme (M)** : est l'énergie thermique produite par le corps humain. Il permet la production de chaleur indispensable aux fonctions vitales et dépend de la physiologie de l'individu (poids, taille, âge, sexe), de son activité et de l'ingestion de nourriture. La puissance thermique dégagée par le corps en fonction de son activité s'exprime en **met** où 1 met = 58 W/m<sup>2</sup> de surface corporelle, correspondant à celle d'un homme « standard » assis au repos (le sommeil requiert 0,7 met tandis que jouer au basket requiert 5 à 8 met).
- **La surface corporelle (ADU)** : se calcule en fonction du poids (P) et de la taille (H) de l'individu :

$$AD=0,2025 m^{0,425} h^{0,725} \quad (I.1)$$

**S** : Surface de peau nue d'un individu (m<sup>2</sup>)

**m** : Masse de l'individu (kg)

**h** : Hauteur de l'individu (m)

L'habillement est un moyen de lutte contre les échanges de chaleur entre la surface de la peau et l'environnement. Il est considéré comme une résistance thermique permettant de limiter ces transferts de chaleur. L'unité de cette résistance est le clo, où 1 clo = 0,155 W/m<sup>2</sup>/K, correspondant à une tenue classique d'hiver.

Le bilan thermique entre l'homme et son environnement est établi comme suit :

$$S=M \pm W \pm R \pm C \pm K - \text{Evap} - \text{Resp} \quad (I.2)$$

**S** : la charge thermique calculée en fonction des variables de l'ambiance (température d'air, de rayonnement, vitesse d'air et humidité) et celles de l'individu (métabolisme, habillement).

Si celle-ci est nulle, l'individu est en situation d'équilibre thermique. Si cet équilibre est atteint avec peu de réactions physiologiques, le corps est à la thermo neutralité : le confort est alors possible. Dans le cas contraire, la thermorégulation physiologique puis comportementale se met en marche.

**M** : l'énergie reliée au métabolisme

**W** : le travail mécanique extérieur fourni par le corps, il est généralement pris égal à zéro

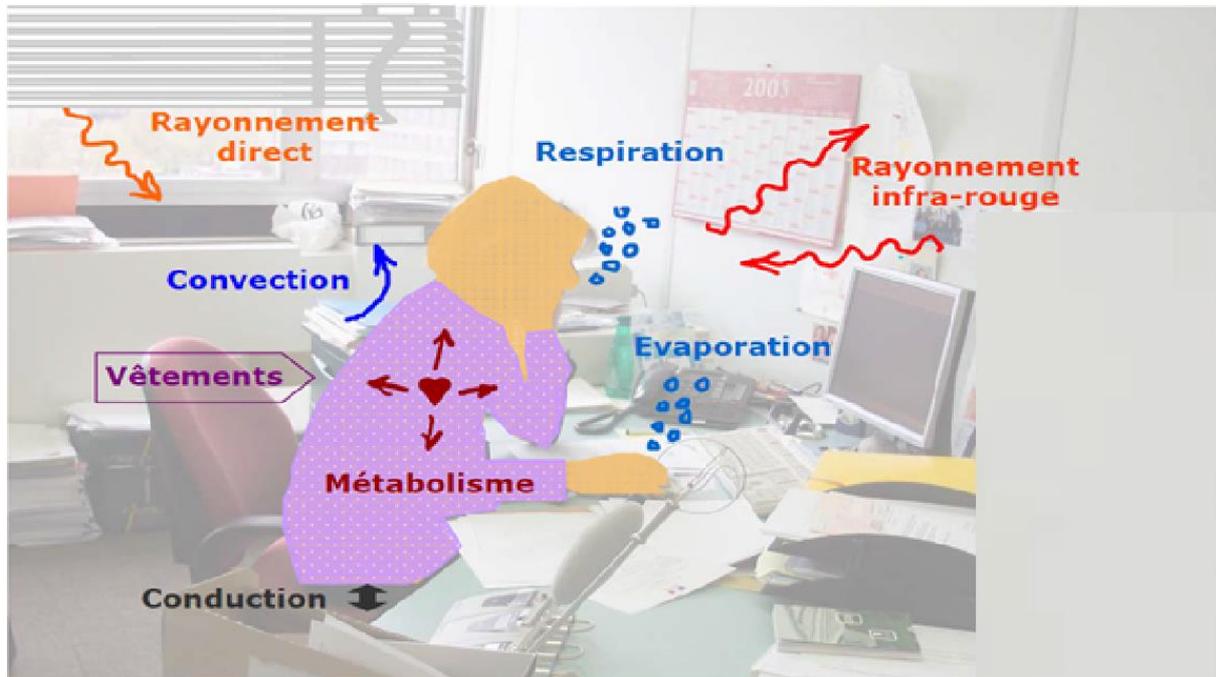
**Evap** : l'énergie reliée à l'évaporation cutanée

**Resp** : les échanges de chaleur par voie respiratoire

**K** : l'énergie transféré par conduction thermique

C : l'énergie transféré par convection thermique

R : les échanges de chaleur par le rayonnement.



**Figure I.9** : l'interaction thermique entre le corps humain et son environnement

#### **I.4.2 Indices empiriques de sensation thermique, le PMV et le PPD :**

Le bilan thermique très simplifié présenté ci-dessus a permis de développer les indices internationalement reconnus pour qualifier une ambiance : PMV (Predicted Mean Vote) et PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied), fournis par les normes ISO 7730 (1994), et développés dans les années 1970 par Fanger.

Leurs expressions sont les suivantes :

$$PMV = (0,303 \cdot \exp(-0,036 \cdot M) + 0,028) \cdot S \quad (I.3)$$

$$PPD = 100 - 95 \cdot \exp[-(0,03353 \cdot PMV^4 + 0,2179 \cdot PMV^2)] \quad (I.4)$$

Le PMV donne des valeurs comprises entre -3 (froid) et 3 (chaud). Le PPD, quant à lui, représente le pourcentage de personnes non satisfaites. Pour des valeurs du PMV comprises entre -0,5 et 0,5, le PPD est inférieur à 10 %, ce qui correspond à des situations acceptables. Ces relations ont été établies statistiquement à partir d'études expérimentales auprès de 1300 sujets en chambre climatique. Sa principale limite réside dans le fait qu'il a été déterminé en

conditions homogènes et stationnaires, représentant des conditions théoriques rarement rencontrées en réalité dans les bâtiments. [19].

**Chapitre II :**

**Familiarisation sur le**  
**Principe de fonctionnement**  
**Du système.**

### **II.1 Introduction :**

Le rafraîchissement évaporatif par dessiccation couplé avec l'énergie solaire correspond à une alternative propre par rapport aux climatiseurs traditionnels.

Ce système, appelé aussi « Desiccant cooling » ou « cycle de pennington », permet de rafraîchir l'air insufflé dans un local, en abaissant sa température et son humidité absolue.

A cet effet, des transferts de chaleur et d'humidité sont mis en jeu dans la centrale d'air grâce à deux roues échangeuses l'une de chaleur et l'autre d'humidité. Cette dernière contient un matériau dessicant qui doit être régénéré grâce à un apport de chaleur extérieur nécessitant le recours à une énergie conventionnelle.

Compte tenu des niveaux de température requis relativement modérés (40 à 70°C), il semble intéressant d'avoir recours à l'énergie solaire pour régénérer le matériau.

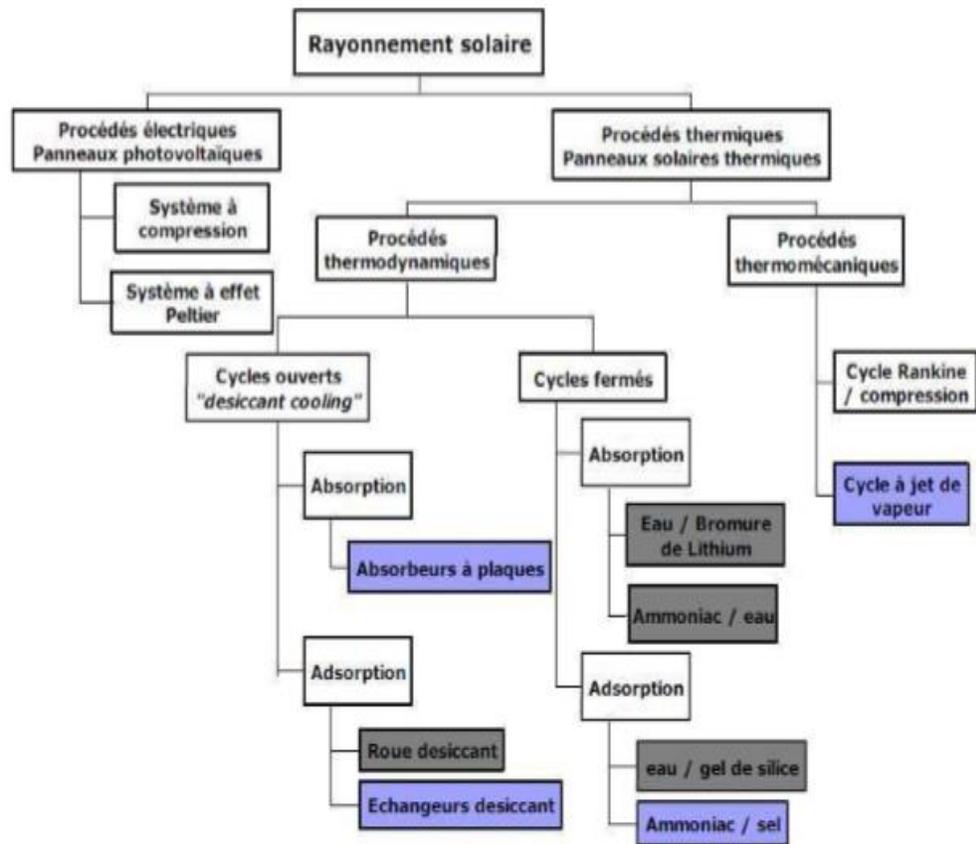
Ce système présente l'avantage de consommer peu d'énergie électrique, par comparaison avec un système de climatisation classique par groupe frigorifique à compression, et de ne pas utiliser de fluide frigorifique présentant des dangers vis à vis de l'effet de serre et de la couche d'ozone.

Ce système offre son potentiel le plus important les jours de fort ensoleillement lorsque la demande est la plus importante.

### **II.2 Climatisation solaire :**

Utiliser l'énergie solaire pour produire du froid peut revêtir plusieurs aspects mais l'objectif final est toujours de limiter l'utilisation d'une climatisation classique réputée pour ses impacts négatifs sur l'environnement.

D'un point de vue théorique et fondamental, Il existe de très nombreuses manières de produire du froid avec l'énergie solaire, toute les techniques utilisées son listées dans la figure (II.1), en bleu les technologies actuellement en test à l'échelle réelle, et gris les technologies commercialement disponibles. [20]

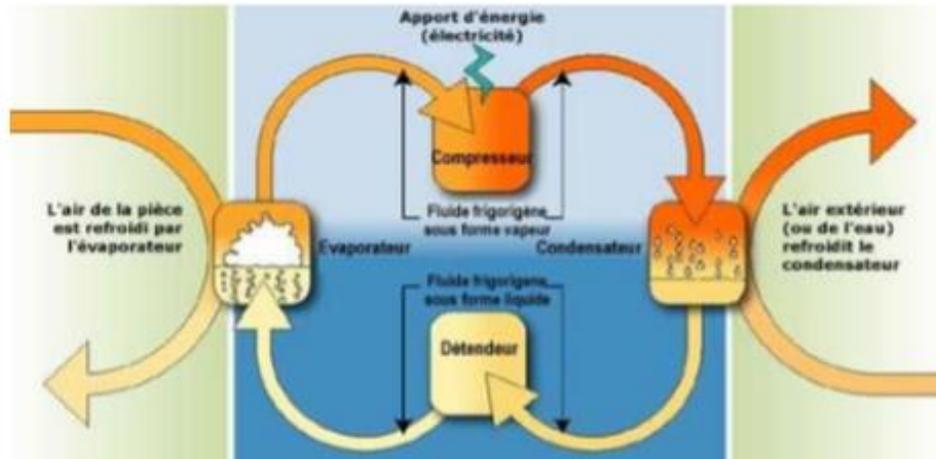


**Figure II.1** : Organigramme des différentes technologies de production de froid à partir de l'énergie solaire.

Un climatiseur traditionnel produit du froid en comprimant un fluide dit (frigorigène) ou (réfrigérant) qui a la capacité d'absorber de grosse quantité de chaleur (calorie) lorsqu'il passe de sa phase liquide à sa phase gazeuse au niveau de l'évaporateur figure II.2.

Un climatiseur consomme par conséquent de l'électricité pour actionner le compresseur et du fluide frigorigène. En effet, bien qu'il soit en circuit fermé, les fuites de fluide ne sont pas rares.

[7]



**Figure II.2 :** Fonctionnement d'un climatiseur traditionnel

**Tableau II.1:** Les avantages et les inconvénients d'une climatisation solaire. [21]

Avantages	Inconvénients
<p>1-réduction de votre consommation énergétique pour faire fonctionner le climatiseur.</p> <p>2- fonctionnement silencieux</p> <p>3-solution 100 % propre et respectueuse de l'environnement.</p> <p>4-utilisation d'une énergie gratuite et propre : le soleil</p> <p>5-réduction des émissions de CO2</p> <p>6-utilisation de fluides frigorigènes non polluants</p> <p>7-réduction de la nécessité du stockage d'énergie grâce à une offre qui coïncide avec la demande (plus le soleil chauffe, plus il produit de l'énergie pour alimenter le climatiseur)</p> <p>8-convient principalement à l'usage du</p>	<p>1-type de climatisation qui ne fonctionne pas la nuit lorsqu'il n'y a pas de soleil, puisque les modèles ne sont pas encore équipés de capacité de stockage</p> <p>2- le bioclimatique convient donc mieux pour les maisons individuelles que la climatisation solaire</p> <p>3-prix d'investissement élevé</p> <p>4-installation complexe :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• étude d'exposition pour trouver le meilleur placement des panneaux solaires sur le toit,</li> <li>• renforcement de la charpente,</li> <li>• pose des panneaux solaires, etc.</li> </ul>

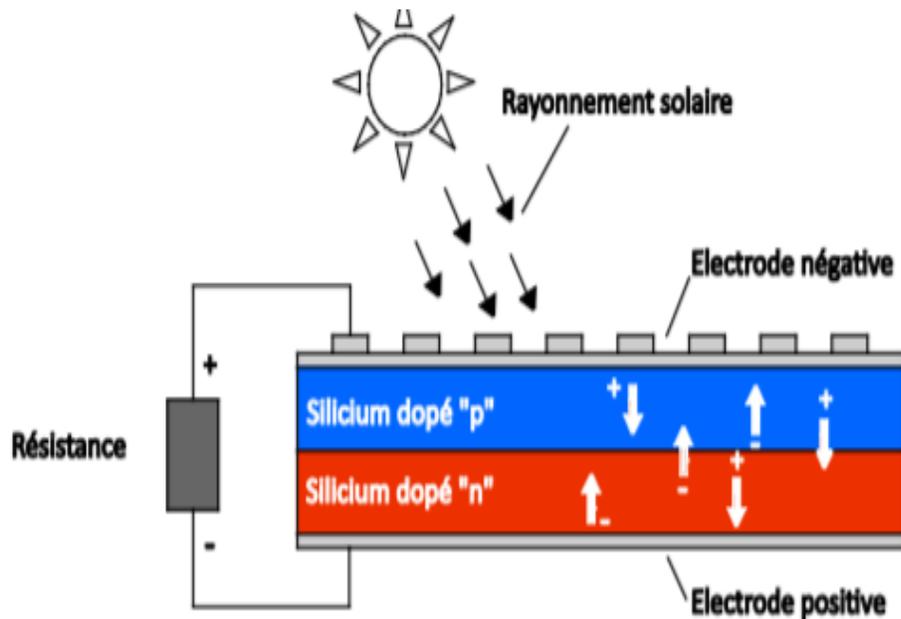
tertiaire (entreprises, collectivités, etc.)	
9-longue durée de vie (25 ans)	

### II.3 Techniques basées sur la conversion photovoltaïque :

Les capteurs solaires (ou cellules) photovoltaïques (PV) sont capables de convertir directement le rayonnement solaire en énergie électrique.

Les particules de lumière viennent heurter les électrons du matériau semi-conducteur de la photopile et lui transmettent leur énergie (figure II-3).

Le matériau semi-conducteur généralement utilisé est le silicium traité qui assure la fonction d'une diode et donc oriente la circulation de tous les électrons dans le même sens faisant apparaître une tension à ses bornes en présence de lumière.

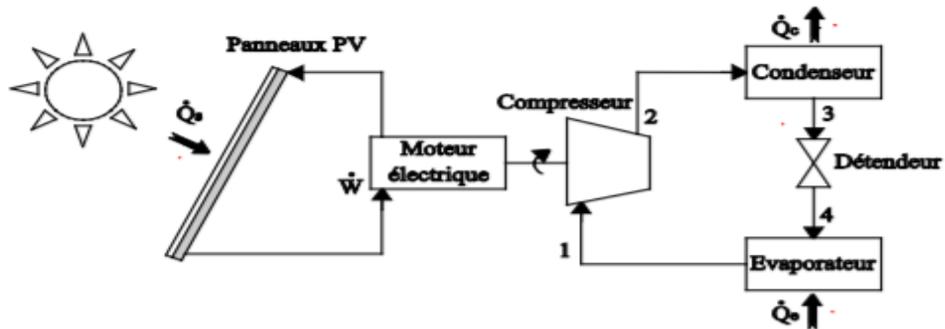


**FigureII.3 :** Schéma de Principe d'une photopile

Ces capteurs solaires PV peuvent être couplés à des systèmes de production de froid utilisant l'énergie électrique comme les systèmes à compression mécanique de vapeur.

On trouve deux types, de systèmes de réfrigération solaire basés sur l'emploi des panneaux photovoltaïques : i) Systèmes à compression de vapeur et ii) Systèmes à effet Peltier. [22]

### II.3.1 Systèmes à compression de vapeur :



**Figure II.4 :** Schéma de Principe d'une machine à compression de vapeur couplé à des panneaux PV

La figure II.4 présente le schéma de principe du couplage des panneaux PV à une machine frigorifique classique à compression de vapeur et le cycle thermodynamique correspondant.

Sur la figure II.4, on constate que le champion de panneaux PV sert à alimenter en électricité le moteur électrique du compresseur de la machine frigorifique à compression de vapeur.

Ce compresseur est chargé de comprimer une vapeur issue de l'évaporateur (1) à une pression et une température élevées. Cette vapeur arrive dans le condenseur (2) et cède de la chaleur à la source chaude (l'environnement extérieur) en se condensant. A la sortie du condenseur, le fluide frigorigène est à l'état liquide à haute pression puis il subit ensuite une détente isenthalpique qui fait chuter sa pression et sa température et se transforme en mélange de liquide et de vapeur (3). Il entre ensuite dans l'évaporateur à une température plus faible que la source froide (le milieu à rafraîchir) où il s'évapore en captant la chaleur de cette source. A la sortie de l'évaporateur (1) le fluide frigorigène est de nouveau à l'état vapeur avant d'être aspiré par le compresseur pour un nouveau cycle. [22]

### II.3.2 Techniques basées sur la conversion thermique :

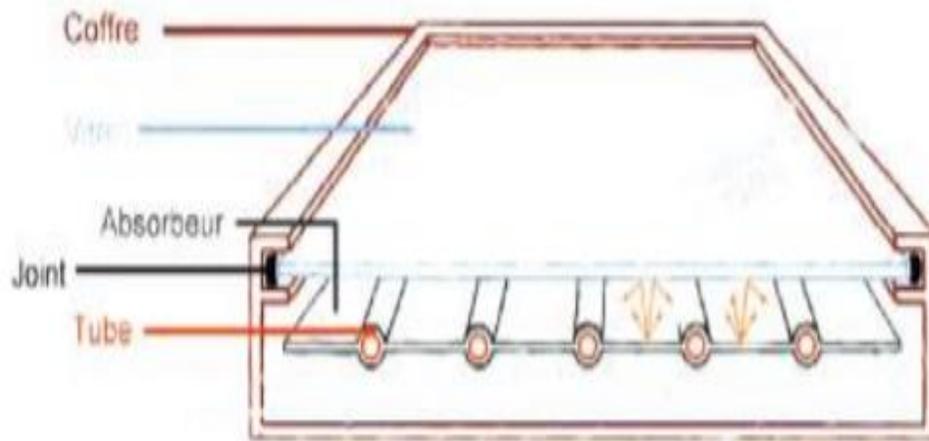
Les systèmes solaires thermiques utilisent la chaleur solaire plutôt que l'électricité solaire pour produire le froid. Dans ces systèmes, les capteurs solaires utilisés sont généralement de types capteurs plans. De même, on peut trouver dans la littérature d'autres formes de capteurs tels que la forme cylindro-parabolique. Nous résumons dans ce qui suit les capteurs solaires dont on aura besoin dans les techniques de production de froid solaire par conversion thermique. [7]

### A. Capteurs solaires:

Il existe toute une gamme de capteurs solaires qui permettent de répondre à différentes nécessités. Dans notre cas, il faut choisir le type de capteur qui donne le niveau de température exigé pour le fonctionnement de l'installation. Bien que, plus le niveau de température est élevé, plus les technologies mises en œuvre sont évoluées et plus le coût de production est élevé. [23]

### B. Capteur plan vitré :

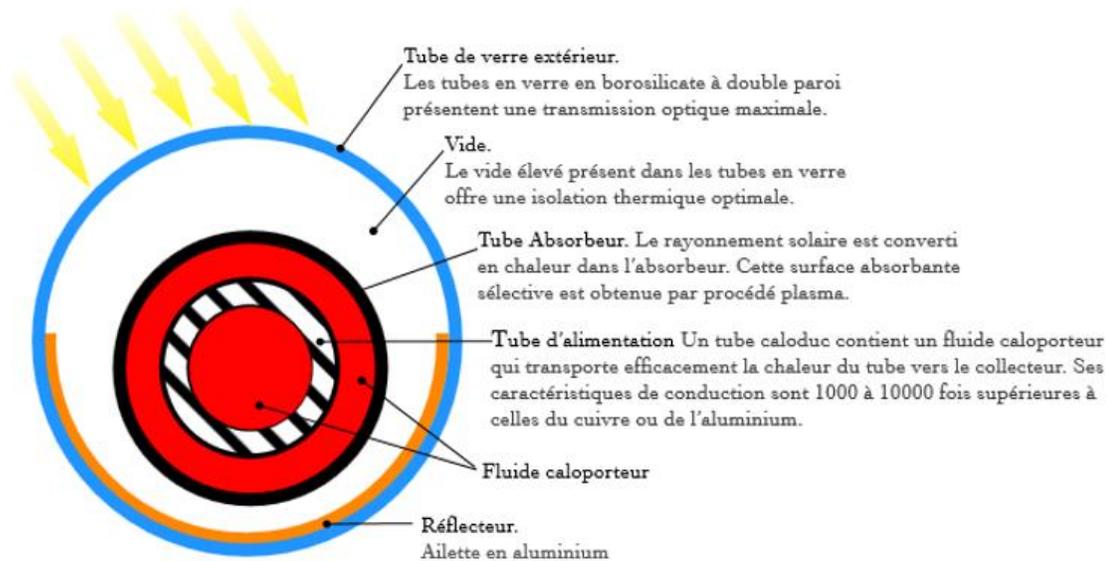
Le capteur plan est un caisson isolé porteur en avant d'une surface vitrée. L'intérieur du caisson comprend l'absorbeur de chaleur. Cet absorbeur, de surface presque égale à la surface vitrée, est constitué d'une âme métallique pourvue d'un revêtement sombre qui maximise l'absorption du rayonnement solaire. La restitution de l'énergie captée se fait par passage d'un liquide caloporteur au contact de la surface métallique. [23]



**FigureII.5 :** Descriptif d'un capteur plan.

### C. Capteurs solaires sous vide:

Le capteur sous vide est constitué d'une série de tubes de verre sous vide à l'intérieur desquels se trouve un absorbeur avec un circuit hydraulique, qui capte l'énergie solaire et la transfère au fluide caloporteur. Grâce aux propriétés isolantes du vide les déperditions de chaleur sont faibles. Ainsi, on peut obtenir des gains de température de 100°C et plus.



**Figure II.6 :** Descriptif d'un capteur à tube sous vide

Un capteur solaire "sous vide" est composé d'une série de tubes transparents en verre de 5 à 15 cm de diamètre. Dans chaque tube il y a un absorbeur pour capter le rayonnement solaire et un échangeur pour permettre le transfert de l'énergie thermique. Les tubes sont mis sous vide pour éviter les déperditions thermiques convectives de l'absorbeur.

