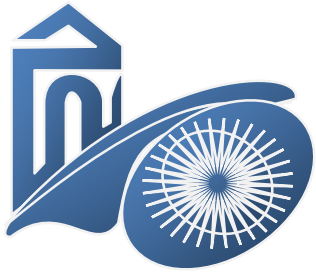
République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique
Université Dr. YAHIA FARES de MEDEA
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie de la Matière



MÉMOIRE DE MASTER

Option : Énergie et Froid Industriel

THÈME :

Modélisation d'un système de rafraichissement solaire à dessiccation

Encadreur :
Dr. TRIKI Zakaria

Co- promoteur:
Mr. AZIZOU Mohamed

Présenté par :
SERIR Hadjer
MAIZI Fatma

Promotion 2014/2015

REMERCIEMENTS

*Toutes mes gratitudes, grâce et remerciement au bon **''ALLAH''** qui m'a dirigé dans la voie de la science, et m'a donné le courage et la volonté pour arriver à ce niveau.*

Je tiens tout d'abord à remercier fortement mes promoteurs Dr TRIKI Zakaria, Mr AZIZOU Mohamed qui m'ont aidé et donné beaucoup pour réaliser ce travail. Je vous remercie pour votre compréhension, vos conseils précieux.

Aussi je n'oublie jamais tous les enseignants de Génie de la Matière. Merci pour tous.

Tous mes remerciements également à ma famille pour l'aide inconditionnel durant cette période.

Enfin, je remercie sincèrement tous mes amis de près ou de loin, et tous ceux qui m'ont aidé, d'une manière ou d'une autre durant la période de réalisation de ce mémoire.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à…

Ma chère mère : Vous serez absente à jamais mais toujours présente dans nos cœurs;

Mon père: vous nous avez inculqué le sens de l'honneur;

Mes Chers frères: Ahmed, Mustapha, Youcef, Yahia.

Mes Chères sœurs :Souad, S aliha, Wahiba.

Mes frères et sœurs : Si je vous dois beaucoup c'est parce que vous m'avez tout donné…

Et toute la famille :MAIZI, HAMIDOUCH.

Á mes amis :Hadjer, Naima, Nora, Zahia, Rawnak Malika.

Les enfants: Islam, Malak, Sirin, Taim, Louai.

Spécialement à tous mes camarades de promotion pour l'ambiance sereine qui nous animé au cours de notre formation.

Soyez tous honorés.

DEDICACE

Je dédie ce modeste travail :

Ma chère mère, pour ses sacrifices depuis

qu'elle m'a mis au monde. Et à mon père.

A mes chers frères ***Ahmed, Abdenour, et Djamel.***

Et mes sœurs ***Khadidja, Assia, Meriem, Fatma.***

A toute la famille ***SERIR, AHMIA, BEN KATA,***

et EL WAHIL.

A tous mes amis ***Fatma, samia, Naima***, ***Nora, Malika,***

Rawnak, et ***Zahia***

Les enfants de ma sœur, ***Anis , Ritage***

s.hadjer

Résumé :

L'objectif de ce travail est de développer un modèle numérique pour la prédiction des performances d'un système de rafraichissement solaire à dessiccation à partir des équations de transfert de chaleur et de masse. Le deuxième objectif est l'étude de l'influence des différents paramètres de fonctionnement sur la performance du système tels que: les températures et humidités à l'entrée et à la sortie, la température de régénération, l'efficacité des échangeurs, etc.

Mots-clés: Modélisation, Climatisation solaire, Systèmes à dessiccation, Régénération.

Abstract:

The aim of this work is to develop a numerical model for predicting the performance of a solar desiccant cooling system from heat and mass transfer equations. The second objective is the study of the influence of various operating parameters on the system performance such as the inlet and outlet temperature and humidity, temperature of regeneration, heat exchangers efficiency, etc.

Keywords: Modeling, Solar cooling, desiccant systems, Regeneration.

ملخص :

الهدف من هذا العمل هو تطوير نموذج عددي للتنبؤ **بأداء نظام** تكييف**شمسي** بالتجفيف **انطلاقا من معادلات انتقال الحرارة والمادة**. الهدف الثاني هو دراسة تأثير **مختلف** عوامل التشغيل **على أداء النظام مثل درجات الحرارة والرطوبة عند المدخل والمخرج، درجة حرارة** التجديد ، **كفاءة المحولات** الحرارية ، الخ

كلمات البحث: النمذجة ،التكييف بالطاقة الشمسية ،**أنظمة** التجفيف، **التجديد**

Nomenclature

Symbole	Définition	Unité
ΔT	Variation de température	°C
CADS	Taux de capacité de chaleur du flux d'air d'adsorption	W/°C
CCS	Coefficient d'échange globale du capteur	W/m².K
Cmin	La valeur minimale entre CADS et CREG	
COP	Coefficient thermique de la performance du système	
COPG	Coefficient solaire	
CP	Fonction en ligne pour la chaleur spécifique de l'air humide	J/kg.°C
CREG	Taux de capacité de chaleur de la régénération courant d'air	W/°C
D	Coefficient utilisée dans l'équation…..(III.18) page :	38
DHREF	La différence d'enthalpie entre l'air ambiant et air humide	J/kg.°C
DHREG	Augmentation enthalpie de l'air de régénération en raison de la chaleur solaire entrée	J/kg.°C
EC1	Efficacité du refroidisseur évaporatif 1	
EC2	Efficacité du refroidisseur évaporatif 2	
EHX	Efficacité de l'échangeur de chaleur	
H	Enthalpie	KG/kg
HRAMB	Humidité relative ambiant	%
HRCHAM	Humidité relative de la chambre	%
IG	Le rayonnement solaire	W/m²
MAS	La masse de l'air sec	kg
η	Le rendement	%
PATM	La pression atmosphérique	pa
PSAT	La pression de vapeur saturante d'eau dans	

	l'air.	pa
PV	La pression de vapeur	pa
WCHAM	Humidité spécifique de la chambre	$kg/kg_{air\ sec}$
QECH	Puissance de l'échangeur	KW
QREF	Puissance frigorifique	KW
QREG	Puissance de régénération	KW
TAMB	La température ambiant	°C
TCHAM	La température du chambre	°C
TI	La température intérieure	°C
TREG	La température de régénération pour le système de refroidissement.	°C
TWB	Température humide	°C
WWB	Rapport saturation d'humidité à la température humide	(kg / kg d'air sec)

Sommaire

Remerciement i
Dédicace ii
Résumé iii
Nomenclateur iv
Sommaire v
Liste des tableaux vi
Liste des figures vii
Introduction générale 1

Chapitre I: Systèmes de climatisation solaire.

I.1. Introduction 3
I.2.climatisation solaire et Energie solaire 3
I.2.1. Principe de fonctionnement 3
I.2.2. Installation globale d'un rafraichisseur solaire 4
I.2.3. L'utilisation d'énergie solaire pour produire du froid 5
I.2.4. Avantages et inconvénients de la climatisation solaire 5
I.2.5.Les différentes technologies de production de froid solaire 6
I.2.5.1. Utilisation des cellules photovoltaïque 6
I.2.5.1.1 les systèmes à compression de vapeur 7
I.2.5.1.2 Les systèmes à effet Peltier 8
I.2.5.2.Capteurs solaires 9
I.2.5.2.1.Capteurs solaires plans 9
I.2.5.2.2.Capteurs solaires plans à air 10
- Les principaux avantages de ces capteurs 10
- Les principaux inconvénients 10

I.2.5.2.3.Capteurs solaires sous vide 10
I.2.5.2.4.Les capteurs plans vitrés et non vitrés 11
I.2.5.2.5.Les capteurs à concentration ou parabolique 12
I.2.5.3.Technique basées sur un processus thermomécanique 13
a) cycle de Rankine 13
b) Le cycle à jet de vapeur 14
b.1) Principe de fonctionnement 13
I.2.5.3.1.Technique basée sur la sorption 15
a) Principe de la sorption 15

b) Technique basée sur la sorption d'un gaz 16
machine à absorption 16
- Les avantages de l'absorption 18
- les inconvénients de l'absorption 18
La machine à adsorption 18
✓ Types d'adsorption 19
- Adsorption physique 19
- Adsorption chimique 20
✓ Description du mécanisme d'adsorption 20
❖ Diffusion externe 19
❖ Diffusion interne 19
❖ Diffusion de surface 19
✓ Avantages et inconvénients des machines à adsorption 20
❖ Avantages 20
❖ Inconvénients 20
La machine à dessiccation 21
I.3.conclusion 21

Chapitre II: Systèmes à dessiccation.

II.1. Introduction 22
II.2. Phénomène de la sorption 22
II.3.Principe de fonctionnement 22
II.4. Les matériaux dessiccants 24
II.4.1. Introduction 24
II.4.2. Types de matériaux dessiccants..……..24
a) Les absorbants 25
b) Les adsorbants 26
- Les charbons actifs 27
- Les zéolites 27
- Les gels de silice 28
- Les alumines activées.. 28
II.4.3. La durée de vie des matériaux dessiccants 29
II.5. Technologies de certaines composantes de l'installation dessiccante solaire 29
II.5.1. Systèmes à humidification 29

II.5.2. Déshumidification de l'air par dessiccation 31
II.5.2.1. Les tours à dessiccation 31
II.5.2.2. Lit horizontal tournant … 32
II.5.2.3. Lit vertical multiple 33
II.5.2.4. Roue dessiccante verticale 33
II.6.Avantages et inconvénients des machines à dessiccation 35
II.6.1.Les avantages 35
II.6.2.Les inconvénients 35
II.7. Conclusion 35

Chapitre III: modélisation numérique.

III.1. Introduction 36
III.2. Description du système 36
III.3. Equations du modèle 37
III.3.1. Propriétés de l'air humide 37
III.3.2. Conditions de sortie de la roue à dessiccation 39
III.3.3. Efficacité des humidificateurs 39
III.3.4.les paramètre de performance 39

Chapitre IV: résultat et recommandation.

IV.1.Introduction 41
IV.2. Conditions extérieures 41
IV.3. Conditions intérieure 43
IV.4.Les efficacité 44
IV.5.Performances solaire 46
V.6.Conclusion 47
Conclusion et recommandation 48
Bibliographie .....
Annexe .....

Liste des tableaux

Tableau. I.1. Comparaison entre les couples d’absorption de NH3-H2O et de H2O-LiBr. ….18

Liste des figures

Figure I.1: Principe de fonctionnement de rafraichissement solaire. 4
Figure I.2: Installation globale d'un rafraichisseur solaire 4
Figure I.3: Schéma d'une machine frigorifique photovoltaïque. 8
Figure I.4 : Capteur solaire thermique plan.. 9
Figure I.5: Capteurs solaires plans à air.. 10
Figure I.6 : Capteur solaire thermique sous vide. 11
Figure I.7 : Schéma de principe d'un capteur plan vitré. 12
Figure I.8 : Schéma de principe d'un capteur à concentration. 12
Figure I.9: Machine frigorifique couplée à cycle de Rankine 13
Figure I.10: Système à éjection 14
Figure 1.11: Schéma de fonctionnement du cycle absorption à simple effet. 17
Figure 1.12: Schéma de fonctionnement d'une machine à adsorption 19
Figure I.13: Schéma d'une machine a dessiccation. 21
Figure II.1: Schéma du système à dessiccation. 23
Figure II.2: Pression de vapeur à la surface pour différentes solutions d'eau- triethylène Glycol. 25
Figure II.3: Pression de vapeur à la surface pour différentes solutions d'eau- Chlorure de Lithium. 26
Figure II.4: Représente les charbons actifs. 27
Figure II.5: Représente les zéolites. 28
Figure II.6 :Représente les gels de silice 28
Figure II.7: Schéma représentant deux tours à dessiccation 32
Figure II.8: Schéma d'un lit horizontal tournant. 32
Figure II.9: Schéma d'un lit vertical à dessiccation 33
Figure II.10: Schéma d'une roue verticale à dessiccation... 34
Figure II.11: Evolution de la pression de vapeur à la surface de la roue en fonction de l'angle de la roue 34
Figure III.1: Schématique du système et schéma typique du cycle psychrométrique pour le mode de recirculation……36
Figure IV.1: Evolution de COP en fonction de la température ambiant. Conditions de modélisation : TAMB=37°C, HRAMB=28%, MAS=0,5kg/s, EC=0,9, EHX=0,93.……...41

Figure IV.2: Evolution de COP en fonction de l'humidité relative extérieure. Conditions de modélisation: TAMB=37°C, HRAMB=28%, MAS=0,5kg/s, EC=0,9, EHX=0,93.… ……...42
Figure IV.3: Evolution du COP en fonction de la température de la chambre. Conditions de modélisation : TCHAM=24°C, HRCHAM=50%, MAS=0,5kg/s, EC=0,9, EHX=0,93……..43
Figure IV.4: Evolution du COP en fonction de l'humidité relative intérieure. Conditions de modélisation : TCHAM=24°C, HRAMB=50%, MAS=0,5kg/s, EC=0,9, EHX=0,93…….43
Figure IV.5: Evolution du COP en fonction de l'efficacité de l'humidificateur. Conditions de modélisation : TAMB=37°C, HRAMB=28%, TCHAM=24°C, HRCHAM=50%, MAS=0,5kg/s, EHX=0,93…….44
Figure IV.6: Evolution du COP en fonction de l'efficacité de l'échangeur. Conditions de modélisation : TAMB=37°C, HRAMB=28%, TCHAM=24°C, HRCHAM=50%, MAS=0,5kg/s, EC=0,9……..……....45
Figure IV.7: Evolution du COP solaire en fonction du rayonnement solaire global. Conditions de modélisation : TAMB=37°C, HRAMB=28%, TCHAM=24°C, HRCHAM=50%, MAS=0,5kg/s, EC=0,9, EHX=0,93. CCS=5.7…….46
Figure IV.8: Evolution du COP solaire en fonction du type de capteur. Conditions de modélisation : TAMB=37°C, HRAMB=28%, TCHAM=24°C, HRCHAM=50%, MAS=0,5kg/s, EC=0,9, EHX=0,93. IG=800W/m^2……..…46

Introduction générale :

L'énergie solaire fait l'objet de toutes les attentions dans un contexte de hausse du coût des énergies fossiles et de lutte contre le changement climatique. Outre son abondance et sa gratuité, l'énergie solaire présente de nombreux avantages. Contrairement aux autres énergies de sources renouvelables, le solaire est exploitable sur l'ensemble de la surface du globe mais l'équipement de production doit être installé à proximité du lieu de consommation afin de minimiser les pertes. Ajoutons qu'il est totalement modulable puisque la taille des installations peut être facilement ajustée selon les besoins ou les moyens [1] .