De plus, l'absorbeur reçoit un traitement sélectif pour empêcher le rayonnement. [23]

### **II.4 Processus thermomécanique :**

#### **II.4.1 Cycle de Rankine (compression) :**

Le cycle de Rankine est un cycle thermodynamique dont la source de chaleur externe est transmise à une boucle fermée qui contient un fluide. Ce dernier actionne une turbine produisant de l'électricité utilisée dans un cycle classique à compression. Ce cycle est très utilisé dans l'industrie. Il tient son nom de William John Macquorn Rankine. Le système solaire Rankine a été étudié dans les années 1970 et 1980. Prigmore et Barber (1975) ont conçu un réfrigérateur d'eau suivant un cycle de Rankine. Le réfrigérateur est basé sur le R-113 pour fournir un couple rotatif sur un arbre de turbine avec un rendement de 11.5% ou la température de l'eau de capteurs solaires est de 101.7°C. Ainsi et pour un rendement de panneau solaire de 50%, le passage des rayons de soleil au couple rotatif sera réalisé avec un rendement de 5.8% (soit le produit  $0.5 * 0.115$ ). [7]

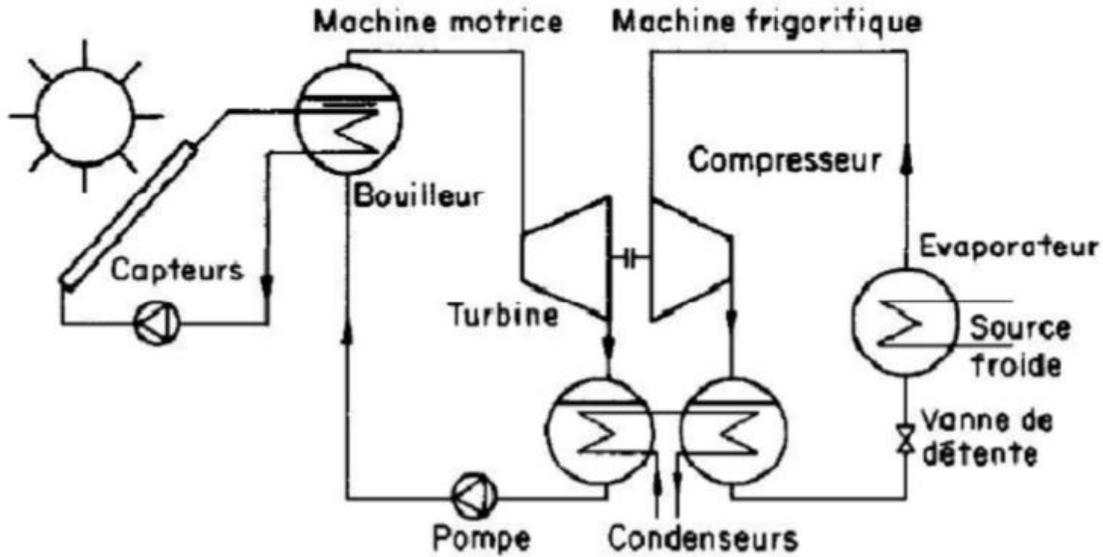


Figure II.7 : Machine frigorifique couplée à cycle de Rankine

### II.4.2 Le cycle à jet de vapeur :

La chaleur est utilisée pour produire un jet de vapeur à très grande vitesse. Ce jet provoque dans son entourage un vide puissant qui permet de vaporiser de l'eau à faible température dans l'évaporateur et de refroidir l'ambiance. La vapeur ainsi créée rejoint en suite le flux primaire "moteur" et est refroidie dans le condenseur. Cette technique est encore au stade de recherche notamment pour le cas du soleil comme source de chaleur. [7]

### II.5 Processus thermodynamique :

**A. Les systèmes fermés :** Dans les systèmes fermés, un groupe de production de froid à sorption produit de l'eau glacée. Dans le cas d'absorption, l'absorbant est liquide et dans la plupart des cas il s'agit du couple Eau/LiBr. Quant à l'adsorption, l'adsorbant est solide et il s'agit en général du couple gel silica/eau ou zéolithe/eau. Si la machine de sorption est entraînée par l'énergie solaire, celle-ci doit fournir au minimum 10% à 55% de l'énergie totale consommée pour pouvoir obtenir des résultats comparables à la production du froid par compression.

**B-Les systèmes ouverts :** Les systèmes ouverts à dessiccation, quant à eux, sont des systèmes dans lesquels l'eau est en contact direct avec l'air. En effet, l'air est d'abord déshumidifié par un absorbant ou un adsorbant et ensuite refroidi grâce à l'évaporation de l'eau. Ces systèmes sont particulièrement recommandés lorsque la fourniture d'air frais est le critère primordial, le confort venant seulement après. [8]

### II.5.1 Les cycles à absorption :

Comme dans les réfrigérateurs à compression, un réfrigérant s'évapore à basse température et à basse pression. Le réfrigérant soustrait de la chaleur et produit ainsi l'effet frigorifique souhaité.

La climatisation solaire à « *absorption* » utilise l'énergie thermique du soleil dans un dispositif à circuit fermé qui utilise comme particularité de produire de l'eau froide. Ce procédé utilise un moyen de sorption liquide, de l'eau à laquelle a été ajouté du bromure de lithium ou de l'ammoniac.

Il permet d'atteindre des puissances disponibles de 35 à 15 000 KW. [4]

- **Principe de fonctionnement :**

Le processus se compose de deux cycles liés entre eux : le cycle réfrigérant et le cycle solvant.

Le réfrigérant à l'état gazeux venant de l'évaporateur est absorbé dans l'absorbeur (1) par le solvant. La solution liquide est, à partir de ce moment, riche en réfrigérant. Elle est portée à un niveau de pression plus élevée par une pompe (2) dans le bouilleur (3). Ici, le réfrigérant est « chassé », par un apport de chaleur venant des capteurs solaires, jusqu'au condenseur (4), puis il est détendu et amené à nouveau dans l'évaporateur (5).

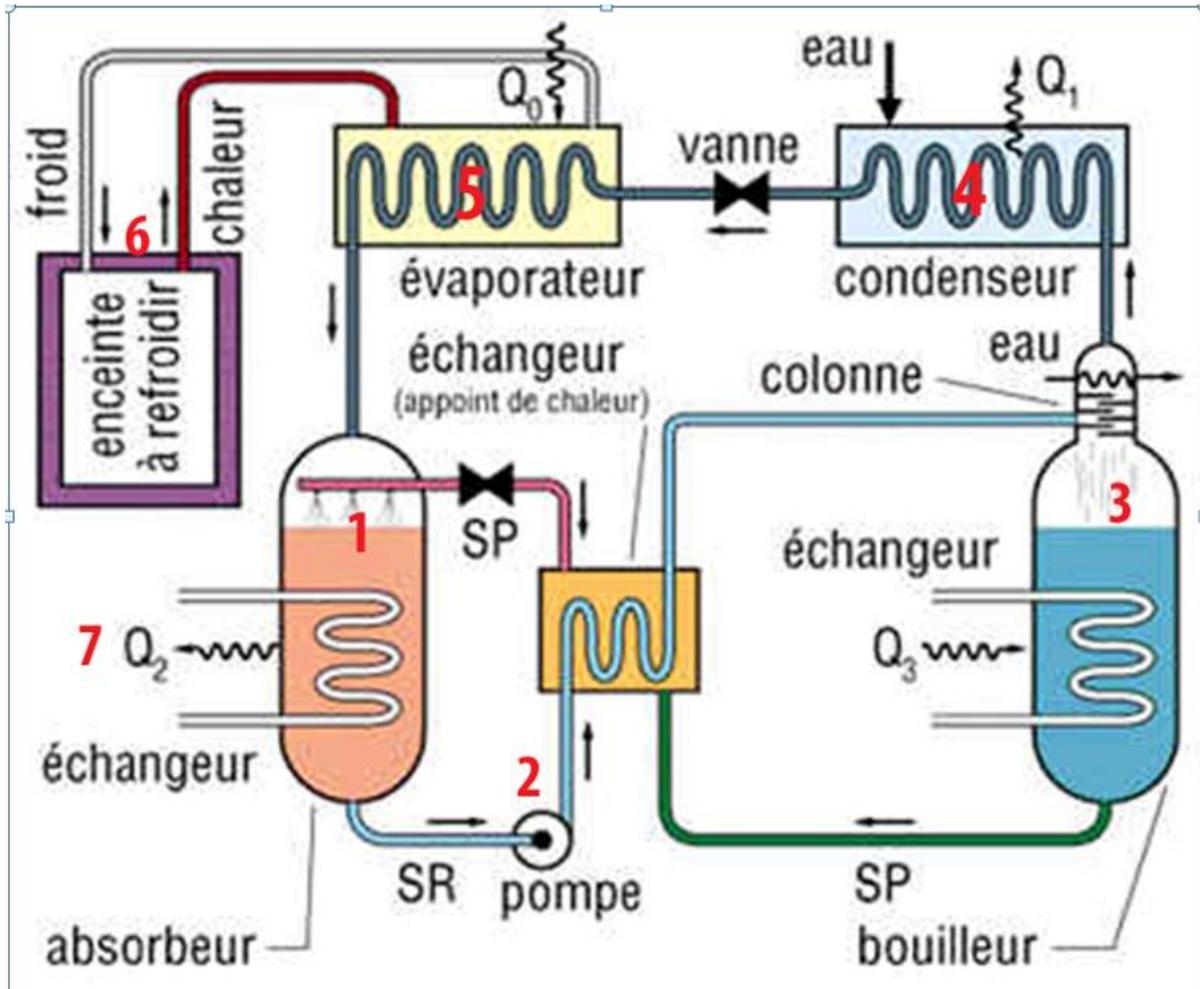
De cette façon le cycle réfrigérant est bouclé. La solution, pauvre en réfrigérant (puisqu'il a été chassé vers le condenseur), quitte le bouilleur, passe par un restricteur et s'écoule dans l'absorbeur, pour capter à nouveau la vapeur de la réfrigérante revenue à l'évaporateur. De cette façon le cycle du solvant est bouclé.

La production de chaleur de l'absorbeur et du condenseur est évacuée par une tour de réfrigération (6) ou par récupération de cette chaleur (7).

Selon le niveau de température souhaité, différentes associations de matières sont utilisées pour produire du froid :

## CHAPITRE II : Familiarisation sur le principe de fonctionnement de système

- Pour la climatisation de bâtiments (températures positives) : de l'eau et du bromure de lithium (LiBr).
- Pour de la congélation (températures inférieures à 0°C) : de l'eau et de l'ammoniac (NH<sub>3</sub>). [4]



FigureII.8 : Principe d'un système à absorption.

Dans un système de climatisation solaire à « *absorption* », on fait face à deux types de rendements :

- **Le rendement thermique** : comme tous les appareils dédiés à produire du froid, la climatisation solaire a un coefficient de performance (COP). Ce COP est défini comme le rapport de la puissance de froid divisée par la puissance de chauffe nécessaire. On atteint des COP de 0,7 dans des systèmes mono étages, des COP supérieurs à 1 pour des systèmes multi étages. Toutefois, les températures d'entrée dans le générateur

augmentent dans les systèmes multi étages (130 – 160°C pour 80 – 110°C dans les systèmes mono étages).

- **Le rendement des capteurs solaires** : en général, pour les capteurs solaires thermiques (chauffe-eau solaire), le rendement baisse lorsque la température du capteur monte. Dans le cas d'une installation de refroidissement à absorption, en revanche, le rendement augmente lorsque la température de chauffage monte.

Tout l'art de développer des concepts performants réside donc dans le choix de meilleurs capteurs (à tubes sous vide) qui conduisent à une réduction au minimum des dépenses en énergie solaire primaire. [24]

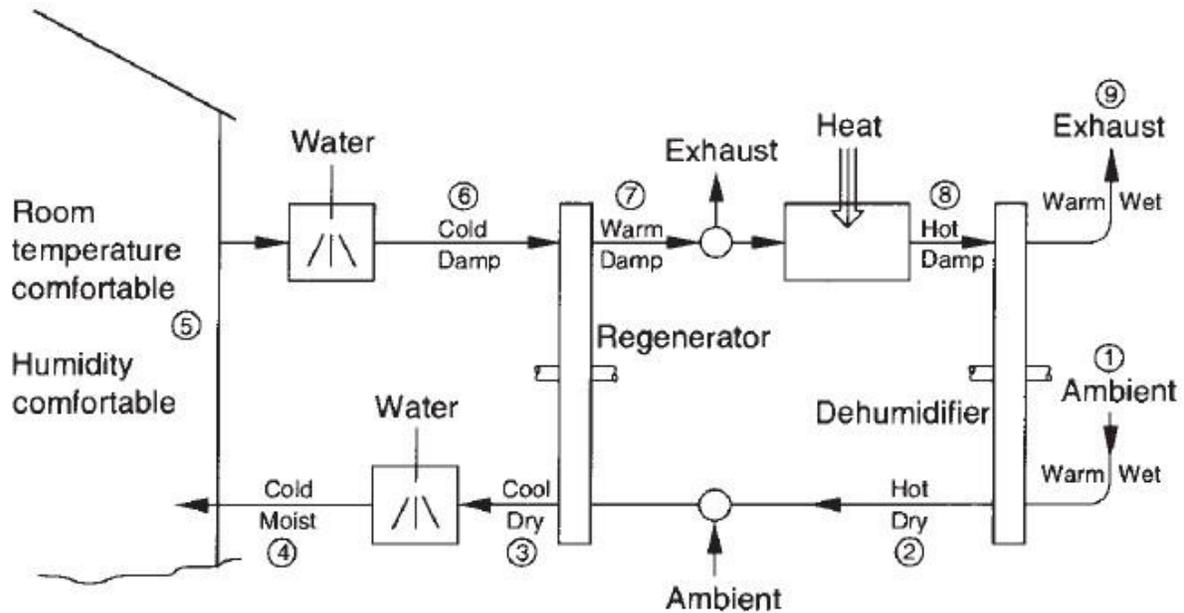
### **II.6 Les cycles à Adsorption :**

La climatisation solaire par « *adsorption* » utilise aussi de l'eau comme pour les systèmes par « *absorption* », mais avec cette technique, l'eau est absorbée à la surface d'un corps comme le gel de silice (silicagel), qui agit comme réfrigérant en libérant de la chaleur de liaison.

C'est comme pour le système à « *absorption* », un système qui fonctionne en circuit fermé mais qui utilise dans ce cas, un moyen de sorption solide, le gel de silice. Contrairement aux systèmes à « *absorption* » qui peuvent développer des puissances allant jusqu'à 15 000 KW, une climatisation solaire à « *adsorption* » se limite dans des puissances de 50 à 430 KW. [24]

#### **II.6.1 La dessiccation :**

Dans les années 1980, des recherches considérables ont été menées sur deux cycles de dessiccation liés qui peuvent avoir applications pour le fonctionnement avec l'énergie solaire. Le cycle de ventilation est celui utilisé par Munters dans le système Munters Environmental Control (MEC), l'autre est le cycle de recirculation.



**Figure II.9 :** Schéma de principe d'une installation à dessiccation solide (mode de ventilation).

La figure II.9 présente un schéma de principe d'une installation à dessiccant solide (mode ventilation). Sur le schéma de Principe, on peut noter qu'un système à dessiccation est composé de deux cycles bien distincts à savoir le cycle de traitement de l'air neuf (1 - 4) et le cycle de régénération du déshydratant (5 - 9).

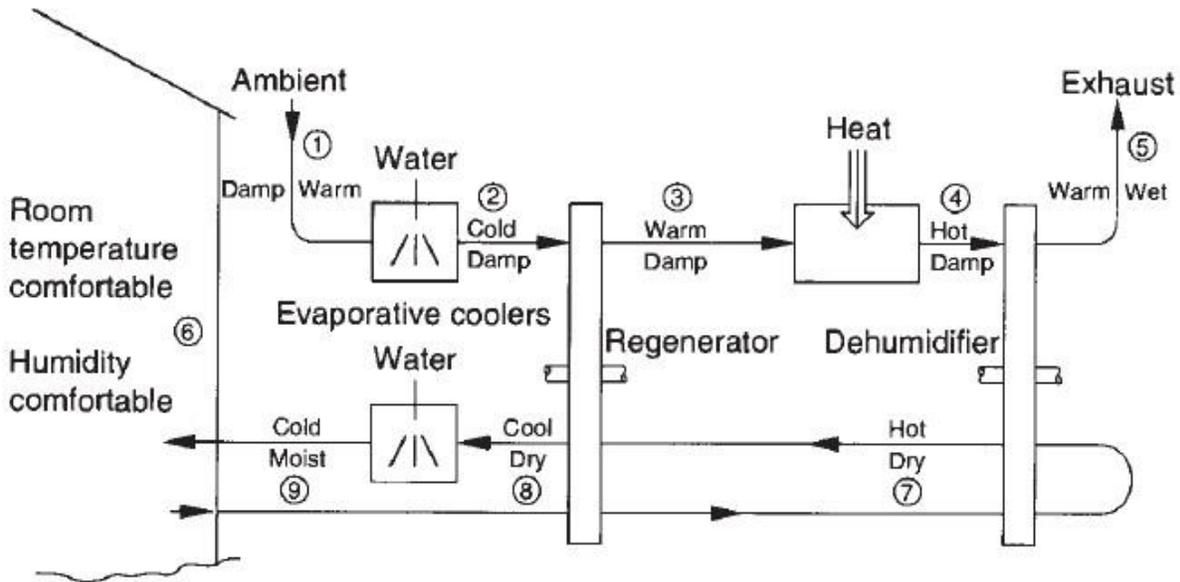
Dans le cycle de traitement de l'air neuf, l'air extérieur chaud et humide (1) pénètre à travers le déshumidificateur où il est chauffé et déshumidifié. Il ressort avec une température supérieure et une humidité absolue et relative inférieure (2). Il entre ensuite dans un échangeur où il est rafraîchi à humidité absolue constante. Il ressort avec une température plus basse (3) avant de subir une humidification entraînant son refroidissement et une augmentation de son humidité absolue et relative (4). En effet, en s'évaporant l'eau prélève la chaleur latente de vaporisation et produit un refroidissement de l'air, avant d'être injecté dans le bâtiment à rafraîchir (5).

Dans le cycle de régénération du déshydratant, l'air repris dans le bâtiment (5) est humidifié pratiquement jusqu'à sa saturation ce qui entraîne son refroidissement (6). Il est ensuite préchauffé par l'air neuf dans l'échangeur rotatif (7) avant d'être chauffé dans un second échangeur alimenté par de l'eau chaude produite par le champ de capteurs solaires thermiques.

## CHAPITRE II : Familiarisation sur le principe de fonctionnement de système

Il ressort à une température élevée (8) avant de rentrer dans le déshumidificateur où il se refroidit en se chargeant en humidité. Cette étape permet de régénérer le déshydratant.

Enfin l'air est expulsé à l'extérieur (9). [25]



**Figura II.10 :** Schéma de principe d'une installation à dessiccation solide  
(Mode de recirculation).

Le cycle de recirculation est illustré à la Figure (II.10). Les mêmes composants sont utilisés, sauf que l'air soufflé dans le local est celui de retour alors que l'air extérieur est utilisé pour la régénération de la roue dessiccante. Les deux cycles utilisent des déshumidificateurs avec des déshydratants solides et échangeurs de chaleur rotatifs.

Pour le fonctionnement solaire, l'énergie serait fournie (par exemple, par un échangeur de chaleur eau-air à partir d'eau chauffée par collecteurs à plaques plates) pour chauffer l'air de l'état 7 à l'état 8 dans le cycle ou l'état de ventilation et 3 à l'état 4 dans le cycle de recirculation. [25]

### **II.7 Le Stockage de l'énergie solaire :**

#### **II.7.1 Ballon de stockage :**

C'est un réservoir de stockage d'énergie sous forme d'eau chaude ou d'eau glacée dans le cas d'application de chauffage ou de climatisation. Le ballon de stockage eau chaude sert à réaliser

## CHAPITRE II : Familiarisation sur le principe de fonctionnement de système

une capacité tampon d'eau soit pour des besoins de chauffage que de fourniture d'eau chaude sanitaire.

Dans le cas du chauffage, on trouvera des ballons de stockage permettant de gérer la production des panneaux solaires par rapport à la réelle demande, le ballon créant une réserve tampon.

Pour l'eau chaude sanitaire, le principe est le même que ce soit un cumulus électrique ou un ballon additionnel associé à une chaudière par exemple, le ballon crée une capacité d'eau chaude répondant aux besoins instantanés. En chaufferie ou même intégré dans des chaudières domestiques, nous trouverons des ballons de stockage d'eau chaude sanitaire. Leur fonction étant toujours de créer une réserve pour répondre à la demande.

En climatisation, les ballons de stockage sont nécessaires sous forme de ballon tampon formant une réserve d'eau nécessaire à l'homogénéisation des trains de production frigorifiques des groupes et machines frigorifiques. Cette réserve étant d'autant plus importante que la qualité d'eau de l'installation est faible. Les ballons de stockage existent également dans des procédés de stockage d'eau glacée pour des applications industrielles où la demande instantanée est importante. Exemple: industrie laitière. [3]

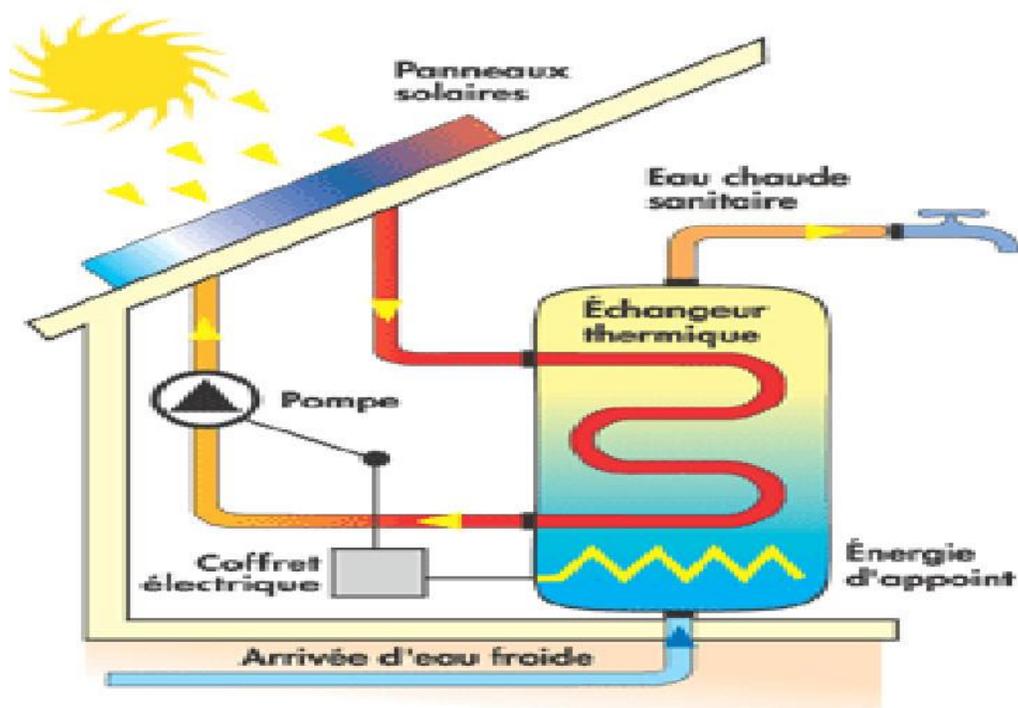


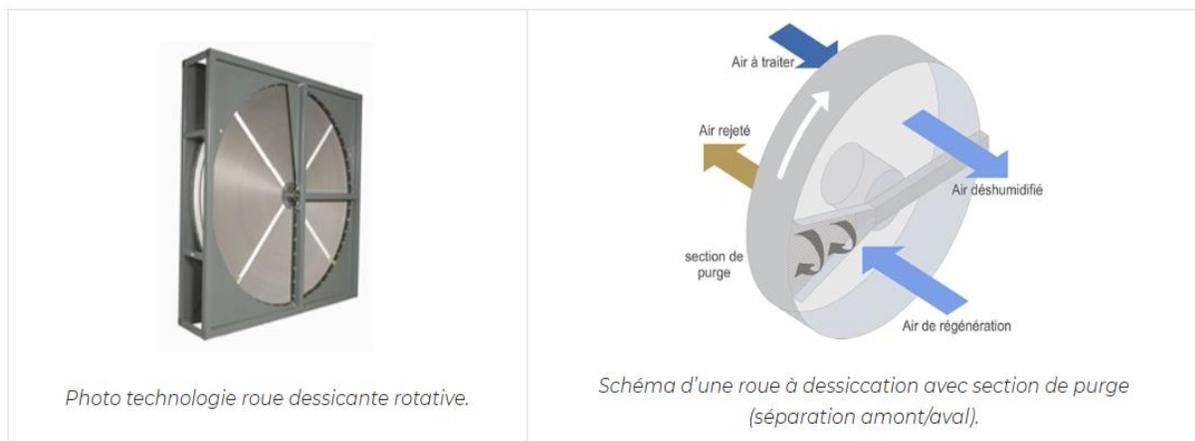
Figure II.11 : Ballon eau chaude. [3]

### II.8 Aspects technologiques :

#### II.8.1 La roue à dessiccation – Principe d’adsorption :

La sorption est un phénomène physique qui consiste à fixer les molécules d’un élément à une surface généralement granulée et poreuse. Les matériaux dessiccants attirent l’eau en formant à leur surface une zone à faible pression de vapeur.