La réfrigération solaire permet d'économiser certainement une quantité substantielle de la consommation d'énergie primaire. Cela réduit la production de dioxyde de carbone et les pics de consommation d'électricité en été, qui est un avantage important pour l'environnement et l'économie nationale. Mais quand il s'agit de bénéfice financier, la situation est bien différente. Toutefois, l'essor que connait la développement des technologies solaires et la manière de les intégrer au réseau conventionnel sont prometteuses [1].

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 [2].

Afin de limiter la demande en énergie pour les applications de climatisation, il est nécessaire de développer des techniques alternatives aux machines frigorifiques actuelles. L'utilisation de la chaleur produite par des capteurs solaires est une option intéressante pour les procédés de climatisation actionnés par la chaleur [3, 4].

L'énergie solaire peut être utilisée pour produire de la lumière grâce à l'effet photovoltaïque. Les cellules solaires son capables de transformer l'énergie des photons de la lumière en un courant électrique continu [5].

La chaleur diffusée par le rayonnement solaire peut également être utilisée pour de nombreuses applications et à différents niveaux de température. À basse et moyenne température, l'énergie solaire est utilisée dans le bâtiment pour produire de l'eau chaude sanitaire (ECS), chauffer les locaux et l'eau des piscines. Ces utilisations sont regroupées sous l'appellation «solaire thermique ». Ces utilisations simples sont désormais développées à grande échelle [1].

Les technologies du froid solaire actuellement disponibles pour des applications commerciales (l'absorption, l'adsorption, le système à dessiccation) sont caractérisées par un coefficient de performance thermique saisonnier assez bas (entre 0.5 et 0.7), comparé au procédé par compression [1].

Le but de ce travail est de développer un modèle numérique pour la prédiction des performances d'un système de rafraichissement solaire à dessiccation.

Ce mémoire est structuré autour de quatre chapitres. Dans le premier chapitre nous on présente les systèmes de climatisation solaire et les différentes technologies de production de froid solaire. Dans le deuxième chapitre, on traite les système à dessiccation, les types de matériaux dessiccants et la technologie de certaines composantes de l'installation dessiccante solaire. Le troisième chapitre concerne la modélisation numérique des différents éléments du système étudié. Dans le quatrième chapitre, les résultats de cette modélisation, présentés sous forme de graphes, sont interprétés. Enfin, ce travail est clôturé par une conclusion générale et perspective.

I.1. Introduction :

L'expression « climatisation solaire » désigne l'ensemble des moyens de climatiser en utilisant comme ressource énergétique primaire la chaleur communiquée par les rayonnements du soleil. Ce mode de climatisation qui peut se substituer à l'utilisation de ressources fossiles présente comme principal intérêt de pouvoir fournir le plus de froid quand il fait le plus chaud, ce qui correspond généralement aux périodes où le soleil est le plus disponible [1]. Dans ce chapitre, une revue des technologies de climatisation solaire les plus est présentée.

I.2.climatisation solaire et Energie solaire [1]:

Grâce au soleil, d'énormes quantités d'énergies atteignent la surface de la Terre après avoir parcouru une distance d'environ 150 millions de kilomètres. Avec une puissance moyenne d'environ 1.000 W/m², cette énergie solaire est 10.000 fois supérieure à la demande énergétique globale de la population et ce pour les 5 milliards d'années à venir. Cette source inépuisable à l'échelle humaine est toutefois inégalement répartie à l'échelle de la planète avec un maximum à l'équateur.

I.2.1. Principe de fonctionnement [1]:

La technique utilisée dans le cadre de la climatisation solaire consiste à transformer la lumière en énergie thermique au moyen d'un capteur solaire sous vide. La chaleur ainsi produite est dirigée vers une machine à adsorption où est dissociée, par ébullition, une solution d'eau et de bromure de lithium.

Après refroidissement, la recombinaison des deux composants produit, par adsorption de chaleur, des frigories. Le froid est ensuite distribué par un réseau d'eau glacée qui peut alimenter une centrale de ventilation collective.

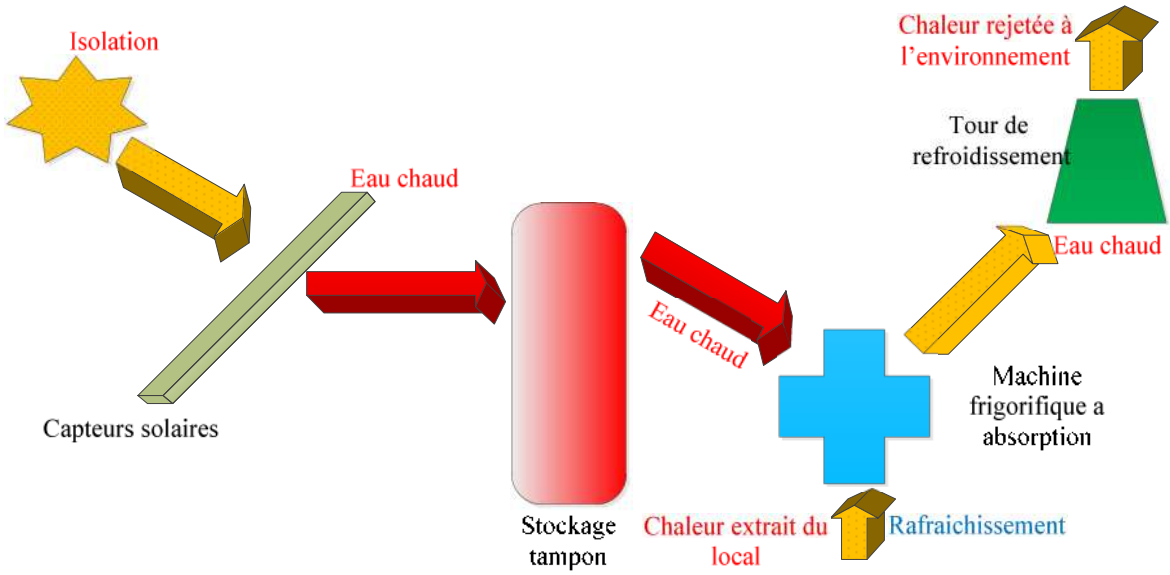


Figure I.1: Principe de fonctionnement de climatisation solaire [6].