La vapeur de l’air, ayant une pression plus élevée, se déplace de l’air vers la surface du matériau ce qui garantit une déshumidification de l’air.



**Figure II.12 :** schéma de la technologie d’une roue a dessiccation

La déshumidification s’effectue soit à Travers un dispositif sur lequel est posé un matériau dessiccant (on parle alors de “déshydratation en phase solide”), soit dans des échangeurs dans lesquels est pulvérisée une solution dessiccante (“déshydratation en phase liquide”).

La sorption peut donc prendre place entre un gaz et un solide, auquel cas on parle d’adsorption, soit entre un gaz et un liquide, il s’agit dans ce cas du phénomène d’absorption. Raison pour laquelle les roues dessiccantes sont appelées également des déshydrateurs à adsorption. [26]



**Figure II.13 :** Photo d'un déshydrateur à adsorption de la marque "Ventsys" fonctionnant selon le Principe de la roue dessicante

Actuellement les sorbants les plus utilisés sont le  $\text{SiO}_2$  (Silica gel),  $\text{LiCl}$  (Chlorure de Lithium),  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (Alumine activée) et le  $\text{LiBr}$  (Bromure de Lithium). Ces substances sont imprégnées sur une roue rotative en céramique à structure en nids d'abeilles. Lorsque le matériau devient saturé, la roue continue à tourner lentement et la partie exempte d'humidité est régénérée par chauffage, au départ d'une source de chaleur disponible.

### **II.8.2 L'échangeur rotatif non-hygroscopique :**

Un échangeur non hygroscopique est une roue à rotation lente, métallique à structure en nids d'abeilles à travers laquelle passent deux flux d'air de sens opposés produisant un échange sensible entre eux (humidité absolue constante).

-L'avantage de ce type d'échangeur c'est qu'il a une perte de charge faible en comparaison de son efficacité, de plus il présente peu d'encombrement. Pour éviter les fuites de l'air entre les sections de soufflage et de retour, il est préférable d'avoir une section de purge séparant les deux sections et d'avoir les ventilateurs en aval de l'échangeur. [26]

### **II.8.3 Les matériaux dessicants :**

Tous les matériaux dessicants ont un comportement similaire : ils attirent la vapeur jusqu'à ce qu'un certain état d'équilibre avec l'ambiance soit atteint. L'humidité est extraite du dessicant en le chauffant à des températures qui varient entre  $50^\circ\text{C}$  et  $260^\circ\text{C}$  tout en l'exposant à un courant

d'air extracteur. Après le séchage du dessiccant, il faut le refroidir pour qu'il puisse à nouveau attirer de la vapeur. La sorption génère de la chaleur sensible égale à la chaleur latente de la vapeur d'eau plus une chaleur additionnelle de sorption qui varie de 5 à 25% de la chaleur latente. Cette chaleur est transférée au dessiccant et à l'air ambiant.

### **A. Les adsorbants :**

Les adsorbants sont des solides avec une énorme surface interne par unité de masse. Ils ont généralement des surfaces spécifiques supérieures à 100 m<sup>2</sup>/g. Les adsorbants attirent l'eau à cause d'un champ électrique à leur surface. Quand la totalité de la surface est couverte de molécules, l'adsorbant peut également capter de l'eau parce que la vapeur se condense dans la première couche et remplit les capillarités du matériau.

Les adsorbants industriels les plus courants sont les suivants. Les charbons actifs, les zéolites, les gels de silice et les alumines activées. Les zéolites se distinguent des trois autres types par leurs structures cristallines conduisant à des micropores régulières de taille uniforme (ils sont aussi appelés tamis moléculaires).

### **B. Les charbons actifs :**

Les charbons actifs sont de loin les adsorbants les plus fabriqués et utilisés industriellement. Ils peuvent être obtenus à partir d'un grand nombre de matériaux carbonés (bois, charbon, résidus pétroliers, etc.), par des processus de carbonisation suivis de processus d'activation bien contrôlés. Ils sont fréquemment utilisés pour la récupération des vapeurs de solvant et d'hydrocarbures, la décoloration de sucres, etc.

### **C. Les zéolites :**

Les zéolites sont des alumino-silicates cristallins et poreux, résultant des enchaînements de tétraèdres de SiO<sub>4</sub> et AlO<sub>4</sub>. De nombreuses structures différentes de zéolites existent selon la manière dont sont arrangés ces tétraèdres et selon le rapport Si/Al. Deux des zéolites les plus courantes sont les zéolites A et X. Le rapport Si/Al dans les zéolites est toujours supérieur à 1, mais n'a pas de limite supérieure. En règle générale une zéolite riche en Aluminium a une grande affinité pour l'eau et d'autres molécules polaires par contre une zéolite pauvre en Aluminium est plutôt hydrophobe et adsorbe de préférence les hydrocarbures. [7]

### D. Les gels de silice :

Les gels de silice ( $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ) peuvent être obtenus par précipitation de silice en faisant réagir une solution de silicate de sodium avec un acide minéral (sulfurique ou chlorhydrique). Le gel obtenu est ensuite lavé, séché et activé. La structure des pores est créée par l'agglomération des particules sensiblement sphériques de dimension à peu près uniforme comprise entre 2 et 20 nanomètres. Ces gels adsorbent de préférence les molécules polaires comme l'eau et l'alcool.

### II.8.4 Durée de vie des matériaux dessiccants :

La durée de vie des matériaux dessiccants est un facteur important pour la rentabilité économique de l'installation. Elle dépend largement de la quantité et du type d'écoulement qu'ils dessèchent. Les produits commercialisés ont une durée de vie qui varie de 10000 à 100000 heures. Deux mécanismes diminuent la capacité d'adsorption des dessiccants:

- Changement des propriétés de sorption du dessiccant après plusieurs réactions avec des contaminants.
- Perte de surface effective à cause de la dégradation hydro thermique.

**Tableau II.2:** Avantages et inconvénients qualitatifs. [7]

	Avantages	Inconvénients
<b>Absorption</b>	Coefficient de performance thermique élevé  Technique de climatisation solaire majoritaire et reconnue	Tour de refroidissement nécessaire  Température de régénération élevée  Risques de cristallisation
<b>Adsorption</b>	Température de régénération moyenne  Simplicité et robustesse	Tour de refroidissement nécessaire  Seules les puissances élevées sont disponibles  Volume des machines  Caractère cyclique déstabilisateur Coût
<b>Dessiccation</b>	Température de régénération faible à moyenne	Système tout air neuf non

## CHAPITRE II : Familiarisation sur le principe de fonctionnement de système

	Composants connus et largement utilisés Coûts d'investissement faibles	adapté à tous les bâtiments Maintenance soignée obligatoire  Peu performant dans les climats chauds et humides (COP <sub>th</sub> dépendant des conditions intérieures et extérieures)
--	---	---

**Chapitre III :**  
**Présentation du projet**

## CHAPITRE III : Présentation du projet

### III.1 Introduction :

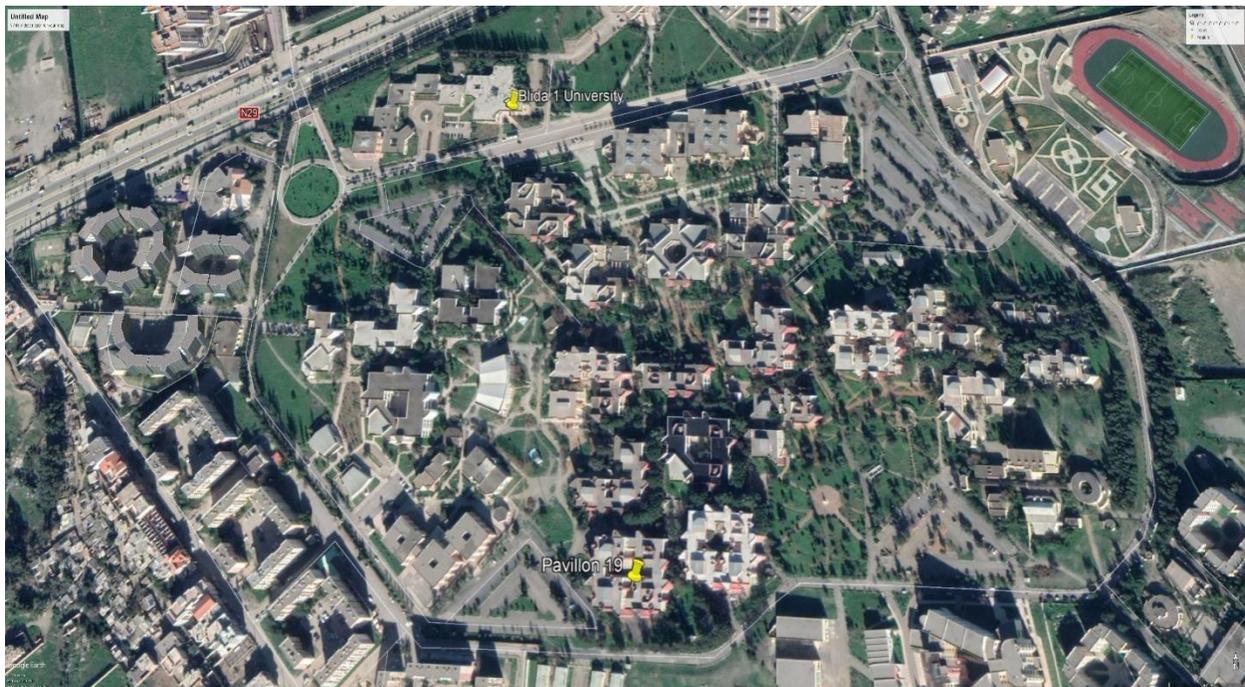
Pour faire une étude bien précise d'une installation de chauffage ou de climatisation, il est nécessaire de connaître des données concernant la situation géographique et la zone climatique du lieu où est implanté le projet (bâtiment) ainsi que les déperditions et les apports calorifiques de ce dernier.

### III.2 Localisation géographique : [27]

La première étape pour commencer l'étude d'un projet de climatisation est de connaître toutes les informations concernant la situation géographique de ce projet tel que :

- Altitude
- Latitude du site
- Longitude du site
- Orientation des locaux (du bâtiment)

Notre projet se trouve au niveau de l'université Saad Dahleb de Blida (Blida 1) à la route de Soumaa à environ 44 km au sud-ouest d'Alger et à environ 35 km au nord-est de Médéa



**Figure III.1 :** Localisation du pavillon de mécanique (Pav 19)

## CHAPITRE III : Présentation du projet

**Tableau III. 1:** Les coordonnées géographiques. [27]

Localisation	Altitude (m)	Latitude	Longitude
Pavillon 19 Université Saad Dahlebde Blida -Alegria	207	36.500850°	2.877260°

### **III.3 Description du pavillon 19 :**

Le pavillon 19 se trouve à l'université Saad Dahleb Blida 1 se compose de 3 étages (RDC +1 +2) il contient les salles TD, des salles PFE, bureaux, sanitaires, laboratoires...etc.

Dans notre projet on a étudié la faisabilité d'un système de climatisation solaire par dessiccation solide du 2<sup>ème</sup> étage d notre département.

Les différents locaux sont résumés dans le tableau suivant :

Locaux	Surface ( m <sup>2</sup> )	Hauteur ( m )
Salle PFE	91	4.5
Salle 1	33.25	4.5
Salle 2	91	4.5
Salle 3	91	4.5
Salle 4	72	4.5
Salle 5	28.5	4.5
Salle 6	91	4.5
Bureau 1 + 2	40	4.5
Bureau 3	34.5	4.5
Bureau 4	48	4.5
Bureau 5 + 6	30	4.5
Labo TC 1	75.25	4.5

## CHAPITRE III : Présentation du projet

<b>Labo TC 2</b>	30	4.5
<b>Couloir</b>	169.6	4.5

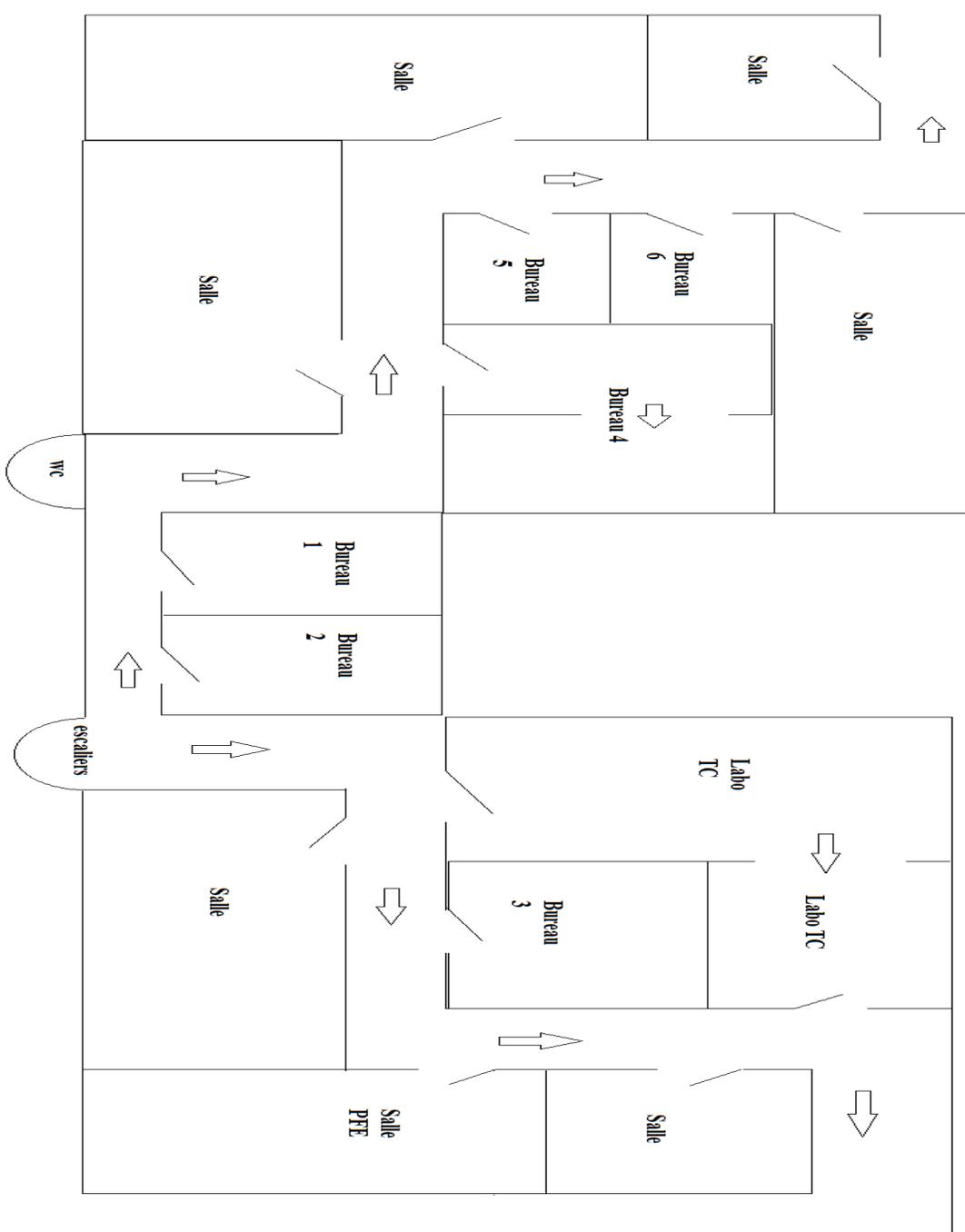


Figure III.2 : plan du 2<sup>ème</sup> étage.

## CHAPITRE III : Présentation du projet

### III.4 Zone climatique :

Pour déterminer l'appartenance de la zone climatique de notre projet on se réfère selon la classification thermique (hivernale et estivale) des communes d'Algérie donné dans l'annexe B .5 du tableau de la norme DTR.

D'après les documents technique DTR issus du "Centre National d'Etudes et de Recherches Intégrées du Bâtiment CNERIB," la willaya de Blida avec toutes ces communes appartiens à la zone climatique « A ».

La zone climatique A comprend le rivage de la mer au nord et les plaines côtières au sud. [28]

### III.5 Les déperditions calorifiques :

Les déperditions calorifiques sont égales au flux de chaleur sortant d'un local, ou d'un groupe de locaux, par transmission de chaleur à travers les parois et par renouvellement d'air, pour un degré d'écart de température entre l'intérieur et l'extérieur. Elles s'expriment en watts par degrés Celsius (W/°C). [29]

Les déperditions totales  $D_i$  d'un volume  $i$  (Figure III.3) sont données par :

$$D_i = (DT) i + (DR) i \quad (III.1)$$

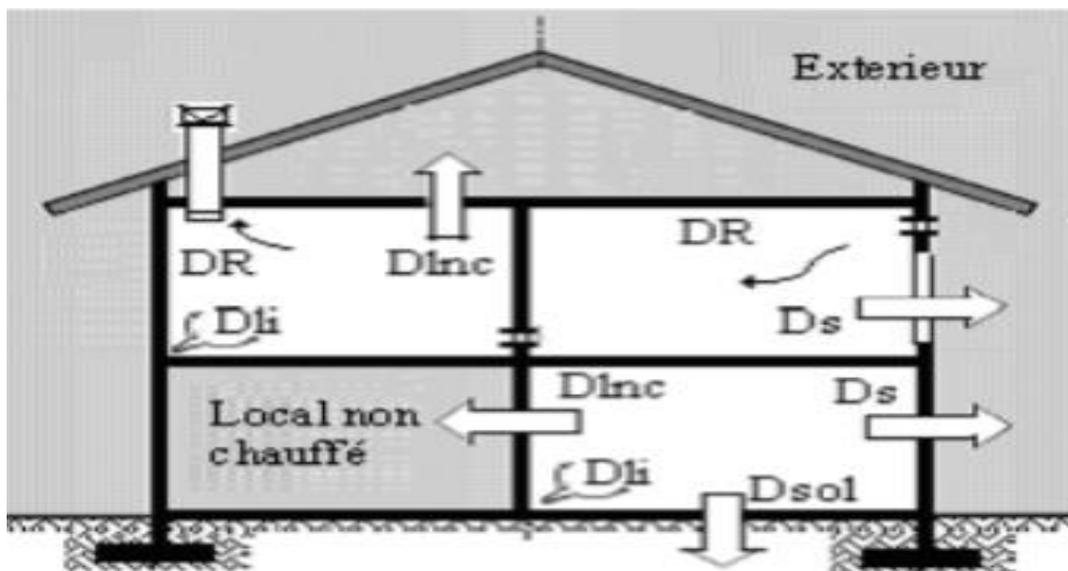


Figure III.3 : Déperditions dans les locaux d'habitation

## CHAPITRE III : Présentation du projet

Avec :

**(DT) i** : (W/°C) : représente les déperditions par transmission du volume i,

**(DR) i** : (W/°C) : représente les déperditions par renouvellement d'air du volume

**DR** : Déperditions par renouvellement d'air

**Ds** : Déperditions surfaciques à travers les parois en contact avec l'extérieur

**Dli** : Déperditions à travers les liaisons

**Dsol** : Déperditions à travers les parois en contact avec le sol

**Dlnc** : Déperditions à travers les parois en contact avec les locaux non chauffés

### III.6 Calcul du coefficient d'échange K :

La résistance thermique d'une couche homogène est donnée par la formule suivante :

$$Ri = \frac{ei}{\lambda i} \quad (\text{III.2})$$

Où :

**Ri** (m<sup>2</sup>. °C/W) représente la résistance thermique de la couche i,

**ei** (m) représente l'épaisseur de la couche de matériau,

**λi** (W/m. °C) représente la conductivité thermique du matériau.

Les valeurs des conductivités thermiques sont soit tirées des tableaux données en **annexe A.2** du Document technique (DTR) ou par défaut fournies par le fabricant. [23]

### III.7 Résistance thermique d'une couche hétérogène :

La résistance thermique équivalente d'une couche hétérogène est donnée directement en fonction de l'épaisseur de la couche de matériau. Les valeurs des résistances thermiques sont soit tirées des tableaux données en **annexe A.3**, soit fournies par le document d'Avis Technique, ou à défaut fournies par le fabricant. [31]

## CHAPITRE III : Présentation du projet

### III.8 Application au projet :

- Mur extérieur

Le mur extérieur est fini, il est constitué de 6 couches :

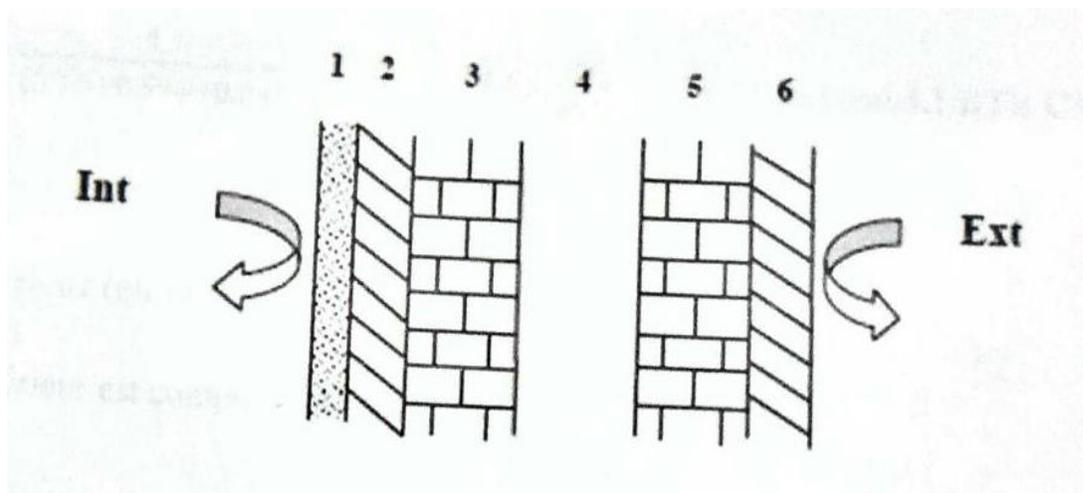


Figure III.4 : vue en coupe d'un Mur double cloison

Les couches	Les matériaux	e (m)	$\lambda$ (W/m. °C)	Capacité thermique (J/kg. °C)	Masse volumique (kg/m <sup>3</sup> )
1	Enduit plâtre	0.005	0.35	936	750-1000
2	Enduit ciment	0.015	1.4	1080	2000
3	Brique creuse	0.1	0.48	936	900
4	Lame d'air	0.1	0.777	1227	1
5	Brique creuse	0.1	0.48	936	900
6	Enduit ciment	0.015	1.4	1080	2000

## CHAPITRE III : Présentation du projet

- **Mur intérieur :**

Les murs intérieur est fini, il est constitué de 5 couches :

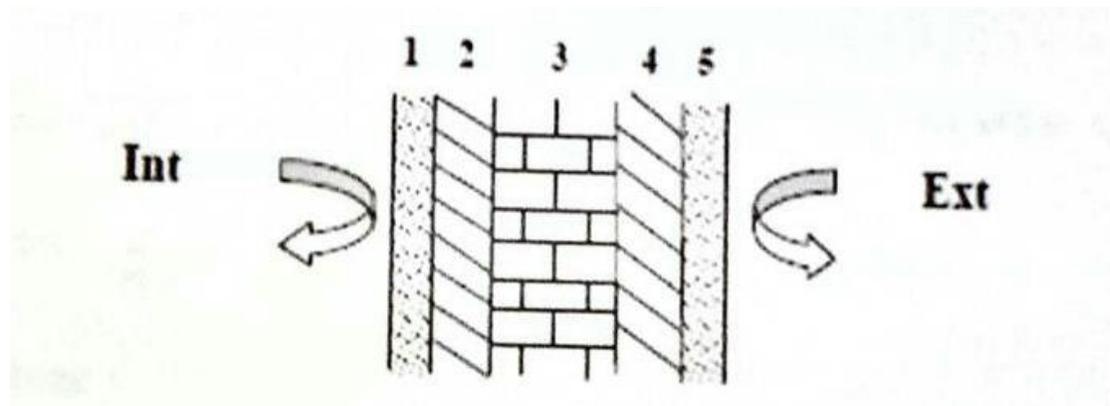


Figure III.5 : vue en coupe d'un mur intérieur

Les couches	Les matériaux	e (m)	$\lambda$ (W/m. °C)	Capacité thermique (J/kg. °C)	Masse volumique (kg/m <sup>3</sup> )
1	Enduit plâtre	0.005	0.35	936	750-1000
2	Enduit ciment	0.015	1.4	1080	2000
3	Brique creuse	0.1	0.48	936	900
4	Enduit ciment	0.015	1.4	1080	2000
5	Enduit plâtre	0.005	0.35	936	750-1000