I.2.2. Installation globale d'un rafraichisseur solaire [1]:

De manière générale, les installations solaires de production de froid sont composées des éléments suivants : un champ de capteurs solaires et son circuit primaire, un échangeur et un circuit secondaire qui alimente la machine à froid, une machine à absorption ou à adsorption ou un système DEC et un système de régulation générale.

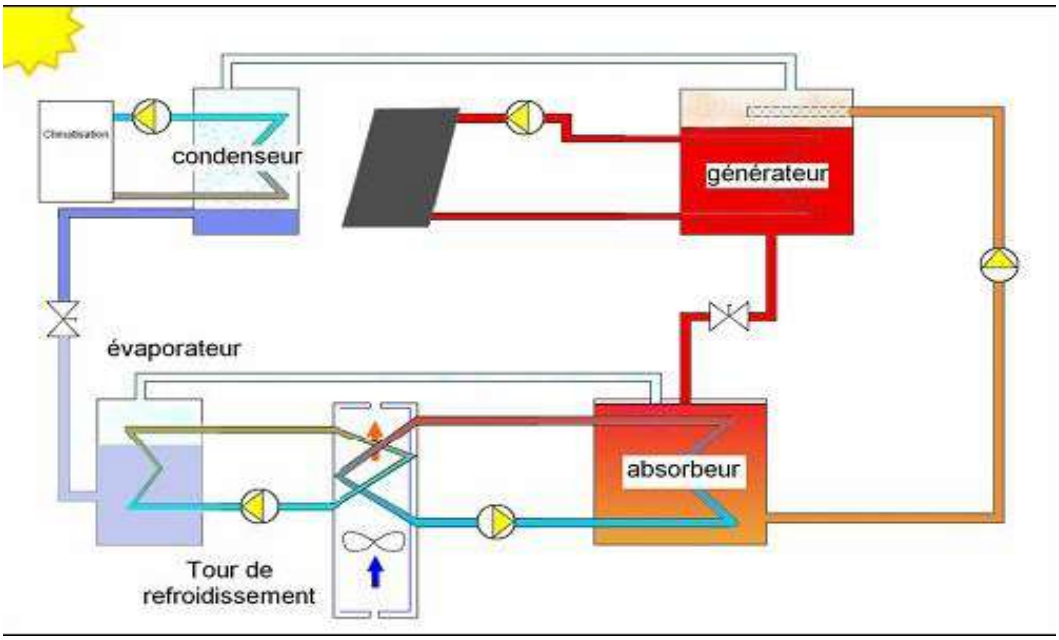


Figure I.2: Installation globale d'un rafraichisseur solaire [7].

I.2.3. L'utilisation d'énergie solaire pour produire du froid [8]:

1. utiliser le solaire photovoltaïque pour assurer les besoins électriques du climatiseur à compression (climatiseur traditionnel).
2. utiliser de l'énergie solaire thermique et la convertir en énergie mécanique couplée avec un climatiseur à compression.
3. utiliser l'énergie solaire thermique pour alimenter une machine à froid dite à sorption (absorption ou adsorption)
4. utiliser l'énergie solaire thermique pour alimenter un système de conditionnement d'air par rafraîchissement évaporatif à dessiccation.

L'alimentation d'un groupe à compression classique par des panneaux photovoltaïques n'est pas envisageable actuellement, essentiellement pour des questions de coût des panneaux. Selon l'Institut national du Solaire (INES), dans quelques décennies, lorsque le prix de ces derniers aura suffisamment diminué, et que des groupes frigorifiques utilisant des fluides frigorigènes sans impacts sur l'effet de serre ou la couche d'ozone seront disponibles, il faudra se reposer la question.

I.2.4. Avantages et inconvénients de la climatisation solaire [1]:

Les systèmes de rafraîchissement solaire apparaissent comme pouvant représenter une alternative prometteuse aux systèmes de refroidissement par compression de vapeur classiques, avec certains avantages et inconvénients:

a) Avantages :

- la consommation d'électricité peut être jusqu'à 20 fois inférieure à celle d'un système classique à compression.
- les fluides frigorigènes employés n'ont pas d'impact sur la couche d'ozone et sur l'effet de serre puisqu'il s'agit d'eau, d'ammoniac et/ou de solutions salines.
- Un faible niveau sonore.
- De plus, l'intérêt du procédé est que les besoins en froid coïncident la plupart du temps avec la disponibilité du rayonnement solaire.

b) Inconvénients:

Le seul inconvénient majeur à retenir est le fait que la production frigorifique dépendant des apports solaires, le système ne fonctionne qu'en journée. Il est donc plutôt adapté à la climatisation d'entreprises, locaux ou machines ne fonctionnant que le jour

I.2.5.Les différentes technologies de production de froid solaire:

Production du froid à partir de l'énergie solaire basée sur plusieurs méthodes ils sont comme suit : l'emploi de l'électricité, un procédé thermomécanique et des cycles basés sur la sorption d'un gaz.

I.2.5.1. Utilisation des cellules photovoltaïque [9]:

Les cellules solaires photovoltaïques (PV) sont des semi-conducteurs capables de convertir directement la lumière en électricité.

a) principe de fonctionnement:

le rayonnement arrivant sur la cellule solaire une partie sera réfléchie, une partie absorbée et le reste passera à traves l'épaisseur de la cellule.les photos absorbées vont libérer un électron (négatif) laissant un trou (positif) derrière lui la méthode utilisée pour créer un champ électrique est celle du "dopage" par des impuretés.

Deux types de dopage sont possibles:

- **le dopage de type n (négatif):**

Consiste à introduire dans la structure cristalline des atomes étrangers qui ont la propriété de donner chacune un électron excédentaire libre (négatif), c'est le cas du phosphore (p) dans le silicium (si).

- **le dopage de type p (positif):**

Le plus utilisé est le bore (B). Il en résulte après recombinaison des deux parties d'un champ électrique.

b) l'effet PV:

Lorsqu'un matériau est exposé à la lumière du soleil, les atomes exposés au rayonnement sont bombardés par les constituants la lumière; les éléments de couches supérieurs ont tendance à être arrachés ou décrochés. Ces derniers créent une tension électrique.

L'effet photovoltaïque consiste en une conversion directe de l'énergie du rayonnement solaire en énergie électrique. Le terme PV vient du grec: "photo" qui désigne la lumière et "voltaïque" mot dérivé du physicien italien Alessandro Volta.

I.2.5.2. Les systèmes à compression de vapeur [10]:

La Figure I.3 montre le schéma d'une machine frigorifique classique à compression alimentée par un générateur d'électricité photovoltaïque. En l'absence d'onduleur, l'entrainement du compresseur doit être assuré par un moteur à courant continu plus couteux. Un onduleur, surtout de faible puissance, a cependant toujours un rendement médiocre, 70 à 80% dans les meilleurs cas.

Le caractère intermittent du rayonnement solaire impose un stockage, soit d'électricité par batterie, soit un stockage sous forme de froid, soit sous forme de fluide frigorigène sous pression. Vu le cout des batteries et de leur entretien, le stockage par batterie est limité aux faibles puissances.

La durée du stockage à prévoir dépend de l'utilisation et du climat, variant de quelques jours à une dizaine de jours pour la conservation des vaccins et médicaments. Ces armoires frigorifiques de petite capacité (environ 150 I) destinées aux besoins domestiques ou à ceux des dispensaires de campagne, constituent aujourd'hui l'essentiel du marché des frigos solaires photovoltaïques, la valeur des produits conservés et la faible puissance installée garantissant la rentabilité.

Vu le cout élevé des modules photovoltaïques, des efforts importants ont été faits pour diminuer au maximum l'énergie électrique journalière nécessaire. Une isolation soignée, d'une épaisseur de 8 à 12 cm, permet de réduire les pertes à vide en dessous de 30 W, une fraction significative de celles-ci étant alors due aux inévitables ouvertures de portes.

Le cycle frigorifique peut aussi être modifié pour porter le COP de sa valeur habituelle voisine de 1 à plus de 1,5.

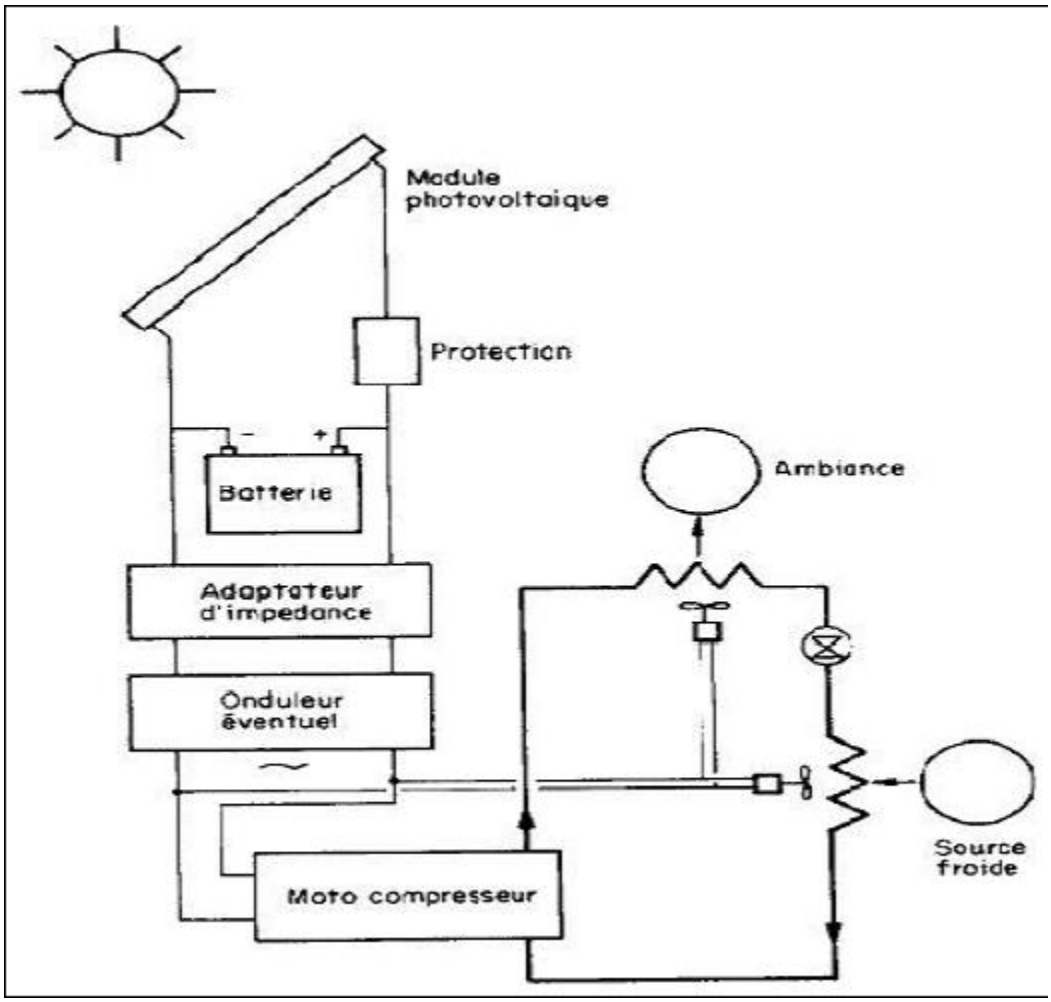


Figure I.3: Schéma d'une machine frigorifique photovoltaïque [11].

Le résultat net est que la consommation d'une armoire frigorifique solaire de 150 I produisant 1kg de glace par jour a été ramenée, dans une ambiance tropicale à 43 °C, autour de 750 Wh/jour, soit trois à quatre fois moins qu'un équipement classique.

Avec des COP de la machine frigorifique variant de 0,8 à 1,5 et des panneaux photovoltaïques au silicium de 13% de rendement, le COPS oscille donc de 0,10 à 0,20. Pour les installations moyennes nécessitant une énergie de plus de 50 kWh/jour, l'installation d'un groupe Diesel électrogène ou une extension de réseau est plus avantageuse mais moins fiable.

I.2.5.3. Les systèmes à effet Peltier [12]**:**

L'effet Peltier, appelé aussi effet thermoélectrique, est un phénomène physique de déplacement de la chaleur en présence d'un courant électrique parcourant deux matériaux conducteurs de natures différentes en contact. Ce phénomène ne permet pas d'avoir une forte puissance froide développée et n'est donc pas envisageable.

I.2.5.4. Capteurs solaires [13]**:**

Il existe tout 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.

a) Capteurs solaires plans [14]**:**

Ce type de capteur se présente sous forme de boîtes de différentes dimensions. Les surfaces mises en œuvre vont de quelques mètres carrés pour les chauffe-eau solaires individuels à plusieurs centaines de mètres carrés pour les installations collectives. La figure I.4 schématise un capteur solaire plan type. Pour améliorer le rendement des capteurs, les absorbeurs sont recouverts d'un revêtement sélectif. Ces revêtements sont de couleur noire afin d'absorber le rayonnement solaire au maximum (coefficient d'absorption proche de 1) et leur état de surface est tel qu'ils piègent les rayonnements infrarouges qui sont émis lors de l'échauffement. Le coefficient d'émissivité est alors beaucoup plus faible que pour une peinture noire classique, et le rendement du capteur est nettement meilleur.

Ainsi, le vitrage a pour fonction de laisser passer le maximum du rayonnement solaire et d'éviter les déperditions de chaleur vers l'extérieur lors de la montée en température de l'absorbeur. Le verre reste le matériau de prédilection. On utilise aussi des verres polis ou prismes qui réfléchissent moins les rayonnements dont les angles d'incidences sont supérieurs à 45°.