- **Plancher bas :**

Le plancher bas et compose de 4 couches :

Les couches	Les matériaux	e (m)	$\lambda$ (W/m. °C)	Capacité thermique (J/kg. °C)	Masse volumique (kg/m <sup>3</sup> )
1	Carrelage	0.025	1.7	700	2300
2	Ciment	0.025	1.4	1080	2000
3	Dalle de compression en béton courant	0.25	1.45	1080	1450
2	Laine de verre	0.05	0.04	1380	25
4	Enduit plâtre	0,005	0.35	936	750-1000

## CHAPITRE III : Présentation du projet

- **Plancher haut :**

Le plancher haut est composé de 3 couches :

Les couches	Les matériaux	e (m)	$\lambda$ (W/m. °C)	Capacité thermique (J/kg. °C)	Masse volumique (kg/m <sup>3</sup> )
1	Dalle de compression en béton courant	0.25	1.45	1080	1450
2	Laine de verre	0.05	0.04	1380	25
3	Enduit plâtre	0,005	0.35	936	750-1000

- **Portes et fenêtres :**

Les coefficients K (W/m<sup>2</sup>. °C) des portes courantes sont données dans le tableau suivant :

	K (en W/m <sup>2</sup> . °C)
<b><u>Portes en bois :</u></b>	
- Portes opaques	3.5
- Portes avec proposition de vitrage < 30 %	4
- Portes avec proposition de vitrage comprise entre 30 % et 60 %	4.5
<b><u>Portes en métal :</u></b>	
- Portes opaques	5.8
- Portes équipées de vitrage simple	5.8

### **III.9 Les dimensions des murs :**

- **Salle 1 :**

Type	Dimensionnement	Longueur	Surface	Orientation
<b>Mur ext</b>	Mur	4.75	21.37	S
	Vitrages	/	3.2	
<b>Mur adjacent</b>	Avec salle PFE	7	31.5	
<b>Mur int</b>	Mur 1	7	31.5	
	Vitrage	/	6.3	
	Mur 2	4.74	21.33	

## CHAPITRE III : Présentation du projet

	porte	/	2.04	
	Vitrage	/	4.27	

- **Salle PFE :**

Type	Dimensionnement	Longueur	Surface	Orientation
Mur ext	Mur 1	13	58.5	S
	vitrage	/	8.77	
Mur adjacent	Mur 2	7	31.5	O
	vitrages	/	4.72	
Mur adjacent	Avec salle 2	7	31.5	
Mur int	Mur	6	27	
	Porte	/	2.04	
	Vitrage	/	5.4	

- **Salle 2 :**

Type	Dimensionnement	Longueur	Surface	Orientation
Mur ext	Mur	13	58.5	O
	Vitrage	/	8.77	
Mur interne	Mur 1	7	31.5	
	vitrage		6.3	
	Mur 2	13	58.5	
	Porte		2.04	
	Vitrage		11.7	

- **Bureau 1 et 2 :**

Type	Dimensionnement	Longueur	Surface	Orientation
Mur ext	Mur	8	36	E
	vitrage	/	5.4	
Mur interne	Mur 1	5	22.5	
	Mur 2	5	22.5	
	Mur 3	8	36	
	2 Portes		4.08	
	Vitrage		7.2	

- **Salle 3 :**

Type	Dimensionnement	Longueur	Surface	Orientation
Mur ext	Mur	13	58.5	O
	Vitrages	/	8.77	

### CHAPITRE III : Présentation du projet

<b>Mur adjacent</b>	Avec salle 4	7	31.5	
<b>Mur int</b>	Mur 1	7	31.5	
	Vitrage	/	6.3	
	Mur 2	13	58.5	
	porte	/	2.04	
	vitrages	/	11.7	

- **Salle 4 :**

Type	Dimensionnement	Longueur	Surface	Orientation
<b>Mur ext</b>	Mur 1	12	54	N
	vitrage	/	8.1	
	Mur 2	6	27	O
	Vitrage	/	4.05	
<b>Mur adjacent</b>	Avec salle 5	6	27	
<b>Mur interne</b>	Mur	5	22.5	
	Porte		2.04	
	Vitrage		4.5	

- **Salle 5 :**

Type	Dimensionnement	Longueur	Surface	Orientation
<b>Mur ext</b>	Mur	4.75	21.37	N
	Vitrage	/	3.2	
<b>Mur interne</b>	Mur 1	4.75	21.37	
	Vitrage	/	4.27	
	Mur 2	6	27	
	Porte		2.04	
	Vitrage		5,4	

- **Salle 6 :**

Type	Dimensionnement	Longueur	Surface	Orientation
<b>Mur ext</b>	Mur 1	13	58.5	E
	Vitrage	/	8.77	
	Mur 2	7	31.5	S
Vitrage	/	4.72		
<b>Mur Adjacent</b>	Avec bureau 4	8	36	
	/ / 6	5	22.5	
<b>Mur int</b>	Mur	13	58.5	
	Porte	/	2.04	
	Vitrage	/	11.7	

- **Bureau 4 :**

## CHAPITRE III : Présentation du projet

Type	Dimensionnement	Longueur	Surface	Orientation
<b>Mur ext</b>	Mur	6	27	S
	vitrage	/	4.05	
<b>Mur adjacent</b>	Avec bureau 5 + 6	6	27	
<b>Mur int</b>	Mur	8	36	
	Porte	/	2.04	
	vitrages	/	7.2	

- **Bureau 5 + 6 :**

Type	Dimensionnement	Longueur	Surface	Orientation
<b>Mur int</b>	Mur 1	5	22.5	
	vitrage	/	3.37	
	Mur 2	6	27	
	Vitrage	/	5.4	
	2 portes	/	4.08	

- **Labo TC :**

Type	Dimensionnement	Longueur	Surface	Orientation
<b>Mur ext</b>	Mur 1	10.75	48.37	N
	Vitrage	/	7.26	
	Mur 2	7	31.5	E
	Vitrage	/	4.72	
<b>Mur adjacent</b>	Avec labo TC 2	3,5	15.75	
	Vide	1.5	6.75	
	Avec Bureau 3	5.75	25.87	
<b>Mur int</b>	Mur	7	31.5	
	vitrages	/	6.3	
	Porte	/	2.04	

- **Labo TC 2 :**

Type	Dimensionnement	Longueur	Surface	Orientation
<b>Mur ext</b>	Mur	6	27	E
	Vitrages	/	4.05	
<b>Mur adjacent</b>	Avec bureau 3	6	27	
<b>Mur int</b>	Mur	5	22.5	
	Vitrages	/	4.5	
	porte	/	2.04	

- **Bureau 3 :**

## CHAPITRE III : Présentation du projet

Type	Dimensionnement	Longueur	Surface	Orientation
<b>Mur int</b>	Mur 1	5.75	25.87	
	Vitrages	/	5.17	
	Mur 2	6	27	
	Vitrages	/	5.4	
	Porte	/	2.04	

- **Couloir :**

Type	Dimensionnement	Longueur	Surface	Orientation
<b>Mur ext</b>	Mur 1	9	40.5	E
	Vitrages	/	6.07	
	Mur 2	12	54	O
	Vitrage	/	8.1	
	Porte escalier (métal)	/	2.04	
	Porte WC (bois)	/	2.04	
	Mur 3	8	36	E
	Vitrages	/	5.4	
	Porte	/	1.5	

### **III.10 Conditions intérieures de base :**

Les conditions intérieures de base sont définies par :

- La température sèche de base de l'air intérieur  $TS_{b, i}$  (en °C) et l'humidité relative de base de l'air intérieur  $HR_{b, i}$  (en %),
- L'accroissement (tolère) de la température sèche de base de l'air intérieur

La température sèche et l'humidité relative de l'air intérieur correspondant aux conditions de base sont celles acceptées par la majorité des occupants (et par conséquent leur assurer une sensation thermique acceptable). [32]

#### **III.10.1 Valeurs des conditions intérieures de base :**

Le tableau 9.6 a DTR fixe les valeurs des conditions intérieures de base. [33]

## CHAPITRE III : Présentation du projet

Tableau III.2 : conditions intérieurs de base

APPLICATION	Niveau de confort amélioré		Niveau de confort normal		
	Température sèche (°C)	Humidité relative (%)	Température sèche (°C)	Humidité relative (%)	Accroissement toléré de la température (°C)
<b>Séjour de longue durée</b> Logement, hôtel, bureaux, hôpital, école, etc.	24	45	27	50	2

### III.11 Calcul des gains :

#### III.11.1 Gains dus aux occupants :

Les gains dus aux occupants sont une source de chaleur sensible et latente.

Gains sensibles occupants :

$$Q_{Soc} = n * C_{Soc} \quad (III.3)$$

Gains latents occupants :

$$Q_{Loc} = n * C_{Loc} \quad (III.4)$$

n = nombre d'occupants

$C_{Soc}$  = chaleur sensible des occupants (W)

$C_{Loc}$  = chaleur latente des occupants (W). [34]

#### III.11.2 Gains dus à l'éclairage :

Les appareils d'éclairage constituent une source de chaleur sensible.

Si l'on connaît la puissance installée pour l'éclairage, les gains dus à l'éclairage sont donnés par la formule suivante :

$$AI = \sum (W_n * C_{me} * C_{cr}) \quad (III.5)$$

Ou :

- $W_n$  (en W) est la puissance nominale de l'ampoule ou du tube fluorescent ;
- $C_{me}$  est un coefficient de majoration ; il est égal a :

## CHAPITRE III : Présentation du projet

- 1,2 pour les lampes à incandescence
- 1,25 pour les tubes fluorescents

-  $C_{cr}$  est le pourcentage de chaleur résiduelle correspondant à la part d'énergie Restant dans la salle.

Si l'on ne connaît pas la puissance installée pour l'éclairage, on calculera les gains dus à l'éclairage en utilisant le tableau 12.10. [35]

**Tableau III.3 :** gain du à l'éclairage.

Désignation du local ou genre d'activité	Intensité lumineuse recommandée ou des tubes (lux)	Puissance dégagée des lampes (W/m <sup>2</sup> )	
		lampes à incandescence	Lampes fluorescentes
Entrepôt, pièces d'habitation, théâtre	120	25	8
Bureaux, salle de cours	250	55	16
Salles de lecture, laboratoires, magasins	500	110	32

### III.11.3 Gains dus aux machines électriques :

Une machine électrique utilisée dans un local dégage intégralement l'équivalent calorifique de la puissance électrique moyenne absorbée.

Pour la détermination des apports dus aux machines électriques, on utilisera soit :

- Les indications données par le fabricant
- Par défaut, les valeurs des tableaux 12.6 à 12.8 à DTR. [36]

**Tableau III.4 :** Apports calorifiques dus aux machines de bureau

Appareils	Gains à admettre (en W)		
	Sensible	Latente	Total
PC multimédia	120	-	120
Imprimante à jet d'encre	52	-	52

## CHAPITRE III : Présentation du projet

### III.12 Le confort thermique :

#### III.12.1 Facteur Vêtements : [37]

Beaucoup de facteurs vestimentaires sont donnés pour une grande variété de vêtements.

**Tableau III.5 :** les ensembles vestimentaires courants

Ensemble de vêtements	Vêtements facteur [clo]
Nude	0
Shorts	0.1
Vêtement d'été légers (pantalons légers, chemise à col ouvert à manches courtes).	0.5
Ensemble de travail léger (shorts de sport, chaussettes en laine, chemise de travail en coton, pantalon de travail)	0.6
Costume d'affaires typique	1
Costume d'affaires typique + Manteau en coton	1.5

#### III.12.2 Taux métabolique : [37]

**Tableau III.6 :** Le taux métabolique représente une production de chaleur en fonction du niveau d'activité

Degré d'activité	Taux métabolique [met]
Assis, détendu	1
Assis, travail léger (bureau, maison, école, laboratoire)	1.2
Debout, travail léger (Achats, laboratoire, travail d'usine léger)	1.6
Travail permanent et modéré (Activité de vente, travaux ménagers, fonctionnement d'une machine)	2
Marche, 2 km/h	1.9
Marche, 3 km/h	2.4

### CHAPITRE III : Présentation du projet

Marche, 4 km/h	<b>2.8</b>
Marche, 5 km/h	<b>3.4</b>

# **Chapitre IV :**

## **Simulation et résultats**

### IV.1 Description du logiciel TRNSYS :

TRNSYS (Transient Systems Simulation Program) est un outil flexible conçu pour simuler les performances énergétiques de systèmes dynamiques. Développé dans les années 70 par l'Université de Wisconsin et l'Université du Colorado, Au cours des 30 dernières années TRNSYS n'a cessé d'affiné et maintenant il est largement reconnu comme un outil d'analyse fiable pour les systèmes énergétiques complexes.

TRNSYS est un logiciel de simulation du comportement thermique des bâtiments et des systèmes associés en régime dynamique.

La modélisation et la simulation de ce système est nécessaire pour étudier le comportement thermique et celui du système solaire photovoltaïque, et peut être utilisé pour valider tous les concepts de toutes énergies nouvelles et simuler des systèmes énergétiques. Le recours à ce type de logiciel est indispensable pour prendre en compte la variabilité temporelle importante des sollicitations et des sources d'énergie.

Dans TRNSYS les composants d'un système sont appelés types et chaque type a un ensemble de paramètres les entrées (inputs) et les sorties (output) qui décrivent et définissent la manière dont il permettra de relier d'autres types.

La simulation est en effet un outil extrêmement séduisant. Contrairement l'expérimentation elle permet de tout essayer même les solutions les plus originales.

Il donne la possibilité de jouer avec le modèle de bâtiment en lui ajoutant des composants en modifiant sa forme son orientation en le situant à des endroits différents etc. C'est un vecteur d'imagination et de créativité. La simulation permet d'évaluer une solution technique et/ou architecturale elle le fait avec détail précision et pertinence. Contrairement aux méthodes de calcul simplifiées elle fournit des résultats sous une forme identique à celle qu'auraient des mesures expérimentales sur un bâtiment réel. On injecte dans le modèle les valeurs que prennent au cours du temps des variables décrivant le climat ; on indique les paramètres de fonctionnement du bâtiment (occupe continuellement, chauffé, climatisé, etc.) et classiquement on obtient les valeurs prises par un certain nombre de variables d'observation (températures d'air températures de surface des parois, puissance de chauffage ou de refroidissement, etc.) à des moments successifs en général régulièrement espacés de la période considérée. [38]

## CHAPITRE IV : Simulation et résultats

### IV.2 Utilisation du logiciel TRNSYS :

Pour simuler le comportement thermique d'un bâtiment, il est nécessaire de disposer au moins de trois composants. Le premier est relatif aux données météorologiques, le second pour le calcul de l'ensoleillement de la paroi et le troisième traite les échanges de chaleur dans le bâtiment. Ces trois composants nécessaires au lancement de la simulation sont identifiés dans TRNSYS par METONORM fichier météo, le fichier TRNSYS STUDIO SIMULATION (Interface graphique permettant de créer le modèle) et le fichier TRNBUILD (description du Bâtiment).

### IV.3 TRNSYS Simulation Studio :

« TRNSYS Simulation Studio » est l'interface d'accueil de TRNSYS permettant de Développer des applications de simulation. Un projet de simulation consiste à choisir un Ensemble de modules et à décrire ensuite les interactions entre ceux-ci.

Chaque module représente un sous-programme et agit comme une boîte noire (qu'il est cependant possible d'ouvrir). On introduit pour chaque sous-programme les différents Paramètres, les variables d'entrée et de sortie.

#### IV.3.1 Bibliothèque de composants :

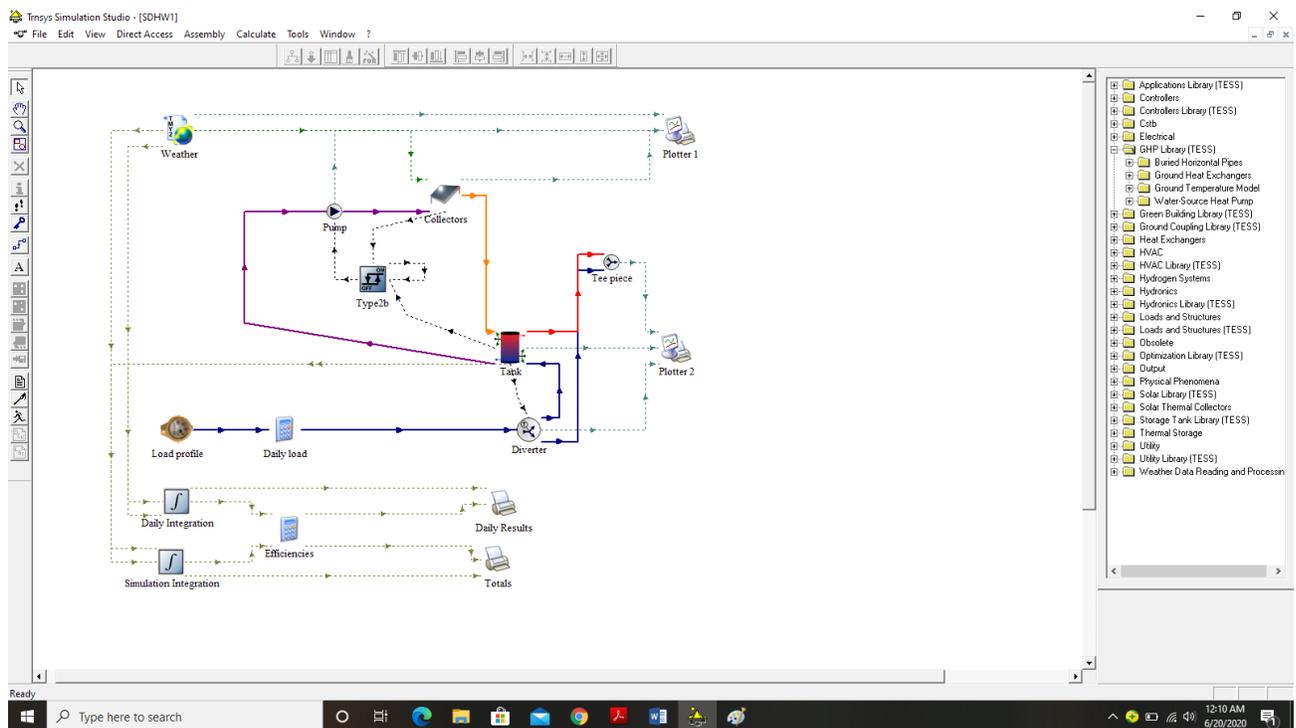


Figure IV.1 : Figure Interface du logiciel TRNYS.

## CHAPITRE IV : Simulation et résultats

De nombreux modèles dans la bibliothèque TRNSYS (sont aujourd'hui disponibles dans le domaine public, couvrant un large ensemble d'applications. (Énergie solaire, Éoliennes, Hydraulique, Microcontrôleurs, photovoltaïque, Plafond rayonnant, Planchers Chauffants, Pompes à chaleur, Régulation, Stockage d'énergie intersaison, Systèmes de climatisation, Thermique du bâtiment, Tours de refroidissements, Turbines à gaz, Matériaux à changement de phase, Piles à combustible, ...). Ces modèles peuvent être connectés pour effectuer des études pluridisciplinaires. [38]

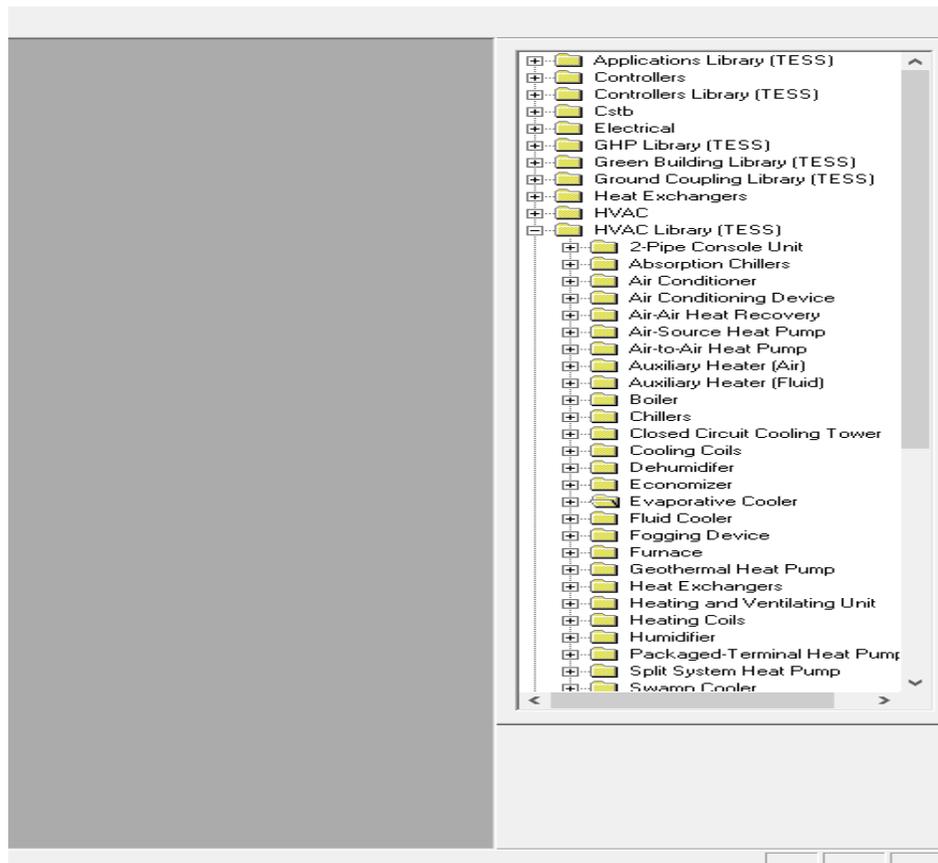


Figure IV.2 : Bibliothèque de modèles (component ou TYPE).

### IV.3.2 TRNBuild :

TRNBuid est un outil permettant d'introduire les caractéristiques d'un bâtiment multizone nécessaire à la simulation thermique de celui-ci .Ses propriétés sont introduites dans « TRNSYS Simulation Studio » via le module « type56 » ainsi l'utilisateur décrit chaque zone thermique alternativement (les matériaux utilisés pour la construction des murs). [38]

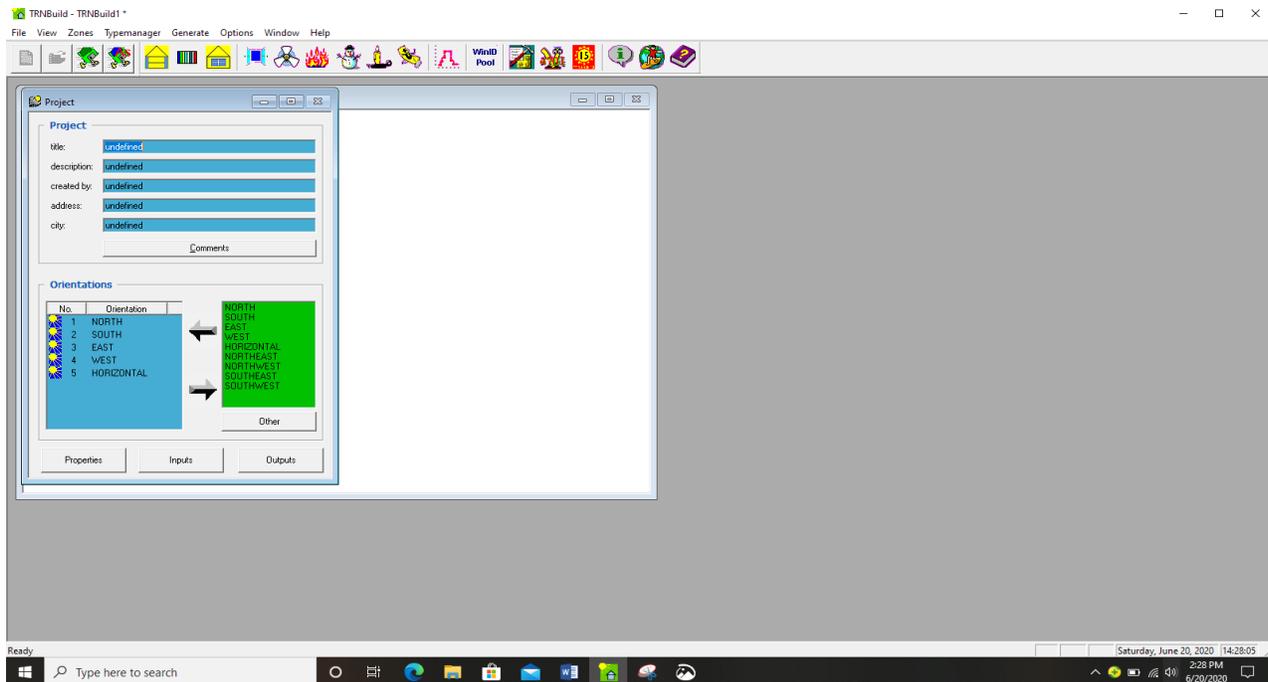


Figure IV.3 : Interface du logiciel TRNBuild.