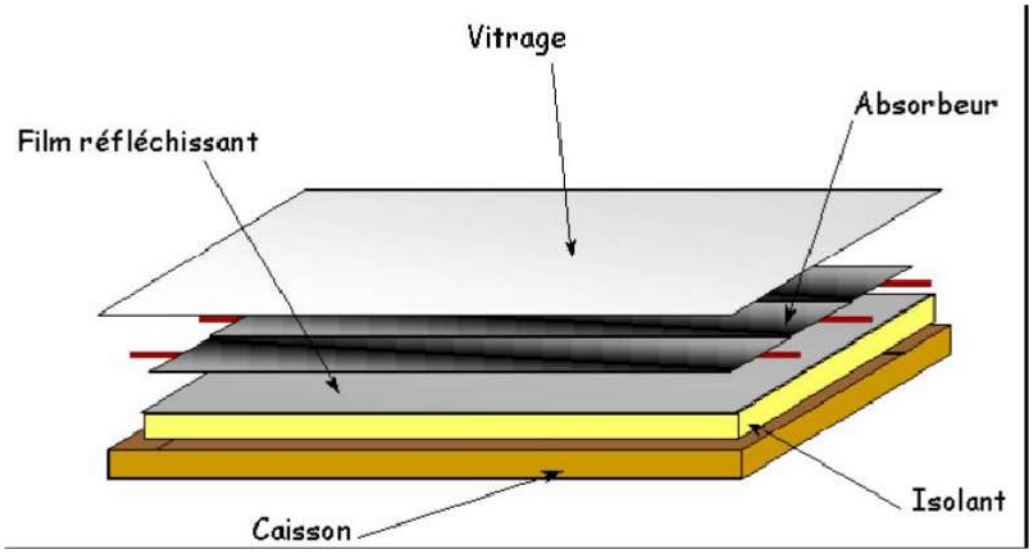


Figure I.4 : Capteur solaire thermique plan [15].

b) Capteurs solaires plans à air [14]:

Dans ce cas, on ne trouve pas de pompe de circulation mais des ventilateurs permettant de faire circuler l'air. Ces capteurs ne peuvent pas être utilisés pour produire de l'eau chaude sanitaire. Ils sont principalement utilisés pour des applications de chauffage ou de séchage. Ces capteurs peuvent être utilisés également, comme nous allons le voir, dans des installations de rafraichissement par dessiccation.

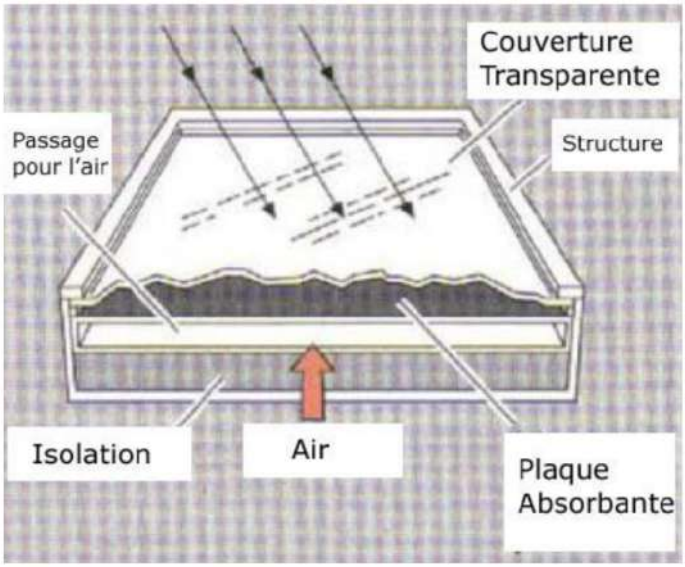


Figure I.5: Capteurs solaires plans à air [16].

- **Les principaux avantages de ces capteurs sont [14]:**

- simplicité de conception et de réalisation.
- l'absence de risque de gel en hiver.
- l'absence de surchauffe en été.

- **Les principaux inconvénients sont [14]:**

- la consommation électrique des ventilateurs qui est plus importante que celle des pompes pour des capteurs liquides.
- l'efficacité d'un tel capteur est moins bonne que celle d'un capteur à eau.
- il n'existe pas de système de stockage adapté.

c) Capteurs solaires sous vide [14]:

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 (figure I.6).

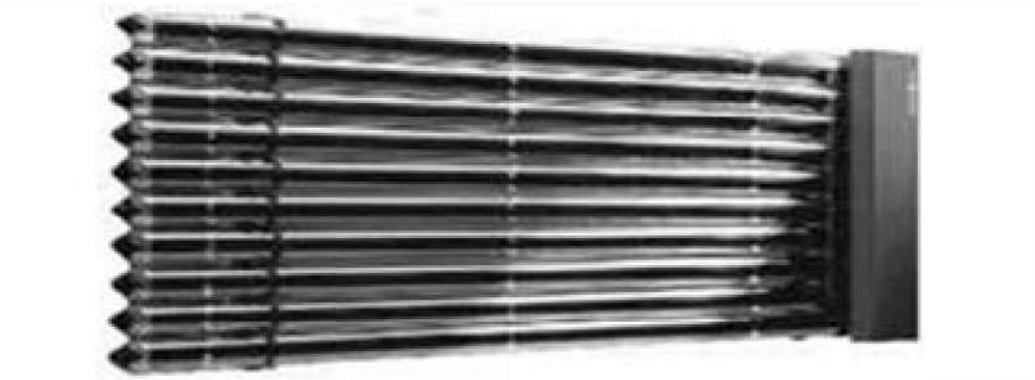


Figure I.6 : Capteur solaire thermique sous vide [14].

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. La conception de l'absorbeur et les tuyaux de circulation du fluide caloporteur sont comme un capteur plan. Le rendement est généralement meilleur que celui d'un capteur plan, surtout à des températures élevées (>60°C).

d) Les capteurs plans vitrés et non vitrés [17]:

Il faut distinguer les capteurs plans vitrés et non vitrés. Les capteurs plans non vitrés sont constitués de tubes généralement en plastique noir résistant aux ultraviolets dans lesquels circule de l'eau. Ils trouvent leur application à basse température (30°C) pour chauffer l'eau des piscines. Le capteur plan vitré est le plus répandu. Il est utilisé pour des applications nécessitant des températures moyennes allant de 30°C pour les capteurs à simple vitrage à 90°C pour les capteurs plans à double vitrage. La figure I.8 présente le schéma de principe d'un capteur plan vitré. L'absorbeur va capter l'énergie solaire et la transmettre au fluide caloporteur par l'intermédiaire des tubes fixés sur sa face inférieure. Le capteur est isolé à l'arrière et sur les côtés pour limiter ses pertes thermiques. Le verre est un matériau quasi-opaque à l'infrarouge et transparent au rayonnement solaire. Ainsi, tout flux solaire traversant le vitrage se retrouve piégé, l'absorbeur émettant dans l'infrarouge. Notons que le vitrage est fixé hermétiquement d'une part pour limiter la circulation d'air entre l'absorbeur et sa face inférieur mais aussi pour éviter tout dépôt d'impureté sur l'absorbeur ou tout problème d'humidité à l'intérieur du capteur.

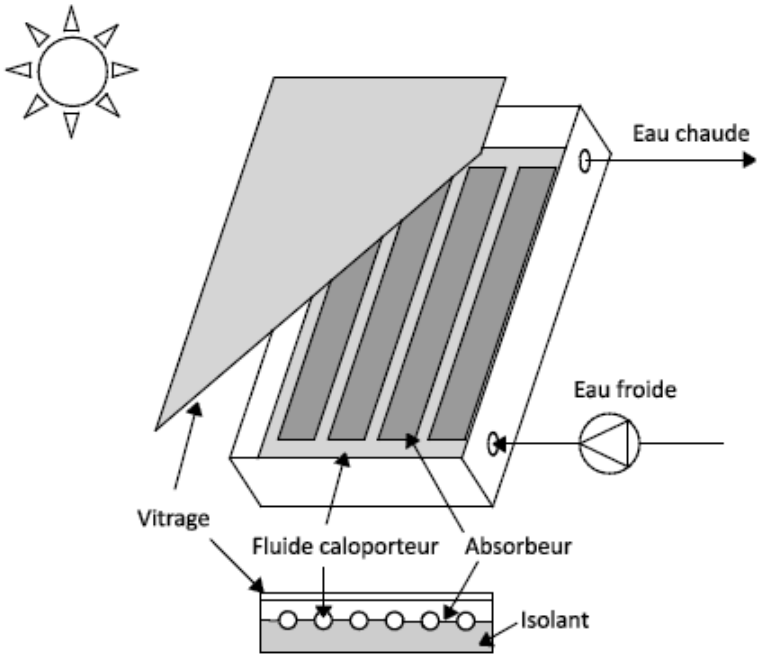


Figure I.7 : Schéma de principe d'un capteur plan vitré [17].

L'application la plus répandue concerne la production d'eau chaude sanitaire, mais cette technologie peut aussi être utilisée pour chauffer des bâtiments. En rafraîchissement solaire, ces capteurs sont associés à la fois aux cycles fermés à sorption et aux cycles ouverts à dessiccation.

e) Les capteurs à concentration ou parabolique [17]:

Pour atteindre des températures élevées (supérieures à 150°C), il est nécessaire de concentrer les rayons solaires par des jeux appropriés d'éléments réfléchissants (miroirs) ou de lentilles (figure I.8).

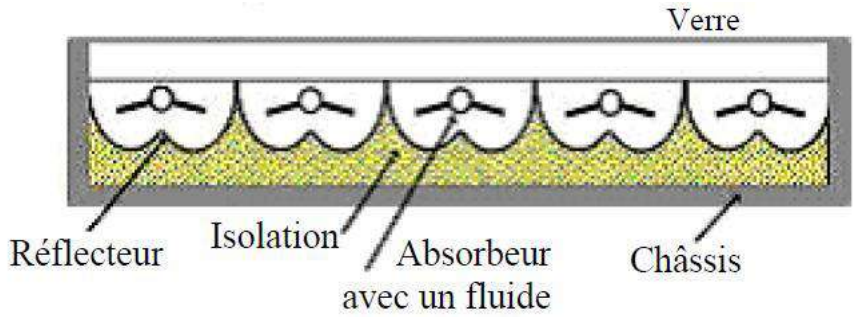


Figure I.8 : Schéma de principe d'un capteur à concentration [16].

Le flux solaire reçu par le capteur est d'abord réfléchi sur les miroirs du concentrateur, puis il traverse généralement un vitrage destiné à isoler thermiquement le foyer où il est absorbé par une surface appropriée. La réflexion, la transmission à travers le vitrage, et l'absorption se traduisent par des pertes optiques, caractérisées globalement par une efficacité. Dans les capteurs à concentration élevée, seule la composante directe du rayonnement solaire peut être dirigée vers le foyer, la composante diffuse ne pouvant être concentrée. La contrainte principale, outre le coût des dispositifs plus élevé que celui des capteurs plans, réside dans la nécessité d'installer un système de poursuite destiné à suivre le soleil dans sa course.

En rafraîchissement solaire, cette technologie est associée aux cycles à absorption à double ou triple effets nécessitant des températures supérieures à 130°C.

I.2.5.3.Techniques basées sur un processus thermomécanique [9]:

a) cycle de Rankine [12]:

La première classe comprend des machines telle que celle de la figure I.9 dans les quelles, un moteur thermique, utilisant les capteurs et l'ambiance comme sources, entraine une machine frigorifique à compression classique. Une simple juxtaposition cumule les pertes des deux machines en y ajoutant des problèmes de vibration, d'étanchéité et de régulation. II faut intégrer les machines motrice et réceptrice et réaliser le transfert d'énergie de façon simple et fiable. Les diverses voies possibles ont été expérimentées sur des prototypes de puissance moyenne. Les rendements exergétiques obtenus varient de 20 à 25%

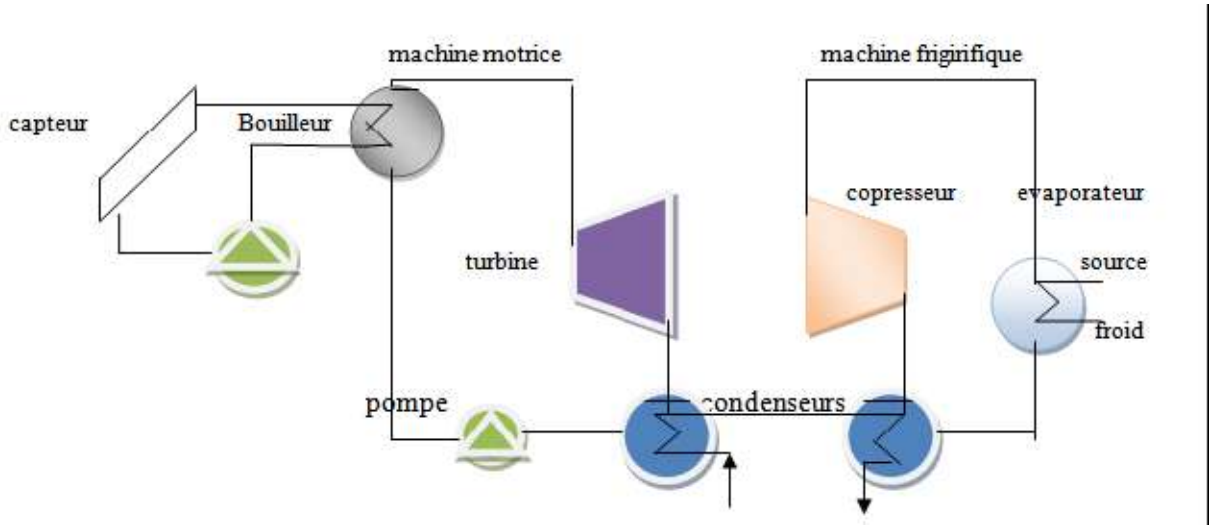


Figure I.9: Machine frigorifique couplée à cycle de Rankine [12].