### IV.3.3 Méteonorme :

Méteonorme contient une base de données climatique fournie par 8350 stations réparties dans le monde entier. Les valeurs horaires d'insolation globale, la température ainsi que d'autres paramètres météorologiques peuvent alors être générés à partir d'elles, par l'intermédiaire des algorithmes de calcul inclus dans le programme. L'utilisateur peut importer ses propres données de mesure ou interpoler des données météorologiques pour n'importe quel point de la surface du globe, à partir des stations connues les plus proches.

Ces valeurs horaires peuvent être converties pour des surfaces d'inclinaison quelconque.

L'influence d'un horizon éloigné peut être modélisée à l'aide d'un éditeur graphique. [39]

### IV.3.4 Fonctionnement d'un module :

Les paramètres et les inputs sont utilisés dans le modèle pour résoudre une série d'équation (component équations dans la figure) Les "outputs" d'un TYPE (modèle, component) deviennent les "inputs" d'un autre TYPE

#### 1. Les entrées « inputs » :

Ce sont les données à introduire avec un niveau de définition minimum, qui seront nécessaire et pourront être stockées selon l'ergonomie du logiciel dans des bibliothèques que le concepteur peut utiliser. Elles concernent l'environnement physique (climat, site), le bâtiment (l'enveloppe), Les apports internes (occupant, éclairage, etc.) et les équipements (ventilation, chauffage et système de refroidissement)

#### 2. Traitement des données :

Le travail du logiciel consiste à structurer les données en fonction d'un « modèle de représentation du bâtiment » et de « modèle physico-mathématique » des phénomènes physiques retenus, puis à produire des résultats.

#### 3. Les sorties « outputs » :

C'est l'ensemble des informations fournies par le logiciel à l'issu d'une exécution. La déclaration « simulation » permet de définir le début, le pas du temps et la fin de simulation.

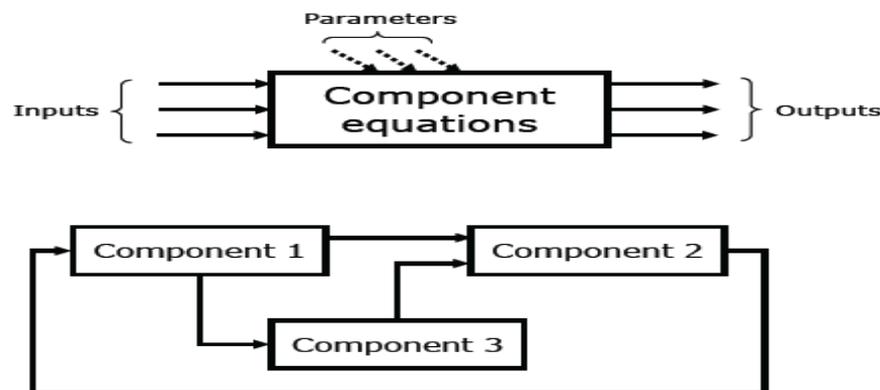
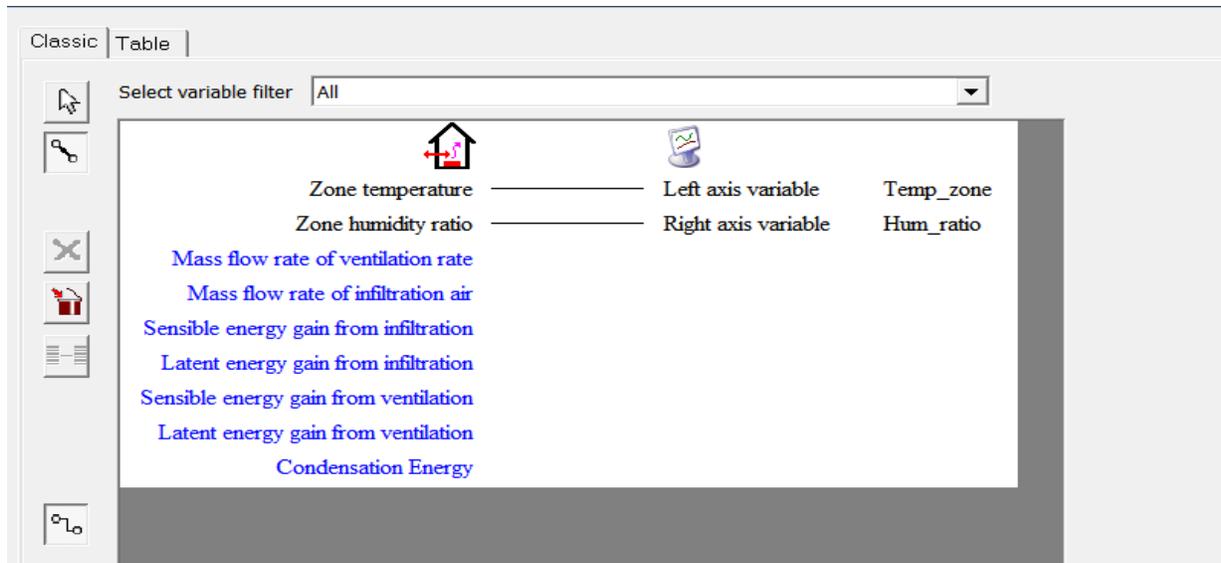


Figure IV.4: Fonctionnement d'un module.



**Figure IV.5 :** exemple, 2 des 9 outputs du TYPE88 sont utilisés comme inputs au TYPE65d (online plotter).

### **IV.4 Avantages du logiciel :**

Grâce à son approche modulaire TRNSYS est extrêmement flexible pour modéliser un ensemble de systèmes thermiques à différents niveaux de complexité. L'accès au code source permet aussi aux utilisateurs de modifier ou d'ajouter des composants qui ne figurent pas dans la bibliothèque d'origine. Cela en offrant une vaste documentation des sous programmes y compris l'explication, usage usuels et équations de base. Enfin la définition de la période de la simulation est très souple avec le choix du pas de temps du début à la fin de la simulation.

### **IV.5 Inconvénients de logiciel :**

TRNSYS ne dispose pas de valeur ou de système par défaut, l'utilisateur doit donc posséder et introduire l'ensemble exhaustif de ses données définissant le bâtiment et le système. [38] [40]

### **IV.6 Simulation et résultats :**

Afin de mesurer les besoins en climatisation dans l'étage dans les conditions de confort 24 °C et 50 % RH, on doit savoir les apports externes et internes.

La première étape c'est injecter le plan de notre projet dans TRNSBUILD avec toutes ses caractéristiques architectural et toutes les gains ce qui influe sur la température interne du l'étage et ce dernier sont les suivants :

#### **IV.6.1 Gain occupant :**

Pour le but de calcules cette gain nous avons utilisé le taux de gain de chaleur des occupants des espaces climatisés sur le degré d'activité assis et écriture très légères inspire par les normes ISO 7730, l'étage a 306 personnes divise comme suite :

- 40 personnes dans les grandes salles
- 20 personnes dans les petites salles
- 2 personnes dans chaque bureau

Les personnes assistent tous les jours de 8h à 16h sauf le vendredi

#### **IV.6.2 Gain éclairages artificielle et machines électriques :**

Notre projet contient 16 ordinateurs de 230 W avec une puissance total de l'éclairage artificielle estime à 340 W/m<sup>2</sup> avec 40 % partie convectif (*Leuchtstoffröhren*).

Les ordinateurs et l'éclairage fonctionne selon la présence de personnes.

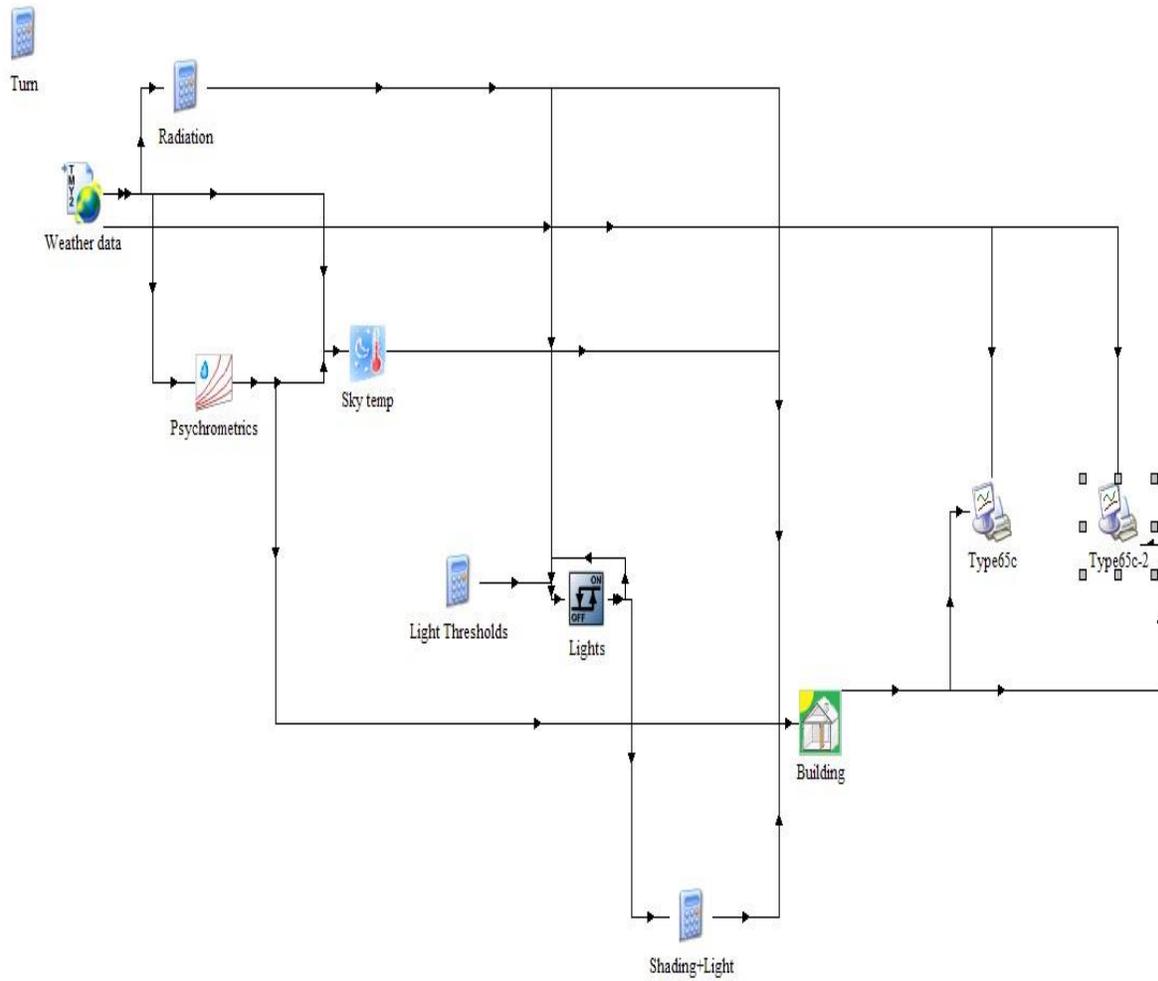
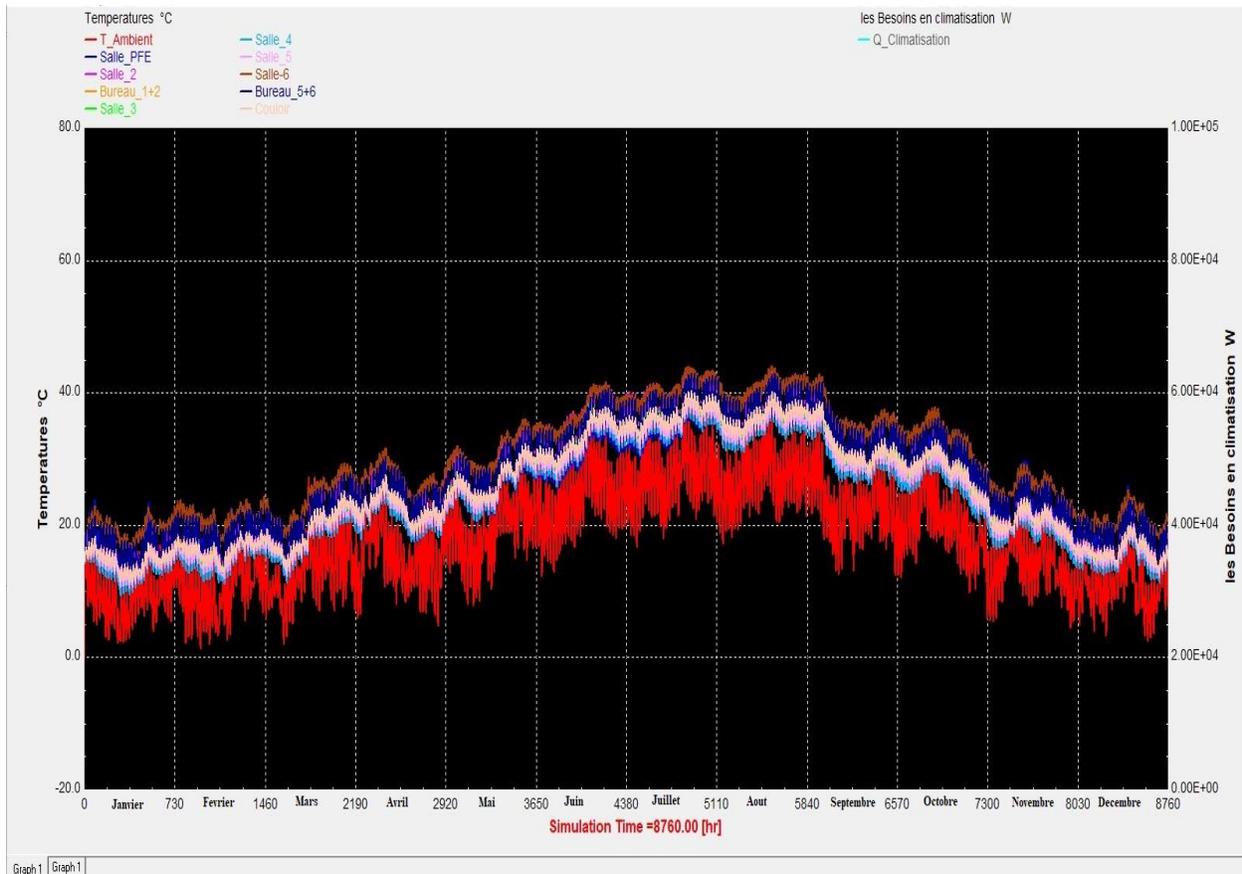


Figure IV.6 : TRNSYS studio projet (Besoin en climatisation).



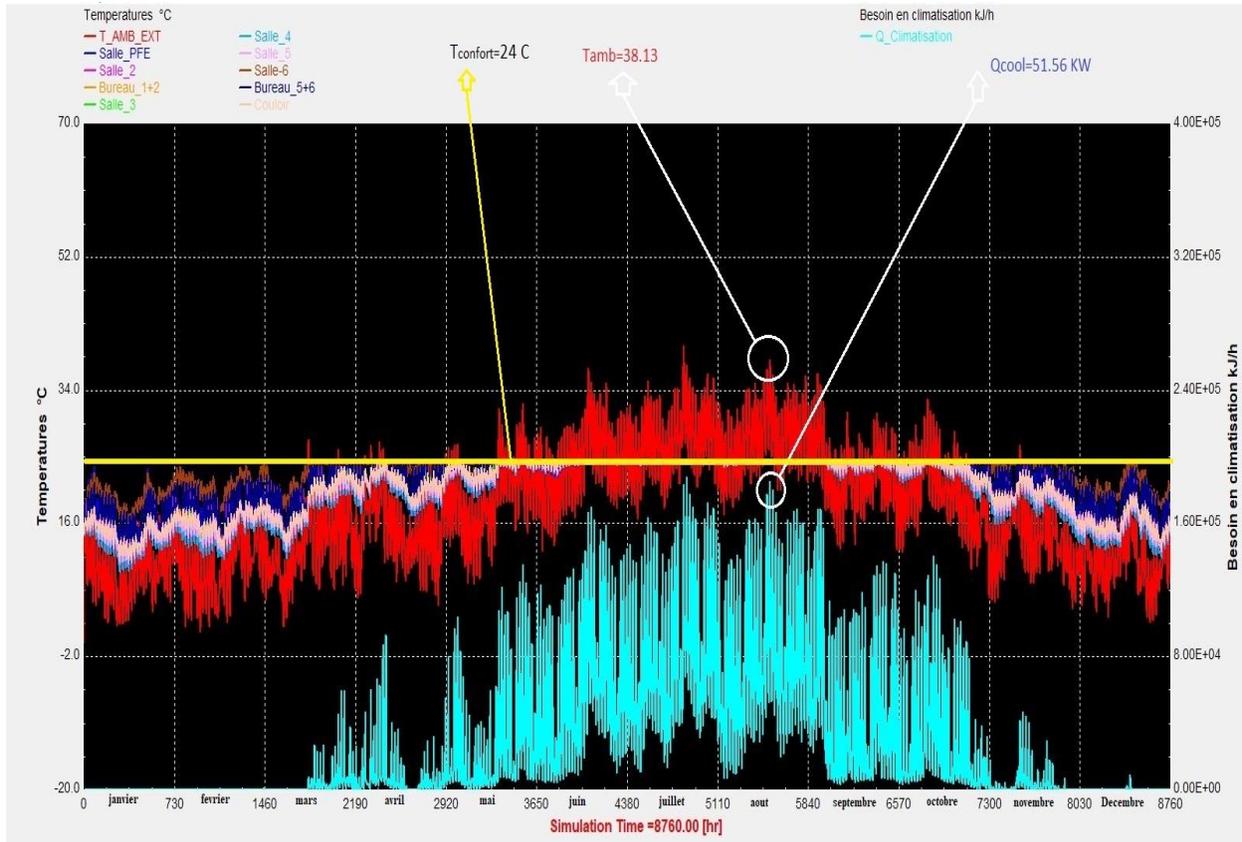
**Figure IV.7 :** variation de la température pendant l'année.

La Figure IV.7 présente les variations de la température ambiante extérieure ainsi que les différentes températures des bureaux, salles d'enseignement et Labo du 2<sup>ème</sup> étage du département de mécanique pendant l'année.

Dans notre étude, on s'est basé sur la période estivale (période où les besoin en climatisation sont importantes), à savoir, l'intervalle 2920h au 7000h, dans cette période, la température intérieur peut atteindre les 43,5°C.

Dans les deux intervalles 0h-2920h et 7000h-8760h illustrés par la Figure IV.7, qui reflètent la période où les températures ambiantes chutent (période hivernale), le chauffage solaire devient primordiale pour assurer le confort annuel du 2<sup>ème</sup> étage de département.

## CHAPITRE IV : Simulation et résultats



**Figure IV.8 :** Les besoins en climatisation en pendant l'année.

La Figure IV.8 illustre la variation annuelle de la puissance de climatisation  $Q_{clim}$  pour assurer la température de confort  $T_{confort} = 24^{\circ}\text{C}$ , on remarque que les besoins en climatisation se situent principalement dans la période de Mai jusqu'au mois d'Octobre, l'augmentation de la puissance de climatisation est de la même allure que la température ambiante.

Le point correspondant à l'heure 5536h est choisi comme un repère moyen maximal pour toute notre simulation.

Les résultats (pour le point 5536h) sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Temps	$T_{amb}$	$T_{zone}$	$T_{confort}$	$Q_{clim}$
5536	38.13 °C	43.5 °C	24°C	51.56 KW

### IV.7 Réalisation le cycle de rafraîchissement à dessiccation solide :

Dans le but de réaliser le cycle dessiccation solaire en 2 modes, à savoir, par ventilation et recirculation, nous avons choisi les mêmes paramètres des composants à la manière suivants :

Débit d'air de process, il est maintenant réglé à 6 Kg/s, une valeur permettant d'obtenir un respect satisfaisant de la consigne pour une consommation d'énergie maîtrisée

- Débit d'air de process :  $m_p=6$  Kg/s
- Débit d'air de régénération :  $m_R=m_p*0.6=3.6$  Kg/s [41]

Selon les technologies actuelles par des entreprises mondiales par exemple (Munters) [42], nous supposons que :

- Efficacité de l'échangeur :  $\varepsilon=0.9$
- Efficacité de l'échangeur rotatif :  $\varepsilon=0.85$
- Efficacité du refroidisseur par évaporation :  $\varepsilon=0.9$

Concernant l'air chargé dans les salles il est partitionné comme : [43]

$$airchange = \frac{m_p * x_v}{V_z} \quad (IV.1)$$

Air change : Débit d'air de climatisation fournie dans chaque zone [1/h]

$V_z$  : Volume spécifique de la zone (Kg/h)

$x_v$ : Pourcentage de volume de la zone par rapport le volume total d'étage (fraction)

Air change=5.2 (1/h) donc le volume d'air va changer complètement **5.2 fois** par heure dans chaque zone de d'étage.

## IV.7.1 Mode ventilation :

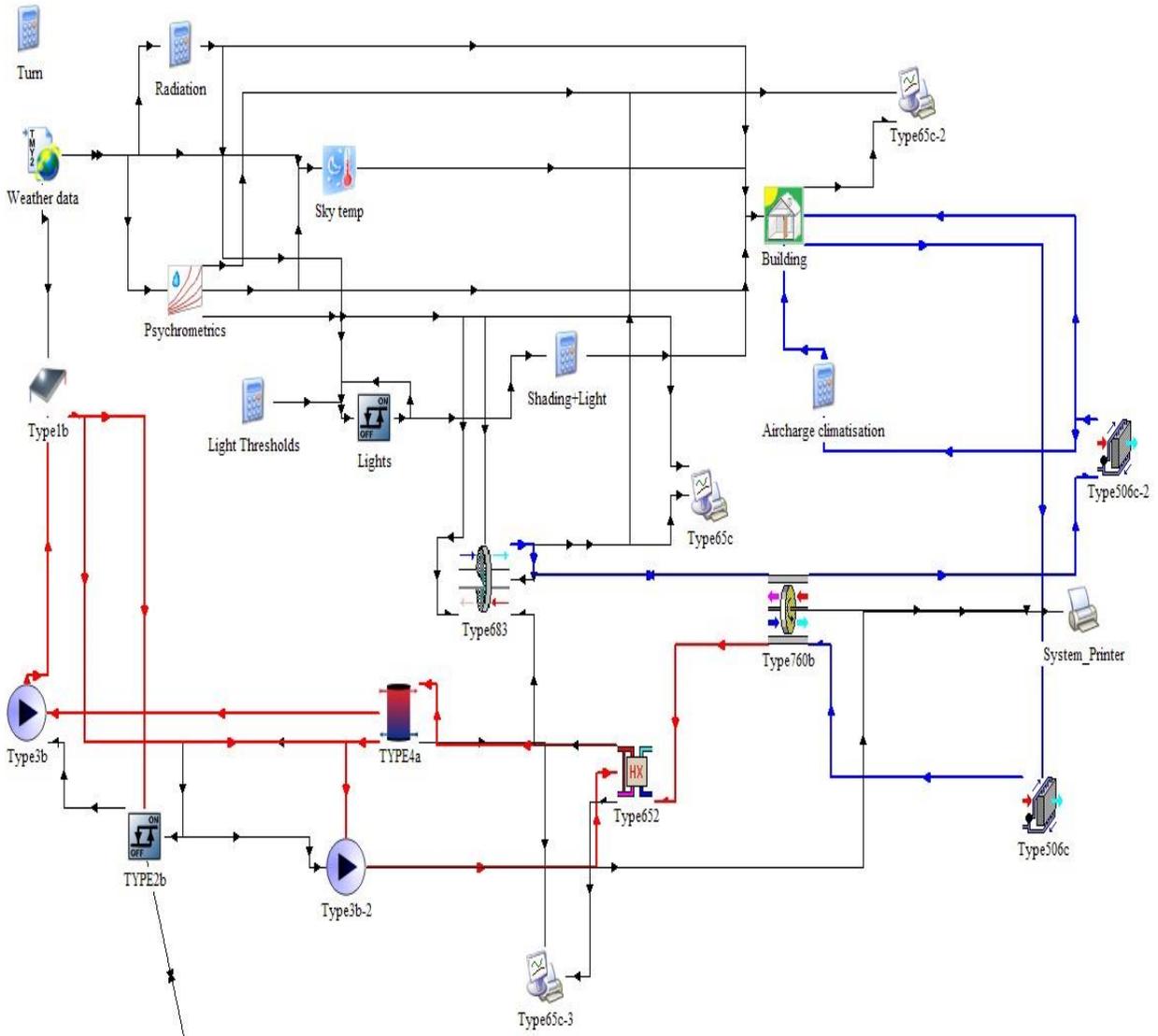
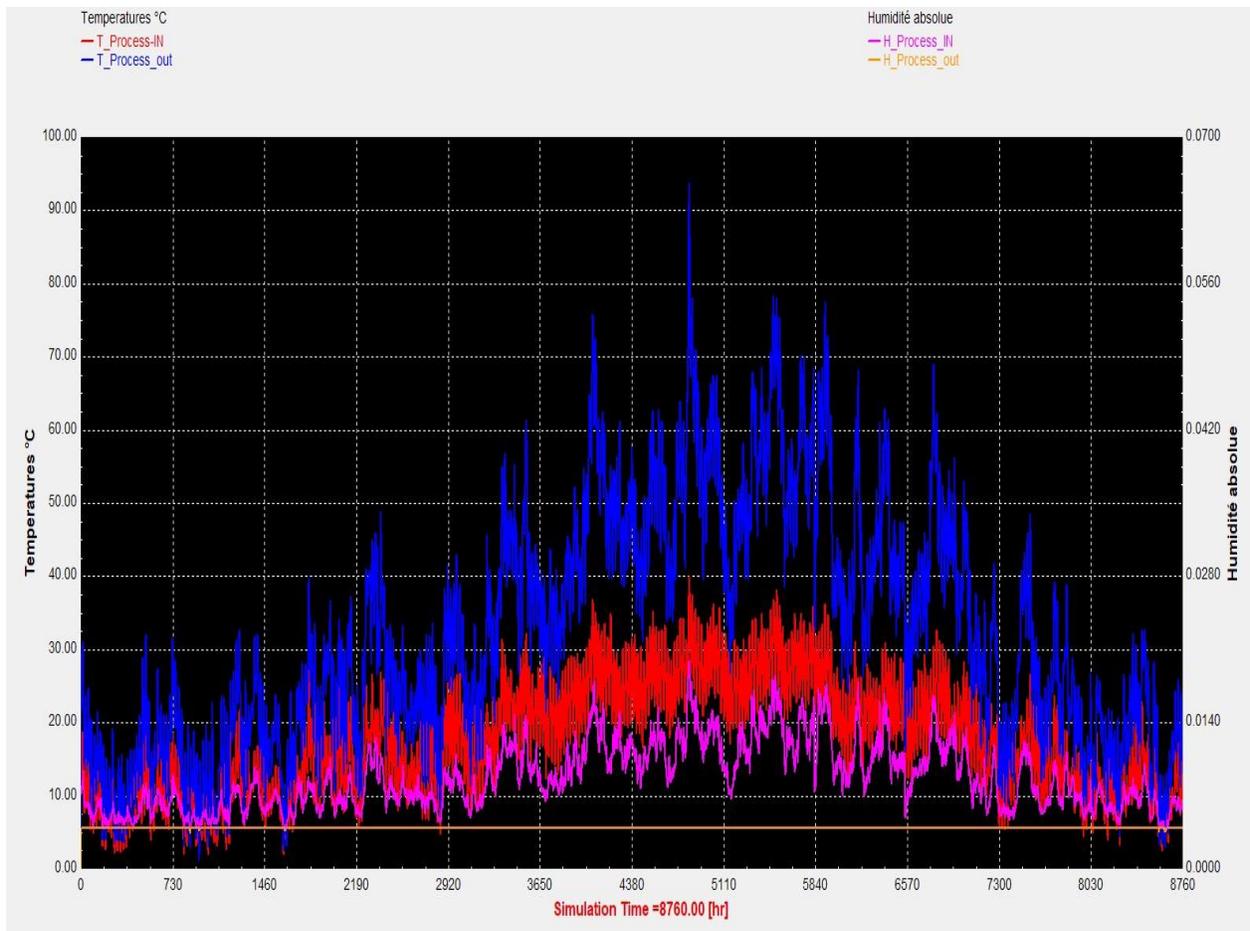


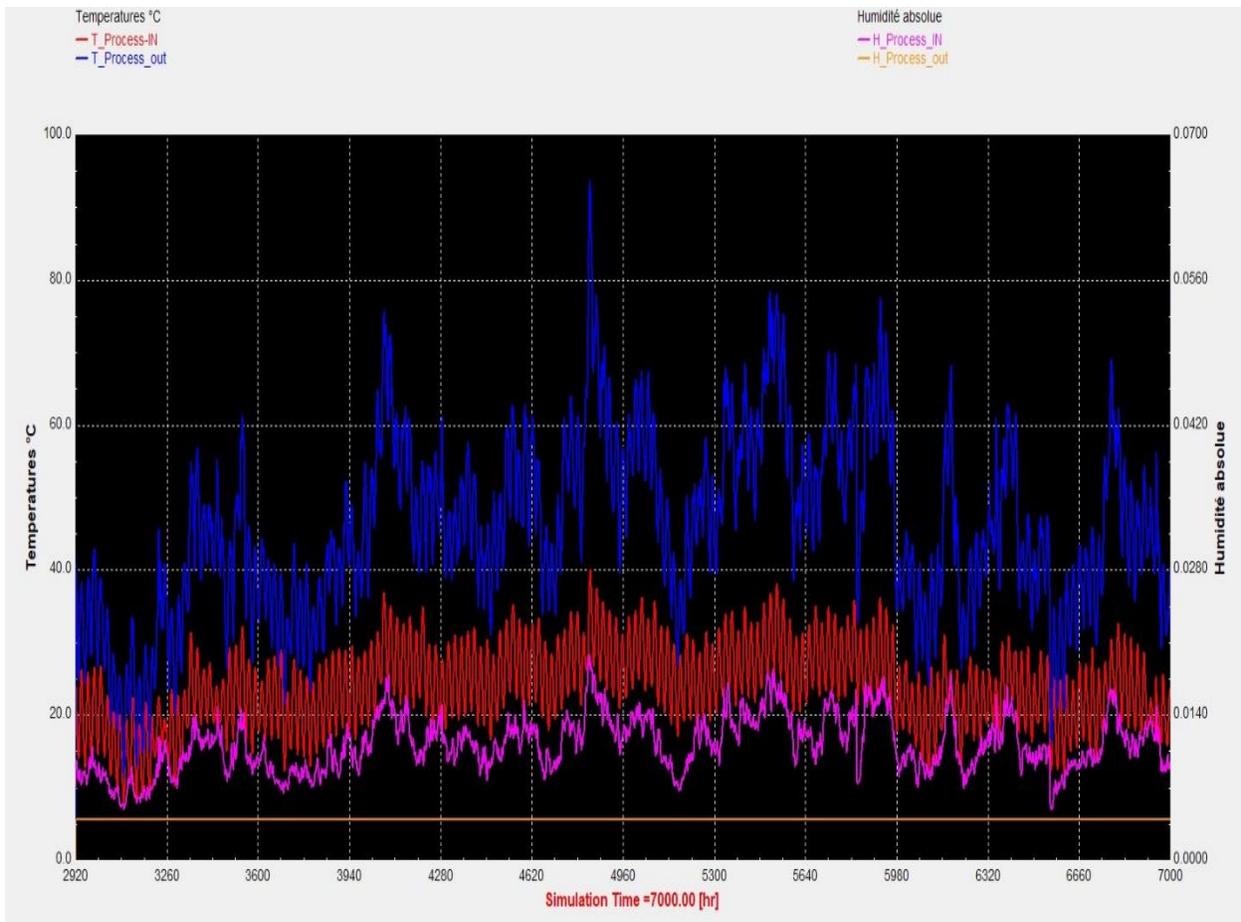
Figure IV.9 : Représentation de cycle dessiccation solaire TRNSYS (mode ventilation)



**Figure IV.10 :** la variation de la température et humidité absolue de l'air de process en cas d'entrée et de sortie de la roue dessiccante (**mode ventilation**).

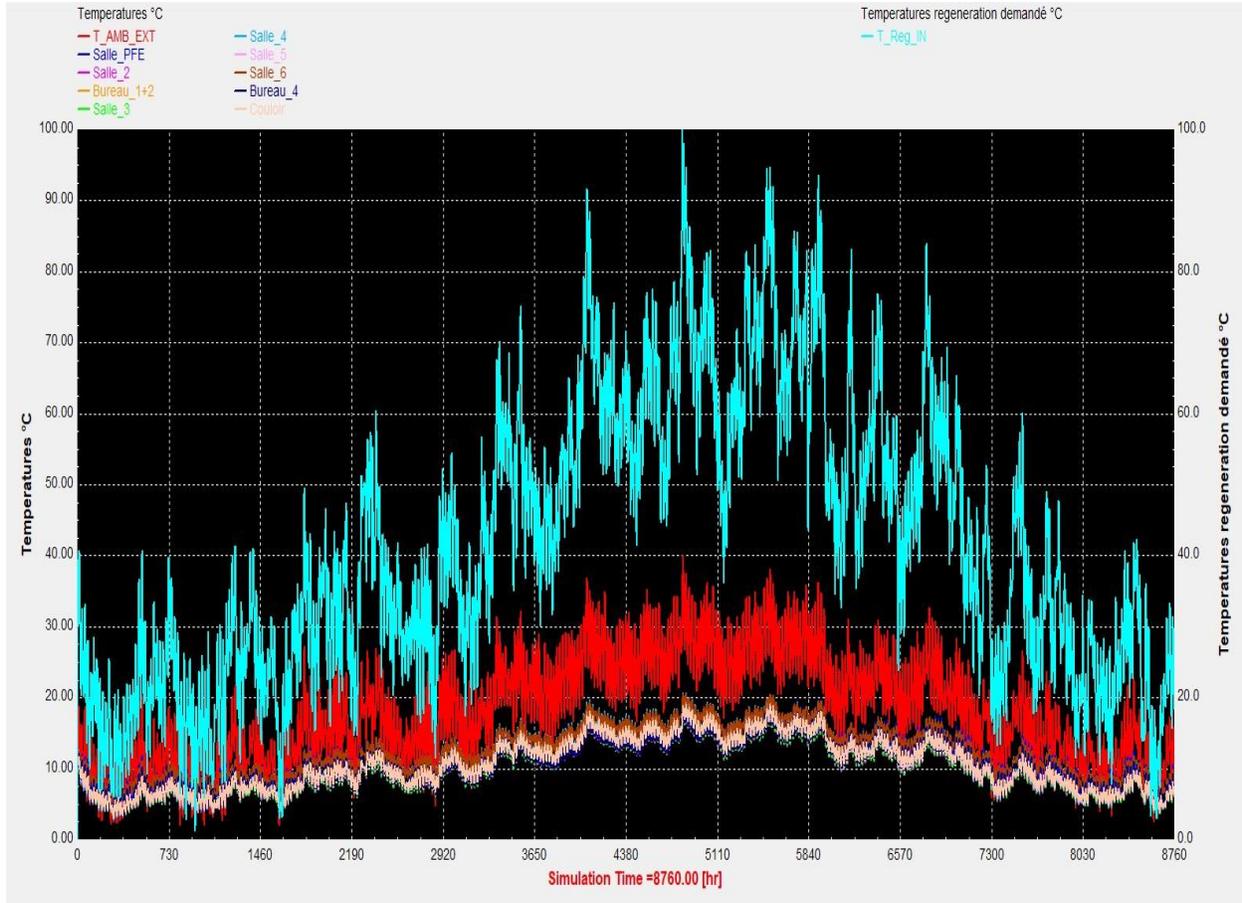
La Figure IV.10 représente la variation des températures et d'humidités absolue de l'air de process à l'entrée et à la sortie de la roue dessiccative.

On observe clairement que l'humidité de l'air en entrée du process ( H-process-in ) diminue jusqu'à atteindre le point de consigne (0.004 kg/kg) . A cause de ce retrait de grande partie d'humidité, une augmentation de température (T-process-out) est observée.



**Figure IV.11** : la variation de la température et humidité absolue de l'air de process en cas d'entrer et de sorite de la roue dessiccative pendant la période estivale (**mode ventilation**).

Les mêmes résultats sont présentés en figure IV.11 pour la période estivale. Les résultats dans cette figure sont plus claires et présente le mieux les variations des températures et d'humidité en fonction du temps.



**Figure IV.12 :** variation de la température des zones et régénération requise pendant l'année (mode ventilation).

La Figure IV.12 présente la variation des températures des zones de climatisation (salles, bureaux et Laboratoires) ainsi que la température de régénération requise au cours de l'année.

On observe clairement que la variation des températures à l'intérieur des locaux est plus stable et varie de 15 à 20 °C pour la période estivale, ce qui donne une diminution de presque 15°C par rapport à la température extérieure.

Pour la température de régénération, on remarque que cette dernière augmente en fonction de la température extérieure, pour atteindre sa valeur maximale à environ 96°C en pleine période estivale.



**Figure IV.13 :** variation de la température des zones et régénération requise pendant la période estivale (**mode ventilation**).

La figure IV. 13 présentes les mêmes résultats pour seulement la période de climatisation, à savoir, du 2920 au 7000 h d'étude.

D'après la figure IV.13, la température de régénération est prise à 96 °C, cette température nous a permis de calculer et de dimensionner la puissance solaire nécessaire pour assurer le séchage d'air de sortie, ainsi déterminer la surface de captation solaire et le volume de stockage correspondant.

### A.1 Dimensionnement de la boucle solaire :

La capacité minimale ( $C_{\min}$ ) est déterminée en comparant la capacité du flux de fluide côté chaud à la capacité du flux de fluide côté froid. Les capacités de chaque côté sont calculées sur la base des équations :

$$C_{\text{chaud}} = m \cdot C_{p\text{chaud}} \quad (\text{IV.2})$$

$$C_{\text{froid}} = m \cdot C_{p\text{froid}} \quad (\text{IV.3})$$

Avec :

$m$  : débit massique [Kg/s]

$C_{p\text{chaud}}$  et  $C_{p\text{froid}}$  : Chaleur spécifique du fluide chaud et froid respectivement [kJ/kg.K].

- L'énergie transférée à travers l'échangeur de chaleur est donné par l'équation [40]

$$Q_{\text{échangeur}} = \varepsilon \cdot C_{\min} (T_{\text{chaud,in}} - T_{\text{froid,out}}) \quad (\text{IV.4})$$

- La température du fluide sortant des côtés froid et chaud de l'échangeur de chaleur sont donnés par des équations

$$T_{\text{chaud,out}} = T_{\text{chaud,in}} - (Q_{\text{échangeur}} / C_{\text{chaud}}) \quad (\text{IV.5})$$

$$T_{\text{froid,out}} = T_{\text{froid,in}} + (Q_{\text{échangeur}} / C_{\text{froid}}) \quad (\text{IV.6})$$

On a:

$$T_{\text{froid,out}} = 96 \text{ °C}$$

$$T_{\text{froid,in}} = 68.04 \text{ °C}$$

Donc: 
$$Q_{\text{échangeur}} = (T_{\text{froid,out}} - T_{\text{froid,in}}) \cdot C_{\text{froid}} \quad (\text{IV.7})$$

## CHAPITRE IV : Simulation et résultats

Application numérique :

$$Q_{\text{échangeur}} = (96-68.04).1.012.12960$$

$$Q_{\text{échangeur}} = 366710 \text{ (KJ/h)}$$

On suppose :

$$C_{\text{chaud}} = C_{\text{min}}$$

Alors :

$$C_{\text{min}} = Q_{\text{échangeur}} / \varepsilon \cdot (T_{\text{chaud,in}} - T_{\text{froid,in}}) \quad (\text{IV.8})$$

Application numérique :

$$m_{\text{chaud}} = Q_{\text{échangeur}} / 0.9 \cdot C_{p\text{chaud}} (99.85-68.04)$$

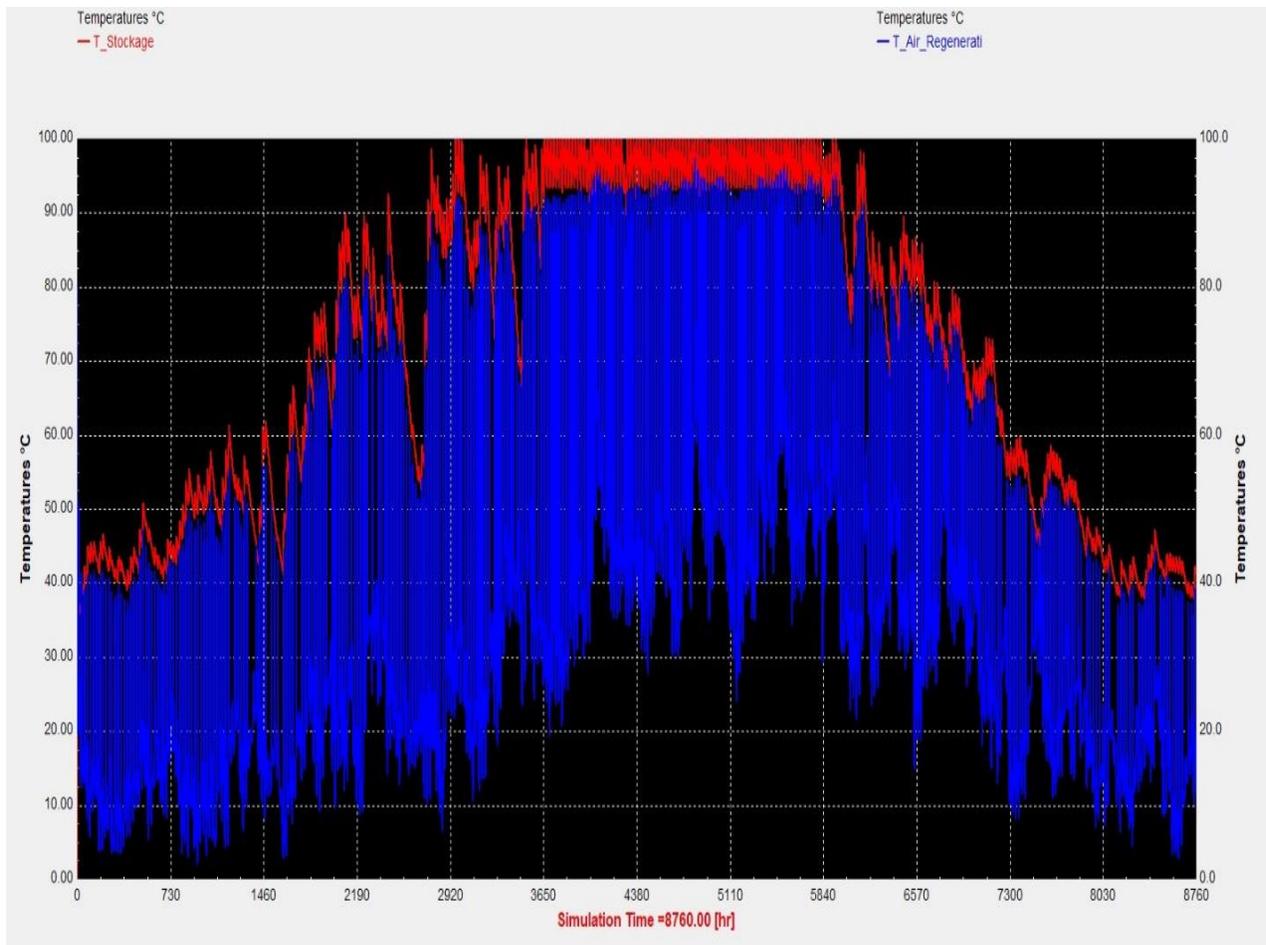
$$m_{\text{chaud, requis}} = 0.85 \text{ Kg/s}$$

Selon A. Duffie et A. Beckman [25], le débit d'eau chaud qu'il nous faut on peut déduire la surface de la capture solaire nécessaire pour lui ainsi que le volume de ballon de stockage.

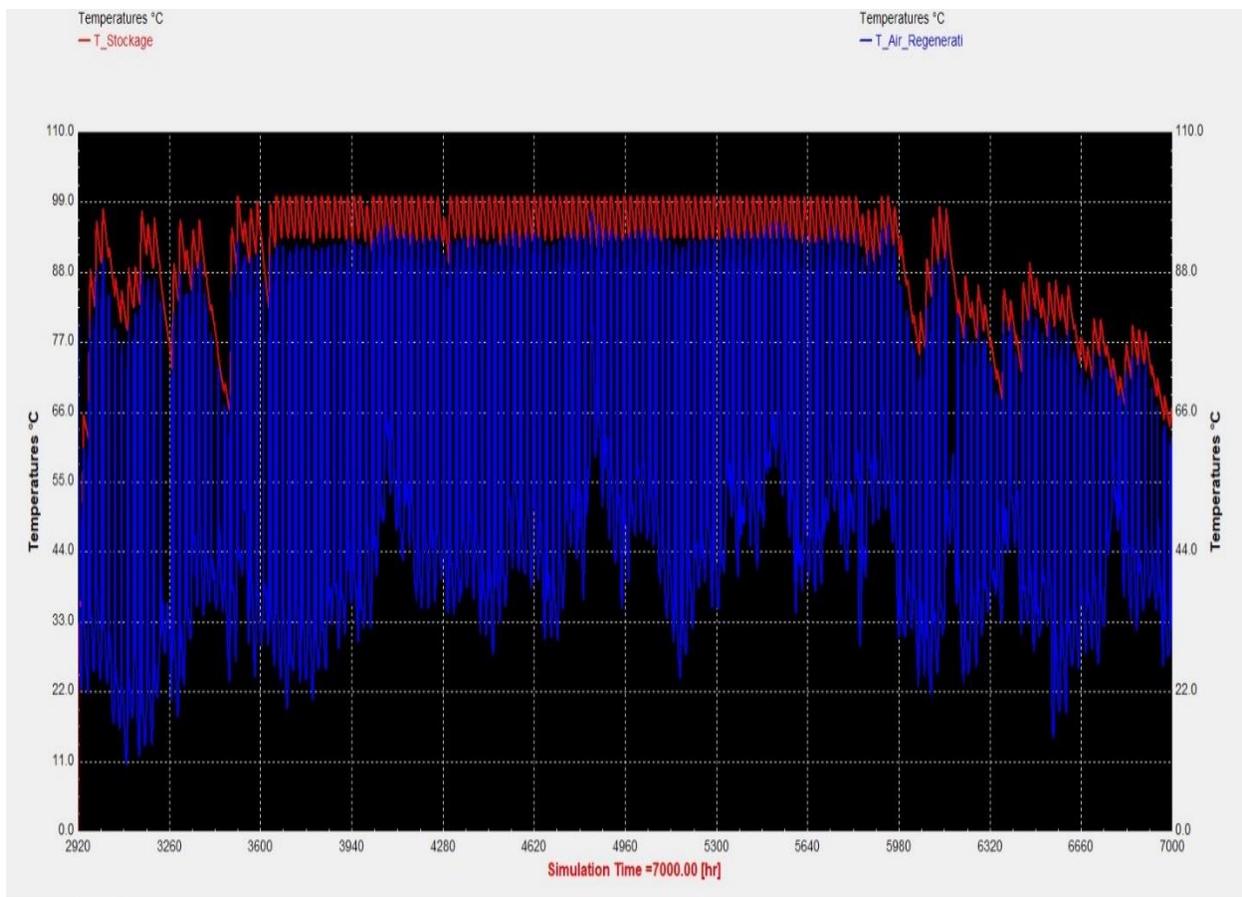
- $1\text{m}^2$  de capteur solaire = 0.02 Kg/s de débit
- $1\text{m}^2$  de capteur solaire = 75 L de stockage

Donc :

- $42.5\text{ m}^2$  de capteur solaire = 0.85 Kg/s de débit
- $42.5\text{ m}^2$  de capteur solaire = 3187.5 L de stockage



**Figure IV.14 :** Variations de la température d’air de régénération assuré par l’échangeur pendant l’année (mode ventilation).



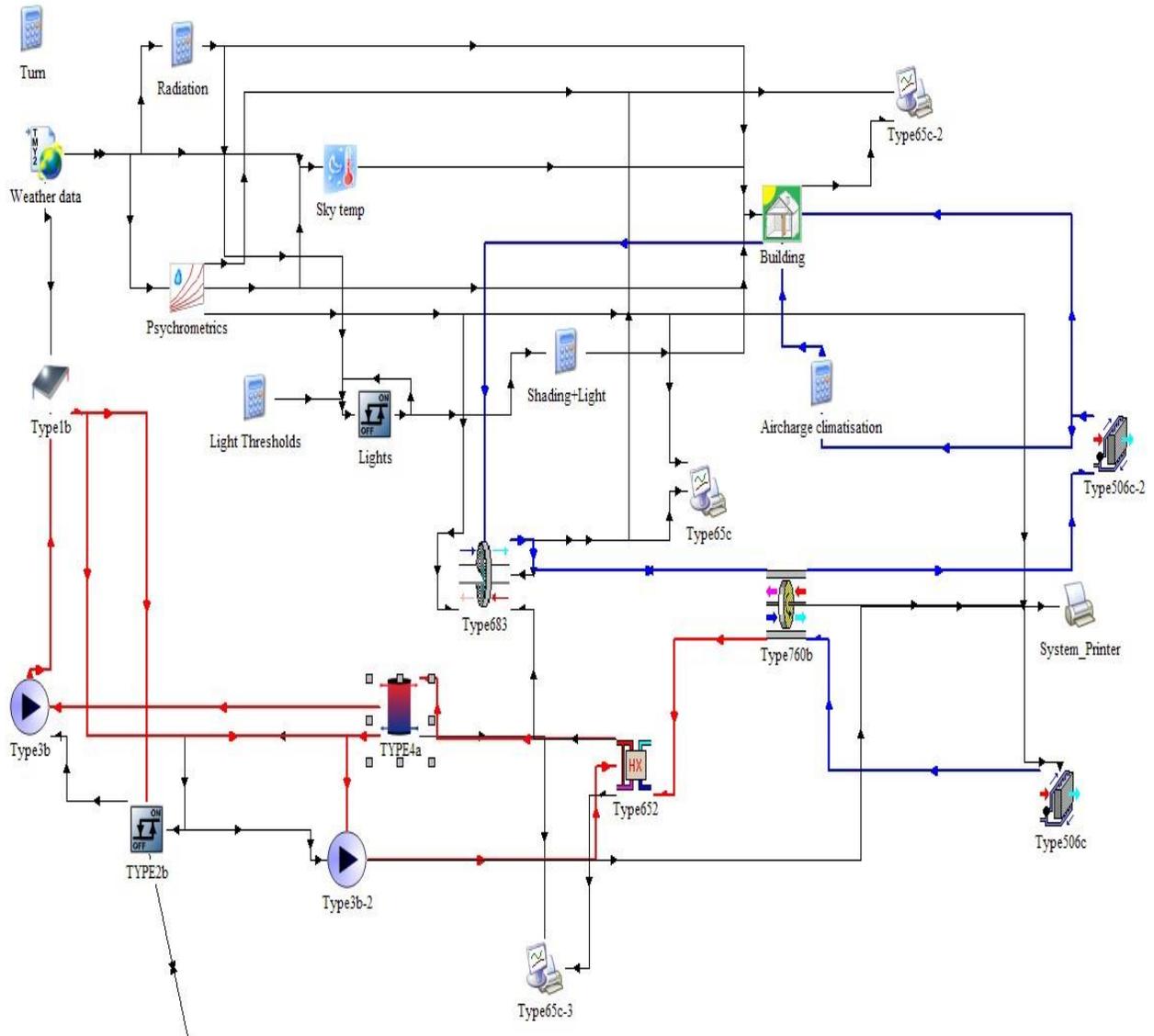
**Figure IV.15 :** Variations de température d’air de régénération assuré par l’échangeur pendant la période estivale (**mode ventilation**).

La Figure IV.14 représente les variations de température d’air de régénération assurée par l’échangeur de chaleur intégré dans le système pendant l’année, on remarque clairement que la température de stockage chaud assure les besoins thermiques requise par le système.

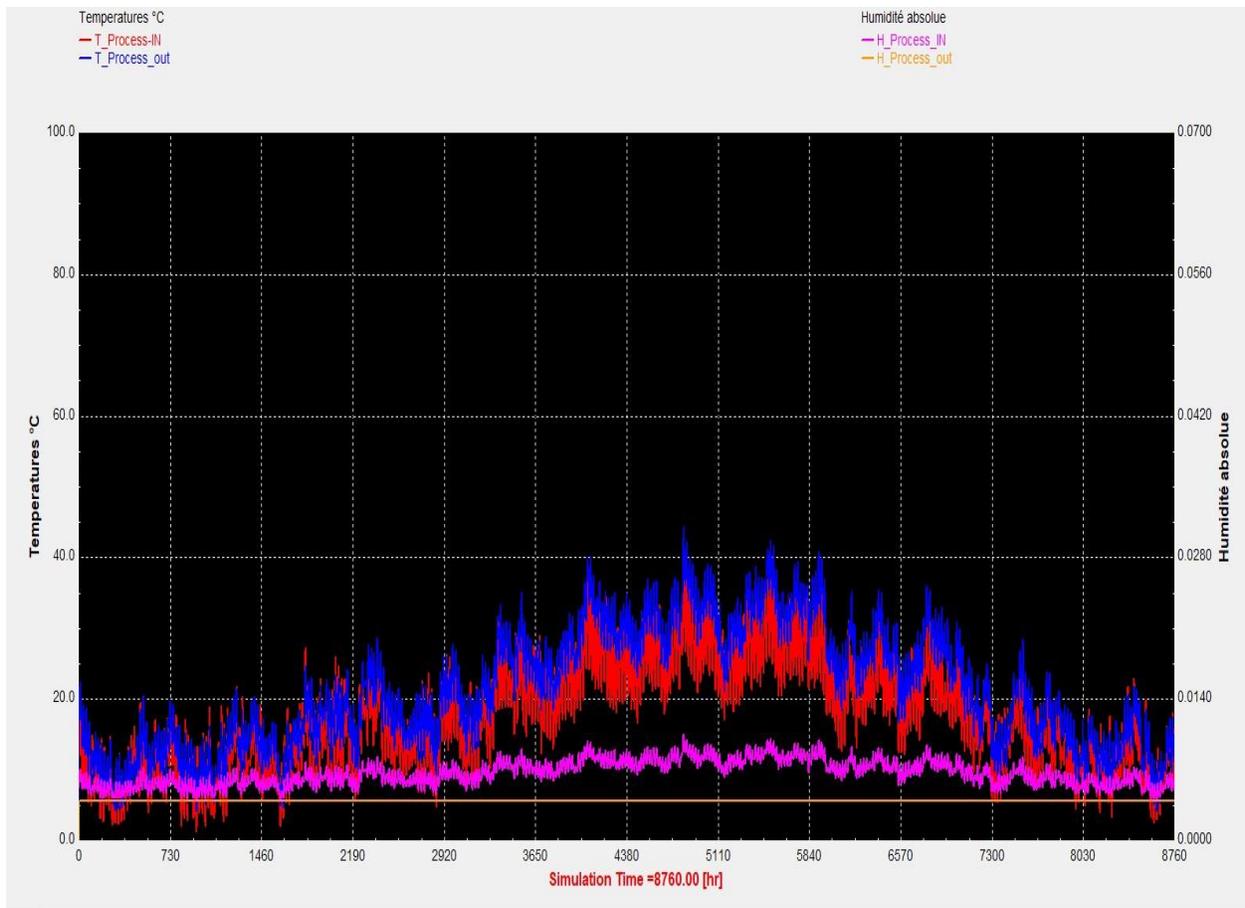
La température de stockage est en fonction du rayonnement solaire disponible, pour cela, on remarque que la température maximale de stockage est atteinte en plein période estivale.

Les résultats de dimensionnement de l’échangeur de chaleur nous ont permis de s’assurer que l’air de régénération (T-air-Régénération) chauffé dans l’échangeur est ressorti à une température de régénération  $T=96^{\circ}\text{C}$  (la régénération du Silica-gel est assurée).

## IV.7.2 Mode recirculation :



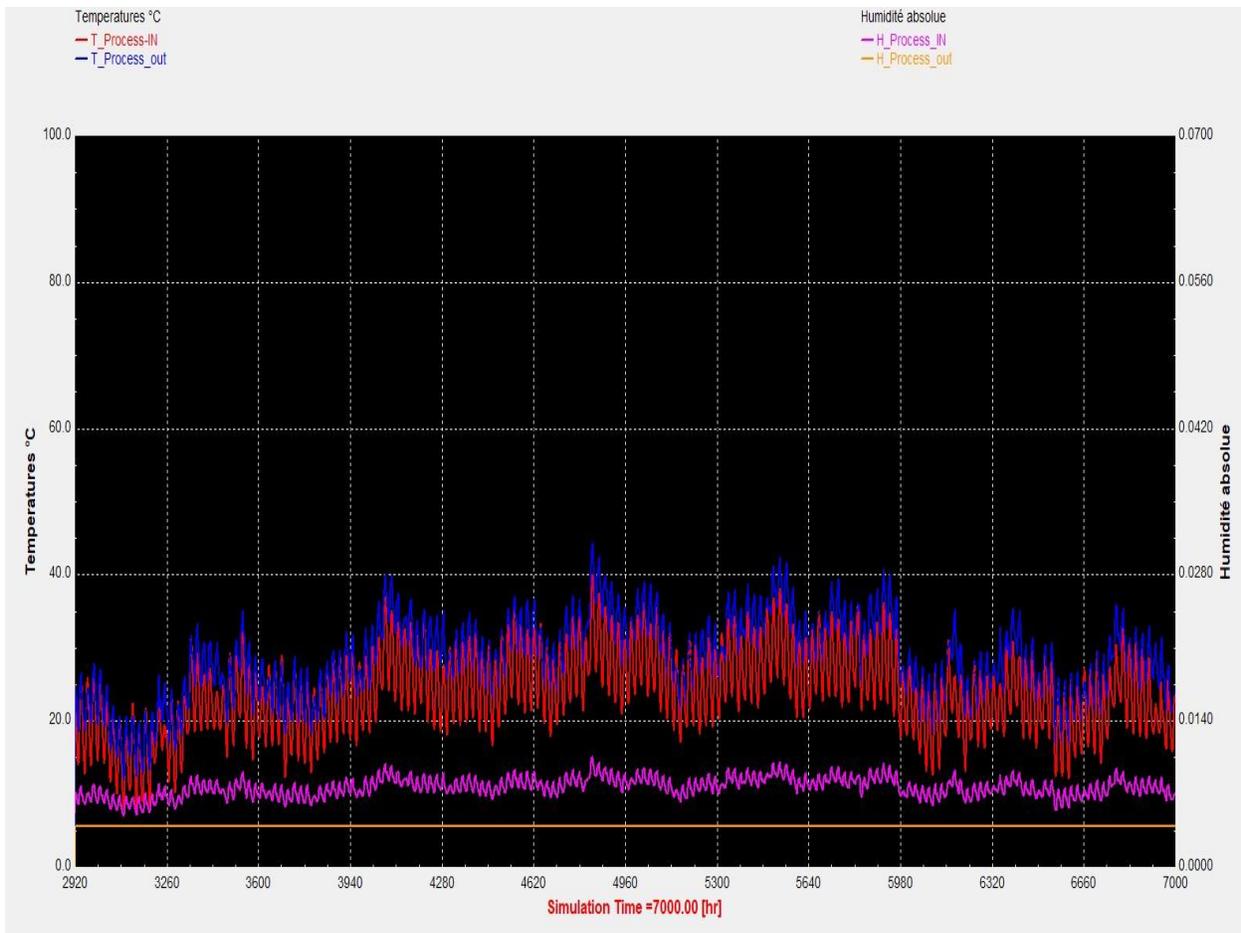
**Figure IV.16 : Représentation de cycle dessiccation solaire TRNSYS (mode recirculation).**



**Figure IV.17 :** La variation de la température et humidité absolue de l'air de process en cas d'entrer et de sortie dans la roue dessiccative pendant l'année (**mode recirculation**).

La Figure IV.17 représente la variation des températures et d'humidités absolues de l'air de process à l'entrée et à la sortie de la roue dessiccative.

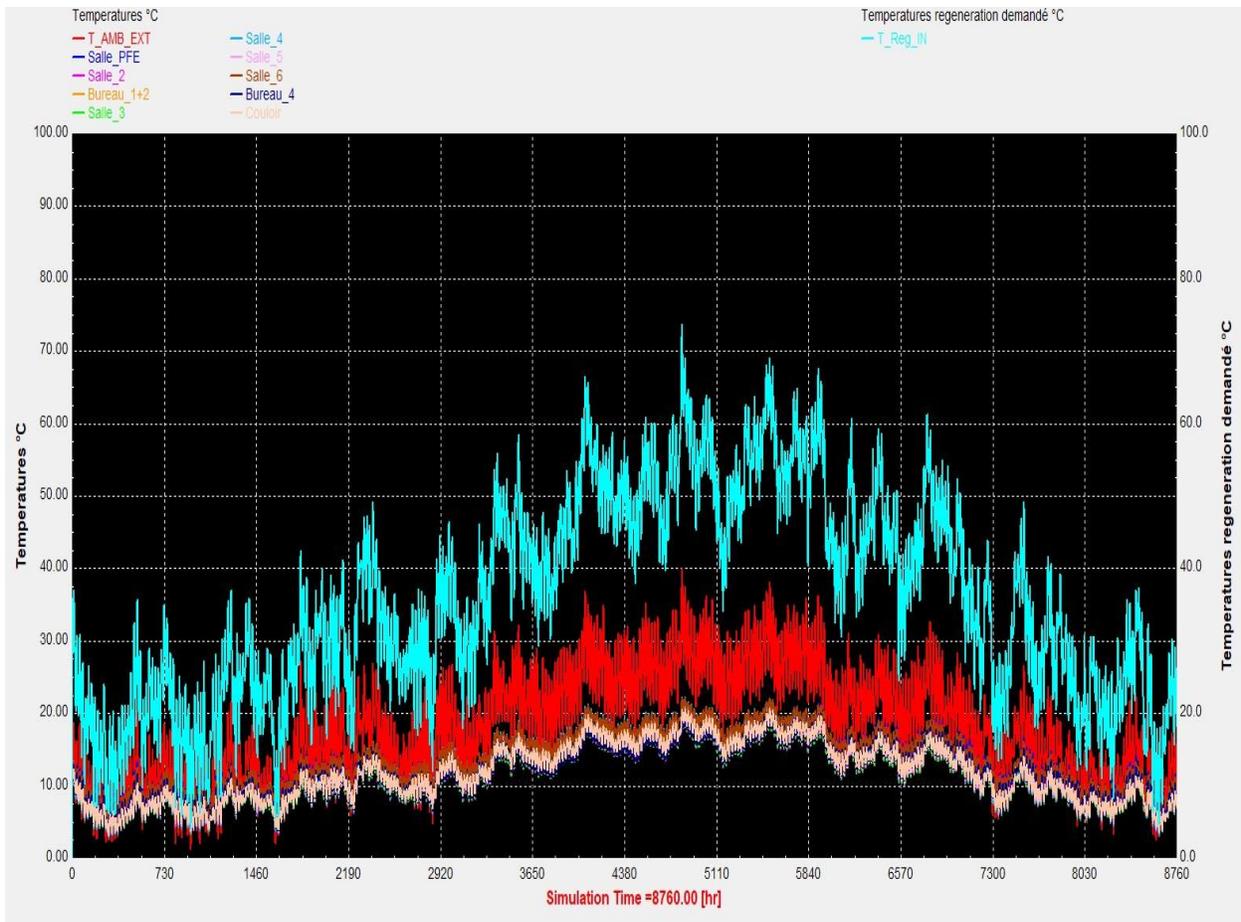
On observe clairement que l'humidité de l'air de process à l'entrée (H-process-in) diminue jusqu'à atteindre le point de consigne (0.004kg/kg). À cause de ce retrait de grande partie d'humidité suivi par une augmentation de température (T-process-out)



**Figure IV.18 :** la variation de la température et humidité absolue de l'air de process en cas d'entrer et de sortie dans la roue dessiccative pendant la période estivale (mode recirculation).

Comparant la température d'air de process des 2 modes on constate une augmentation légère dans le mode recirculation parce que ce dernier utilise la température et l'humidité de confort (de bâtiment). (Voir Figure IV. 10).

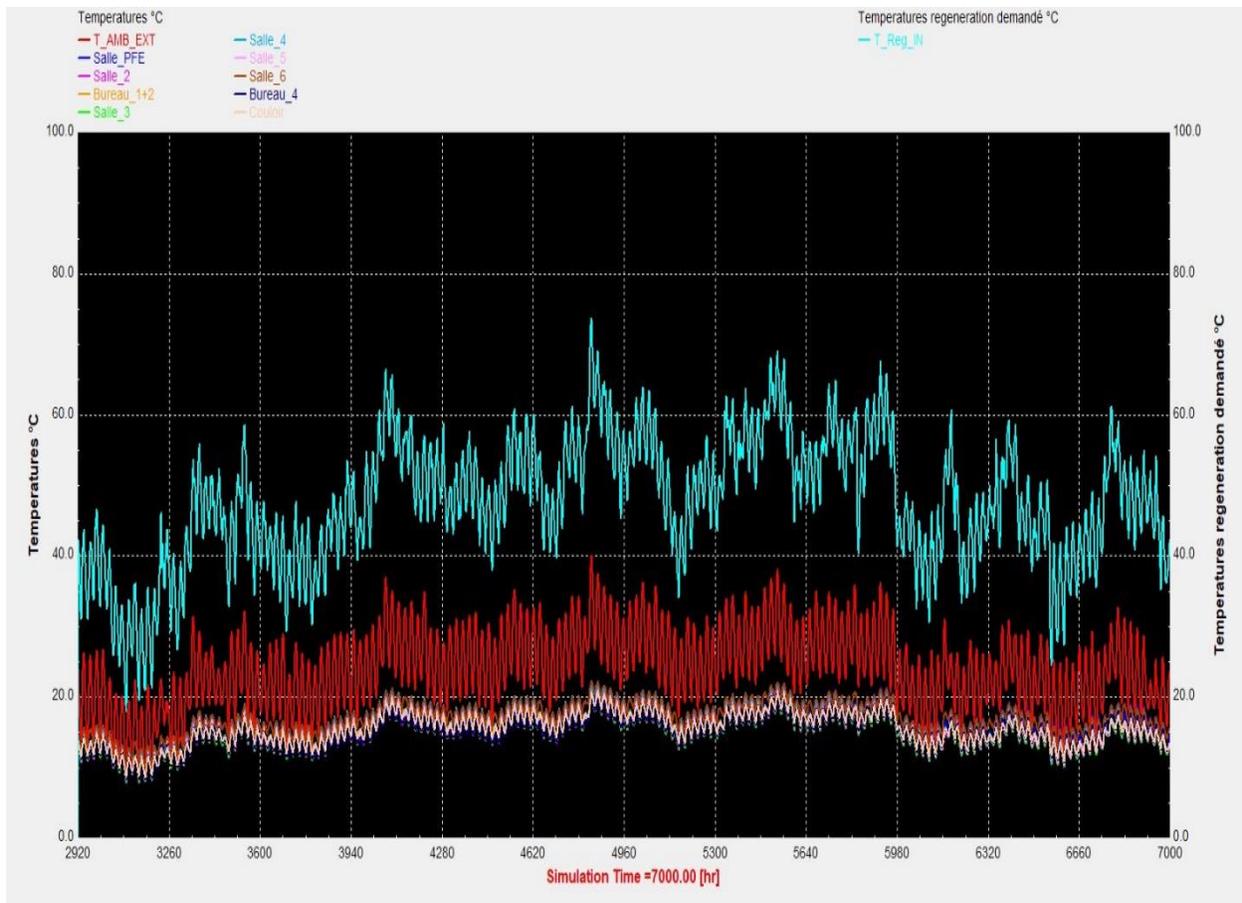
## CHAPITRE IV : Simulation et résultats



**Figure IV.19 :** variation de la température des zones et l'air de régénération pendant l'année  
(Mode recirculation).

La Figure IV.19 représente la variation des températures des zones d'étude (salles, bureaux et Labo) ainsi que la variation de la température de régénération pendant l'année.

On constate que la température de régénération augmente en fonction de la température de l'air de process (T-AMB-EXT), et cette température de régénération atteint sa valeur max à environ 70°C dans la période estivale.



**Figure IV.20 :** variation de la température des zones et l’air de régénération pendant la période estival (**Mode recirculation**).

Dans la Figure IV.20, qui illustre les mêmes résultats seulement pour la période étudiée, à savoir la période estivale, nous remarquons que la température de régénération requise par le mode recirculation est inférieure à celle du mode ventilation, cette différence est due à la nature de l’air utilisé dans le process, dans ce cas c’est de l’air froid de extrait de la zone climatisée (département) comme air de process.

## CHAPITRE IV : Simulation et résultats

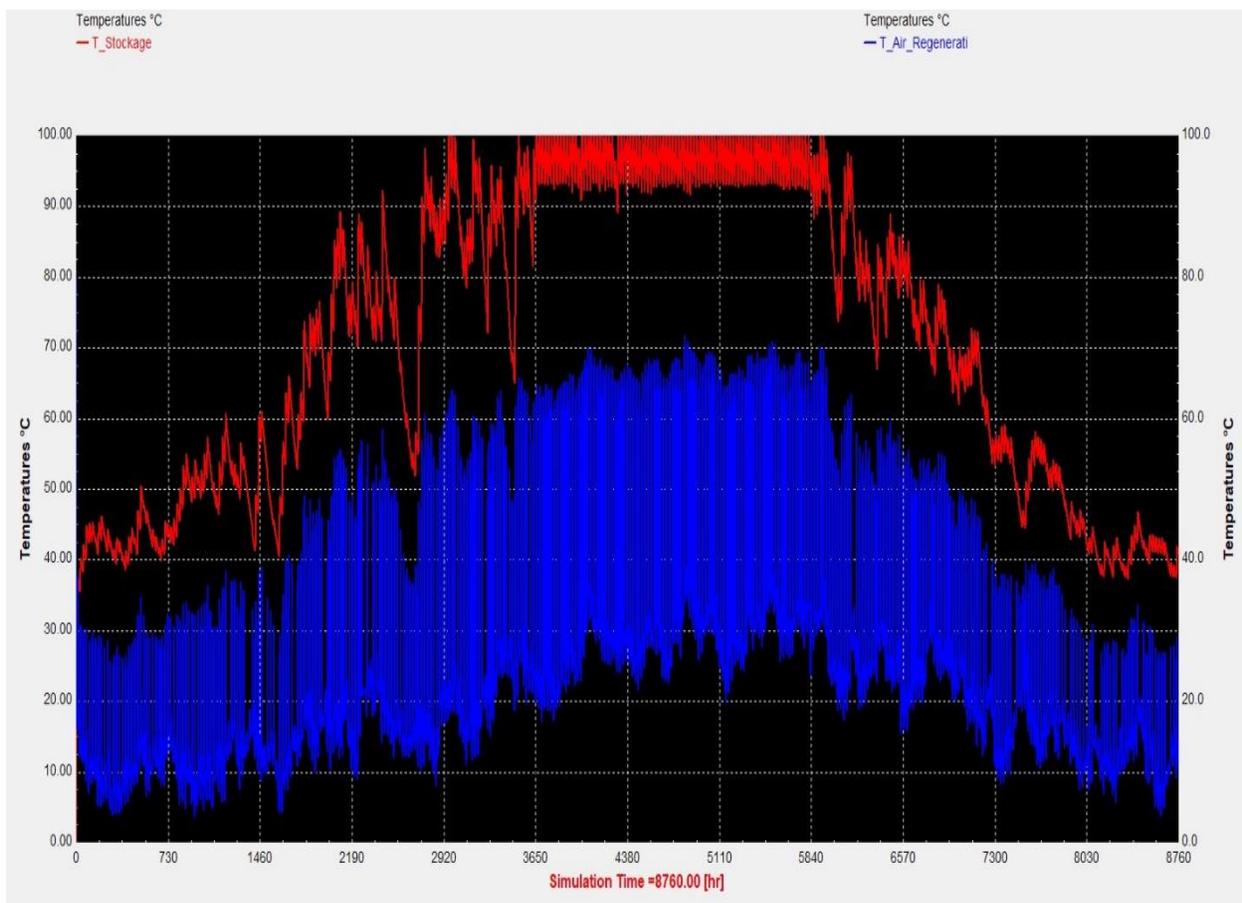
### B.1 Dimensionnement de la boucle solaire :

La puissance solaire ainsi que la surface de captation et le volume de stockage sont calculés de la même manière que dans le mode de ventilation :

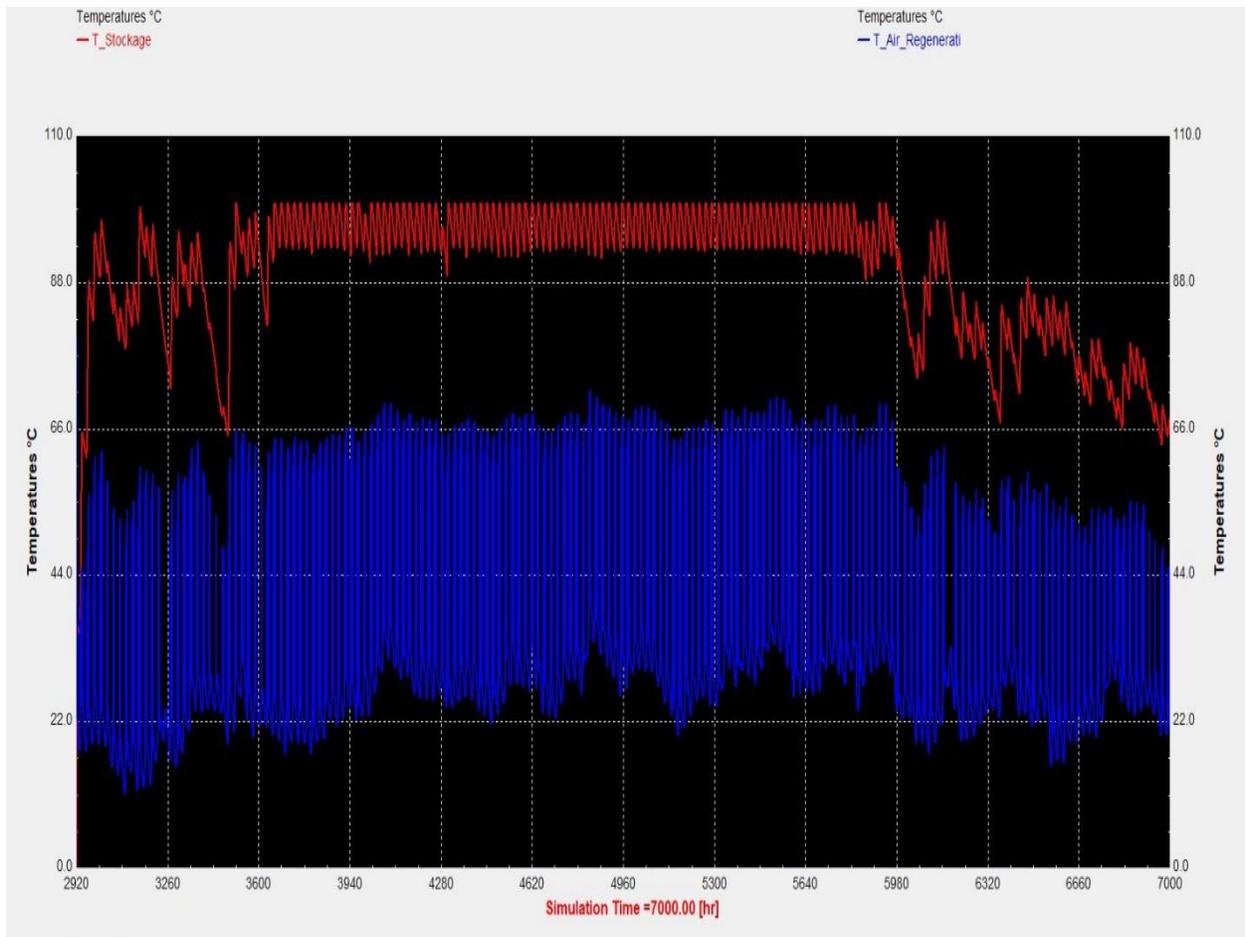
Donc :

$$m_{\text{chaud, requis}} = 0.50 \text{ kg/s}$$

- $25\text{m}^2$  de capteur solaire =  $0.50 \text{ kg/s}$  de débit
- $25\text{m}^2$  de capteur solaire =  $1875 \text{ L}$  de stockage



**Figure IV.21 :** Cette figure représente les variations de température d'air de régénération pendant l'année (mode recirculation).



**Figure IV.22 :** Cette figure représente les variations de température d’air de régénération pendant la période estivale (**mode recirculation**).

Les Figures IV.21-22 représentent les variations de température d’air de régénération assuré par l’échangeur pendant l’année, on remarque que la température de stockage est assurée par le capteur solaire qui est influé par les rayonnements solaires, cette dernière atteint le point maximal dans la période estivale.

Concernant la température de l’air de régénération (T-air-Régénération) qui est chauffé dans l’échangeur alimenté par de l’eau chaude fournit par le ballon de stockage, il ressort à une température qui assure la régénération  $T=71^{\circ}\text{C}$ .

## CHAPITRE IV : Simulation et résultats

Les résultats de simulation des deux modes d circulation sont présentés et résumés dans le tableau ci-dessous :

**Tableau IV.1:** Les résultats obtenus en 2 modes

<b>Mode</b>	<b>Temps (h)</b>	<b>T<sub>amb</sub> (°C)</b>	<b>T<sub>zone</sub> (°C)</b>	<b>T<sub>reg</sub> (°C)</b>	<b>m<sub>eau, requis</sub> (kg/s)</b>	<b>Surface de panneau solaire (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Volume stockage (L)</b>
<b>ventilation</b>	2536	38.13	22.25	96	0.85	42.5	3187.5
<b>recirculation</b>	2536	38.13	20.63	69.2	0.5	25	1808

### **Conclusion :**

Dans ce chapitre on a simulé un cycle de rafraîchissement solaire par dessiccation solide en 2 modes, à savoir, par ventilation et recirculation.

Selon les résultats obtenu on nous remarquons que la température de régénération requise en mode ventilation est plus élevée par rapport à mode recirculation, Donc, le cycle de recirculation s'avère meilleur et plus efficace que le mode ventilation en raison de la réduction en énergie thermique nécessaire à la régénération et par conséquent réduisant ainsi la surface des panneaux solaire et le volume de stockage requise.

# **Conclusion générale**

## **Conclusion général :**

Nous avons essayé, au cours de ce travail, de cerner le problème de la climatisation solaire par dessiccation. Cette technique relativement nouvelle et prometteuse pourrait trouver des applications avantageuses dans un pays à fort potentiel solaire comme l'Algérie. Outre l'emploi de l'énergie solaire, ce procédé est « propre » puisqu'il présente l'avantage de n'utiliser que l'eau comme agent de refroidissement.

Dans ce mémoire, une recherche bibliographique concernant les technologies de climatisation solaire a été présentée.

Ce mémoire a été divisé en 4 chapitres :

- le 1<sup>er</sup> chapitre a été consacré pour le confort thermique dans les bâtiments, ce dernier a été le sujet de nombreux travaux de recherche, il ne concerne pas uniquement les bâtiments mais aussi les moyen de transport, les lieux de travail sous des conditions extrêmes.
- Dans 2<sup>ème</sup> chapitre : une présentation détaillée de la climatisation solaire et les différents technologies utilisées dans ce domaine .Nous avons résumé aussi toutes ces technologie avec leur avantages et inconvénients.
- Dans le 4<sup>ème</sup> chapitre nous avons voulu étudier la faisabilité de climatisation solaire par dessiccation solide dans des conditions de la ville de Blida, le problème bien entendu est d'arriver à travers ce type d'installation, à assurer les conditions de confort (température et humidité) dans le 2<sup>ème</sup> étage du département de mécanique, nous avons étudié deux modes de rafraichissement (ventilation et recirculation) ces derniers sont simulés par logiciel numérique TRNSYS on a trouvé :
  - La puissance de climatisation augmente ainsi la température ambiante et devient importante dans la période estivale, la température de régénération augmente en fonction de la température et l'humidité d'air de process.
  - Pour le mode de ventilation on a besoin de 42.5m<sup>2</sup> de capteur pour un débit de 0.85Kg/s et 3187.5L de stockage.
  - Pour le mode de recirculation on a besoin de 25m<sup>2</sup> de capteur pour 0.5Kg/s et 1875 L de stockage.

L'utilisation de systèmes de climatisation par dessiccation améliore l'efficacité énergétique globale et réduit les coûts énergétiques surtout dans les régions humides.

La charge de pointe sur le réseau électrique augmente pendant les chaudes journées d'été, en raison des besoins de climatisation élevés. Cela pourrait provoquer des pannes et Panne de réseau. La climatisation par dessiccation assisté par l'énergie solaire peut aider à atténuer ce problème. La demande de pointe de climatisation en été est associée à une disponibilité élevée du rayonnement solaire, ce qui offre une excellente opportunité d'exploiter la technologie de climatisation par dessiccation assisté par l'énergie solaire.

Et l'avantage le plus important de tout cela est la préservation de l'environnement, avec l'augmentation des gaz à effet de serre dans l'environnement qui appauvrit la couche d'ozone, en raison de la demande accrue de la climatisation ainsi l'augmentation de la population dans le monde cette technologie est une solution idéale pour résoudre ce problème ou au moins de réduire les dommages environnementaux.

### **Perspectives :**

Il sera intéressant par la suite de ce travail :

- D'étudier la régulation de l'humidité et la température dans les salles pour mieux assurer les conditions de confort humaine et raisonner la consommation d'énergie.
- De calculer le COP des 2 modes (ventilation et recirculation) pour confirmer que le cycle de recirculation s'avéré meilleur et plus efficace que le mode de ventilation en raison de la réduction en énergie thermique nécessaire à la réactivation et COP successivement plus élevé.
- Réaliser une étude technico-économique afin de connaître la rentabilité de ce système.

Enfin, nous souhaitons que ce travail soit un outil de travail pour les futures étudiants et chercheurs.

## **Références bibliographique :**

- [1] M. S. BENNOUI, «These de magistère ,Optimisation des procedes de climatisation solaire,» Constantine ,Algerie, 2013.
- [2] M. A. DJEBIRET, «These de Magister ,Etude de faisabilité d'un climatiseur solaire adapté à la région de Biskra,» Biskra , Algerie, 2012.
- [3] M. Hamichi et A. Chabanechaouche, «Memoir de master ,Etude et analyse thermodynamique d'une machine a absorption (NH<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O),» Bouira ,Algerie, 2018.
- [4] I. FELLAH et R. DJAIDER, «Memoir de master ,Etude et conception d'un système de climatisation utilisant l'énergie solaire,» Tlemcen ,Algerie, 2012.
- [5] F.-Z. GRARI et R. GUENDOUZ, «Mémoire de master ,Etude comparative entre les systèmes de climatisation classique et solaire application à la climatisation d'un immeuble,» Tlemcen , Algerie, 2013.
- [6] . L. Merabti et M. Merzouk, Article ,«Rafrâichissement solaire par dessiccation,» *researchgate*, 25 septembre 2024.
- [7] H. BELKESSAM, «These de magister ,Contribution à la valorisation de l'utilisation de lénergie solaire pour des besoins de climatisation et de conditionnement d'air,» Tlemcen,Algerie, 2014.
- [8] M. Hadj Abdelkader et F. Ben Zenine, «Memoire de master , Modélisation des composants d'un système de rafraichissement solaire à absorption,» Tlemcen ,Algeria, 2013.
- [9] V. Borde, «L'actualité,» 23 mars 2018. [En ligne]. Available: <https://lactualite.com/>. [Accès le juillet 2020].

- [10] International energy agency, «International energy agency,» 2017. [En ligne]. Available: <https://www.iea.org/>. [Accès le juillet 2020].
- [11] C. Sebi, «the conversation,» 17 juillet 2019. [En ligne]. Available: [theconversation.com](http://theconversation.com). [Accès le juillet 2020].
- [12] J.-L. Dufresne, «effet de serre et climat».
- [13] F. Asdrubali, F. D'Alessandro and S. Schiavoni, "A review of unconventional sustainable building insulation materials," *sciencedirect*, no. 4, pp. 1-17, 2015.
- [14] F. M. Fuchs et B. Raymond, «Échanges thermiques d'une paroi ,Techniques de construction,» 2010.
- [15] Enersens SAS, «enersens,» mai 2016. [En ligne]. Available: [www.enersens.fr](http://www.enersens.fr). [Accès le septembre 2020].
- [16] Energie Vie, «Guide des matériaux isolants pour une isolation efficace et durable,» Strasbourg,France, 2014.
- [17] M. Teleghani, M. Tenpierik, S. Kurvers et A. v. d. Dobbelsteen, «A review into thermal comfort in buildings,» *Science Direct*, n° %126, p. 201–215, 2013.
- [18] B. MOUJALLED, «These de doctorat,Modélisation dynamique du confort thermique dans les bâtiments naturellement ventilés,» Lyon, 2007.
- [19] F. D. Touré, «Le confort thermique dans les bâtiments,» Institut de l'énergie et de l'environnement, Québec ,Canada, 2008.
- [20] T. VITTE, «These de doctorat ,Le froid solaire par dessiccation appliqué au bâtiment : Proposition d'une stratégie de régulation du système,» Lyon , France, 2007.
- [21] Centre d études technique de l équipement de lyon, «Contexte et principe de fonctionnementT de climatisation solaire,» France, 2007.

- [22] O. Marc, «These de doctorat , Étude expérimentale,modélisation et optimisation d'un procédé de rafraîchissement solaire à absorption couplé au batimrnt,» France, 2010.
- [23] Atiane energy, «Etude de faisabilite du solaire thermique a destination des entreprises,» France.
- [24] «energieplus,» 27 aout 2010. [En ligne]. Available: [energieplus-lesite.be/theories/eau-chaude-sanitaire12/rendement-d-une-installation-solaire-thermique/](http://energieplus-lesite.be/theories/eau-chaude-sanitaire12/rendement-d-une-installation-solaire-thermique/). [Accès le 6 aout 2020].
- [25] J. A. Duffie et W. A. Beckman, «Book ,Solar Engineering of Thermal Processes,» Fourth Edition, 2013.
- [26] «energieplus,» 30 janvier 2014. [En ligne]. Available: [energieplus-lesite.be/techniques/climatisation8/production-de-froid/roue-dessicante/](http://energieplus-lesite.be/techniques/climatisation8/production-de-froid/roue-dessicante/). [Accès le 5 juillet 2020].
- [27] «Google earth,» [En ligne]. Available: <https://www.google.com/intl/ar/earth/>. [Accès le Juillet 2020].
- [28] «document technique réglementaire réglementation thermique des batiments,» vol. 233, p. 204, juin 2011.
- [29] «document technique reglementaire réglementation thermique du batiment,» vol. 233, p. 32, Juin 2011.
- [30] «document technique reglementaire réglementation thermique du batiment,» vol. 233, p. 180, Juin 2011.
- [31] «document technique reglementaire réglementation thermique du batiment,» vol. 233, p. 183, Juin 2011.
- [32] «document technique reglementaire réglementation thermique du batiment,» vol. 233, p. 116, Juin 2011.

- [33] «document technique reglementaire réglementation thermique du batiment,» vol. 233, p. 117, juin 2011.
- [34] «document technique reglementaire réglementation thermique du batiment,» vol. 233, p. 153, Juin 2011.
- [35] «document technique reglementaire réglementation thermique du batiment,» vol. 233, p. 160, Juin 2011.
- [36] «document technique reglementaire réglementation thermique du batiment,» vol. 233, p. 156, Juin 2011.
- [37] INTERNATIONAL STANDARD, «Economics of the thermal environment analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria,» 2005.
- [38] M. Bernier, «Introduction à TRNSYS (version 16)».
- [39] «Meteonorm,» [En ligne]. Available: [www.meteonorm.com](http://www.meteonorm.com). [Accès le 6 juillet 2020].
- [40] TRNSYS Documentation.
- [41] R. R. HOWE, «Master of Science, Model and performance characteristic of acommercially-sized hybrid air conditioning system which utilizes a rotary dessicant dehumidifier,» university of wisconsin-madison, 1983
- [42] Munters, «Munters.com,» [En ligne]. Available: [www.Munters.com](http://www.Munters.com). [Accès le 2 septembre 2020].
- [43] S. K. Wang, «Handbook of air conditioning and refrigeration,» 2001.

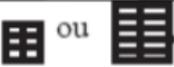
# Annexes

Wilaya	Communes	Zone climatique
Blida 09	Toutes les communes	A : comprend le rivage de la mer au nord et les plaines côtières au sud.

**Tableau A.1 : Zonage climatique thermique d'été**

Matériau	Masse volumique sèche $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	Conductivité thermique $\lambda$ (W/m.°C)	Capacité thermique c (J/kg.°C)
<b>Béton de granulats légers</b>			
Béton caverneux de pouzzolane ou de laitier expansé .....	1400 à 1600 1200 à 1400 1000 à 1200	0,52 0,44 0,35	1080 1080 1080
Béton d'argile expansée ou de schiste expansé - Béton plein dit "de structure" .....	1600 à 1800 1400 à 1600 1200 à 1400 1000 à 1200 800 à 1000 600 à 800	1,05 0,85 0,70 0,46 0,33 0,25	1080 1080 1080 1080 1080 1080
<b>Bétons cellulaires</b>			
Béton autoclavé dit béton "gaz" .....	750 à 850 650 à 750 550 à 650 450 à 550 350 à 450	0,33 0,27 0,22 0,18 0,16	1080 1080 1080 1080 1080
Béton "mousse" .....	200 à 600 600 à 1200 1200 à 1800	0,20 0,50 0,80	1080 1080 1080
<b>Mortier (d'enduits et joints)</b>			
- Mortier bâtard .....	1900 2200	1,15 1,4	1080 1080
- Mortier de ciment .....	1800	0,87	1080
- Mortier de chaux .....			
<b>Plâtres</b>			
- Plâtre gâché serré, ou très serré (plâtre de très haute dureté et plâtre projeté) .....	1100 à 1300	0,50	936
- Plâtre courant d'enduit intérieur ....	750 à 1000	0,35	936
- Carreaux de plâtre pleins .....	900 à 1000	0,35	936
<b>Panneaux ou plaques de plâtre</b>			
- Panneaux courant .....	750 à 1000	0,35	792
- Panneaux à parement de carton spécial feu .....	800 à 900	0,30	792

**Tableau A.2 : Caractéristiques thermo-physique des matériaux homogènes**

Résistance thermique (en m <sup>2</sup> .°C/W)									
Formes-types des briques creuses	Épaisseur des briques (cm) (Résistances superficielles non comprises)								
	5	7,5	10	12,5	15	17,5	20	22,5	25
	0,10								
		0,16	0,20						
 ou 				0,27	0,30	0,33			
						0,38	0,39	0,42	0,45

**Tableau A.3 :** Caractéristiques thermo-physique des matériaux hétérogènes (brique creuse)

APPLICATION	Niveau de confort amélioré		Niveau de confort normal		
	Température sèche (°C)	Humidité relative (%)	Température sèche (°C)	Humidité relative (%)	Accroissement toléré de la température (°C)
<b>Séjour de longue durée</b> Logement, hôtel, bureaux, hôpital, école, etc.	24	45	27	50	2
<b>Séjour de courte durée</b> Magasin, banque, bureaux de poste, salon de coiffure, etc.	24	45	27	50	2
<b>Séjour de durée limitée avec gains latents importants</b> Amphithéâtre, salle de spectacle, lieu de culte, salle de restauration, cuisine, etc.	24	50	27	60	1

**Tableau A.4 :** Condition intérieur de base

Degré d'activité	Exemple d'application	Température sèche du local (°C)					
		28	27	26	25	24	21
		Apports sensibles (Sen) et latents (Lat) en W/pers.					
		Sen Lat	Sen Lat	Sen Lat	Sen Lat	Sen Lat	Sen Lat
Assis, repos	Classe, salle de spectacle	51 51	57 45	62 40	65 37	67 35	76 27
Assis, travail très léger	Logement, bureau, hôtel, amphithéâtre	52 79	58 73	63 69	67 65	71 60	83 49
		52 94	58 88	64 83	70 77	74 72	85 62
Debout, marche	Magasin, accueil	60 102	66 96	72 91	68 63	82 80	93 70
Travail léger	Atelier, usine	56 164	64 156	72 148	80 140	86 134	107 113
Travail assez pénible	Atelier, usine, salle de sport	79 214	88 205	97 197	132 161	112 181	135 158
Travail pénible	Atelier, usine, salle de sport	131 293	136 288	142 283	149 277	154 271	177 248

**Tableau A.5 :** Gains dus aux occupants

Appareils	Gains à admettre (en W)		
	Sens.	Lat.	Total
<b>Appareils Ménagers</b>			
Four électrique	3000	610	3610
Four micro-onde	1400	-	1400
Cuisinière électrique	3000	1500	4500
Plaque chauffante (Wn = 500 W)	500	280	780
Plaque chauffante (Wn = 1000 W)	1000	560	1560
Télévision	150	-	150
Réfrigérateur (100 l)	100	-	100
Réfrigérateur (200 l)	175	-	175
Machine à laver (3 kg)	3000	1500	4500
Machine à laver (5 kg)	6000	3000	9000
Télévision	150	-	150
<b>Appareils de restaurants</b>			
Percolateurs avec chauffe-eau			
2 percolateurs, 2 litres d'eau	400	140	540
4 percolateurs, 4 litres d'eau	1800	350	2150
Table chauffante (par m <sup>2</sup> de surface)			
avec chauffe-assiette	2200	1110	3310
sans chauffe assiette	1750	1180	2930
Grille-pain	1900	760	2510
Gril à viandes (250 à 300 mm)	1750	620	2370
Friteuse 5 l d'huile	1200	690	1890
10 l d'huile	3000	1660	4660
Sorbetière Capacité : 50 kg/jour	2730	-	2730
Capacité : 100 kg/jour	1880	-	1880
Four micro-ondes	2630	-	2630

**Tableau A.6 :** Apports calorifiques dus aux appareils ménagers et de restaurants.

<i>Appareils</i>	<i>Gains à admettre (en W)</i>		
	<i>Sens</i>	<i>Lat</i>	<i>Total</i>
Machine à écrire	90	-	90
Micro-ordinateur (écran compris)	450	-	450
Mini-ordinateur (les valeurs peuvent varier de 2200 à 6600 W)	4400	-	4400
PC portable	15	-	15
PC portable économique	25	-	25
PC portable grand format	35	-	35
Petit serveur	60	-	60
PC économique	100	-	100
PC multimédia	120	-	120
Station de travail	200	-	200
Imprimante Plus de			
5000 lignes/minute	1800	-	1800
300 à 600 lignes/minute	376	-	376
Imprimante à jet d'encre	52	-	52
Imprimante laser	15	-	15
Terminal écran	160	-	160
Machine comptable	105	-	105
Photocopieur 100 cop./h	100	-	100
200 cop./h	200	-	200
500 cop./h	900	-	900
1000 cop./h et plus	1800	-	1800
Machine à tirer des plans			
Vitesse de sortie 40 [m/h]	1000	-	1000
100 [m/h]	1400	-	1400
200 [m/h]	3712	-	3712
400 [m/h]	4640	-	4640
600 [m/h]	6500	-	6500
Rétroprojecteur	400	-	400
Plotter	70	-	70
Projecteur de diapositives	300	-	300
Lecteur de microfilm	520	-	520
Lecteur de microfiches	85	-	85
Fax	62	-	62

**Tableau A.7 :** Apports calorifiques dus aux machines de bureau

Appareils	Gains à admettre (en W)		
	Sens.	Lat.	Total
Présentoir (par m <sup>3</sup> de volume intérieur)	640	-	640
Caisse enregistreuse	48	-	48
Réfrigérant à eau	1750	-	1750
Sèche-cheveux central 5 casques	4483	1197	5680
10 casques	6273	1790	8063
Casque sèche-cheveux	690	120	810
Stérilisateur de pansements, taille : 406x620 mm	2870	2600	5470
508x 914 mm	6960	7170	14130
Stérilisateur d'instruments, taille :			
152x205x432mm	805	710	1515
228x254x508mm	1518	1174	2692
254x305x560mm	2420	1760	4180
254x305x914mm	3048	2810	5858
305x406x620mm	2728	2550	5278
Stérilisateur ustensiles, taille : 406 x 406 x 620 mm	3167	6096	9263
508 x 508 x 620 mm	3676	7649	11325
Moulin à café	500	140	640
Mixer	1000	277	1277
Fer à repasser	500	280	780
Aspirateur	200	-	200

**Tableau A.8 :** Apports calorifiques dus aux divers appareils

Désignation du local ou genre d'activité	Intensité lumineuse recommandée ou des tubes (lux)	Puissance dégagée des lampes (W/m <sup>2</sup> )	
		lampes à incandescence	Lampes fluorescentes
Entrepôt, pièces d'habitation, théâtre	120	25	8
Bureaux, salle de cours	250	55	16
Salles de lecture, laboratoires, magasins	500	110	32
Montages fins, ateliers, supermarchés	750	170	50
Dessin industriel, grands bureaux, salles d'opération	1000	-	65
Locaux industriels montages très fins	1500	-	100

**Tableau A.9 :** Gains dus à l'éclairage

Type	Nom de type
Type 1b	Capteur plan vitré
Type 5c-2	Traceur
Type 3b	Pompe
Type 2b	Contrôleur
Type4a	Ballon de stockage
Type 683	Roue dessiccatif
Type 760b	Echangeur rotatif
Type 506c-2	Humidificateur par évaporation
Type 652	Echangeur

**Tableau A.10** : Présentation des types de l'installation d'un système à dessiccation