Vu le caractère intermittent et variable de l'énergie solaire, un bon fonctionnement à charge partielle et des possibilités de démarrage et d'arrêt spontanés constituent des atouts majeurs en réfrigération solaire. Enfin, les machines à double cycle de Rankine peuvent fonctionner dans une très large gamme de températures en particulier, avec de la chaleur à basse Température fournie par des collecteurs plans.

b) Le cycle à jet de vapeur [10]:

L'éjecteur est une tuyère d'abord convergente – l'accroissement de la vitesse du jet diminue la pression ce qui permet l'aspiration voulue – puis lentement divergente. L'augmentation progressive de la section offerte à la vapeur ralentit sa vitesse et la pression remonte. La figure I.10 représente schématiquement le circuit du système à éjection le plus simple à un seul étage d'éjecteur. Il est formé de deux boucles :

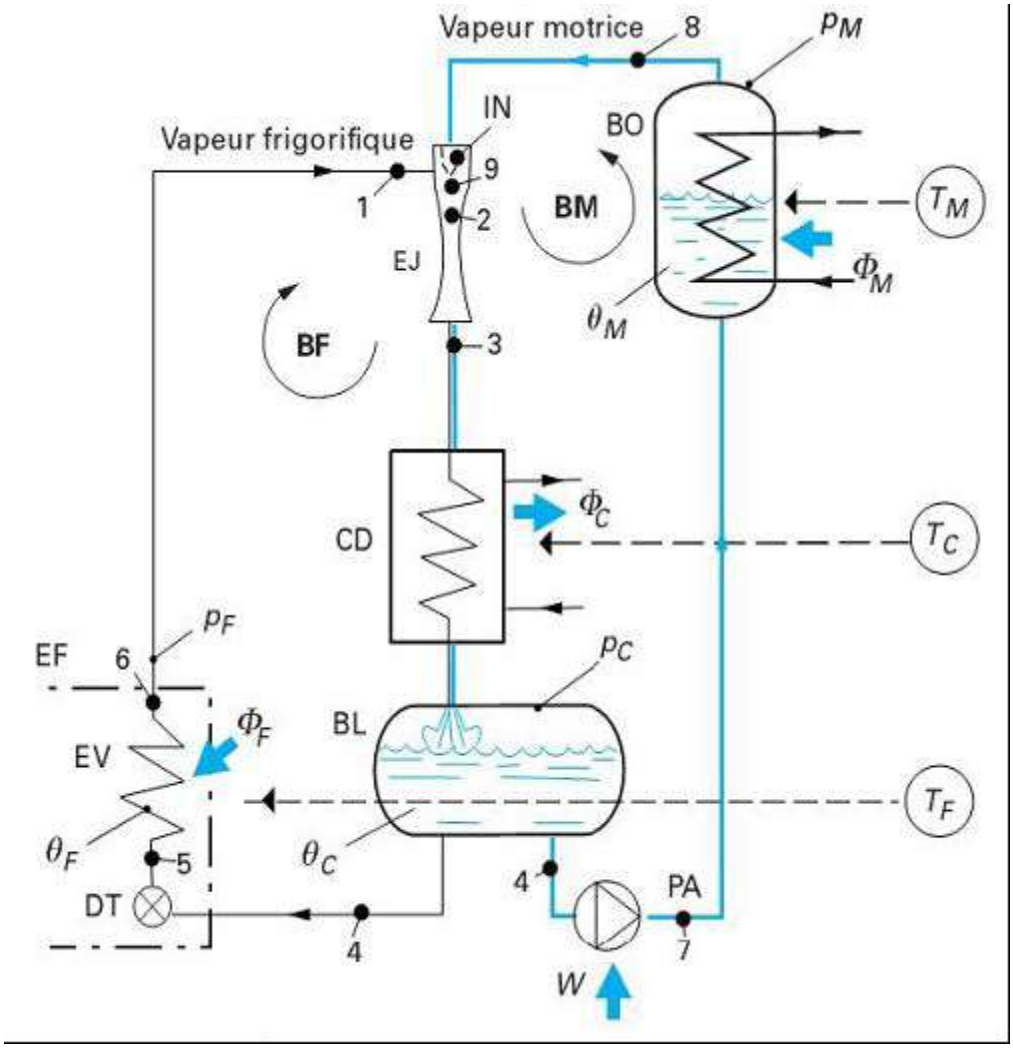


Figure I.10: Système à éjection [10].

- La « boucle frigorifique » BF parcourue par le fluide frigorigène et comportant :

- L'éjecteur EJ qui aspire la vapeur issue de l'évaporateur EV et la comprime avant son introduction dans le condenseur CD.
- Le condenseur CD qui liquéfie la vapeur du frigorigène.
- La bouteille de liquide BL qui représente la réserve de liquide frigorigène.
- Le détendeur DT qui règle l'apport de liquide frigorigène dans l'évaporateur. L'évaporateur EV où s'effectue la production de froid par vaporisation du liquide frigorigène. Cet échangeur thermique est placé dans l'enceinte à refroidir EF.

- La « boucle motrice » BM parcourue par le fluide moteur actif et comportant :

- L'éjecteur où l'énergie cinétique du jet de vapeur du fluide actif, qui pénètre dans l'éjecteur par l'injecteur IN, sert à assurer la circulation du frigorigène dans la boucle frigorifique BF.
- Le condenseur CD qui liquéfie la vapeur du fluide actif sortant de l'éjecteur.
- La bouteille de liquide BL, la réserve de fluide actif liquide.
- La pompe PA qui alimente le bouilleur en liquide à vaporiser
- Le bouilleur BO « chaudière » qui reçoit l'énergie thermique alimentant la machine. Sous l'action du chauffage, le liquide se vaporise et la vapeur formée se surchauffe avant de pénétrer dans l'injecteur de l'éjecteur.

Comme on le voit sur la figure I.10, il apparaît clairement que les deux boucles ne sont pas séparables. Le système en question est bien intégré ou non dissociable : l'éjecteur, qui joue ici un double rôle (à la fois « moteur thermique » pour la boucle motrice et « compresseur » pour la boucle frigorifique), le condenseur et la bouteille de liquide sont communs aux deux boucles. Ici, c'est la même substance qui est utilisée comme frigorigène et comme fluide moteur, et il en est généralement ainsi.

I.2.5.3.1.Technique basée sur la sorption:

a) Principe de la sorption [1]:

Les procédés thermochimiques reposent sur la gestion de la thermicité d'un phénomène renversable de sorption entre un gaz G et un sorbant (liquide ou solide) :

$$S_1 + n.G \underset{2}{\overset{1}{\rightleftharpoons}} S_2 + n.\Delta H_{sorp} \quad \text{.....(I.1)}$$

Dans le sens 1 (appelé synthèse dans le cas d'une réaction chimique solide-gaz ou sorption dans le cas de l'ab- et de l'adsorption), le gaz G se fixe sur le sorbant S1. Ce phénomène est exothermique et libère la quantité de chaleur de sorption ΔHsorp. Dans le sens 2 (appelé décomposition ou désorption respectivement), le sorbant S2 libère du gaz G. Ce phénomène endothermique nécessite l'apport de la quantité de chaleur ΔHsorp.

b) Technique basée sur la sorption d'un gaz:

- **machine à absorption [18]:**

La machine à absorption en cycle fermée utilise une solution d'eau et de bromure de lithium. La compression thermique est obtenue en utilisant un couple réfrigérant/liquide absorbant, et une source de chaleur qui remplace la consommation électrique du compresseur mécanique et c'est grâce à des capteurs solaires sous vide posés en toiture que la chaleur est produite. La plupart des systèmes utilisent une pompe à solution, très faiblement consommatrice d'électricité.

La climatisation solaire est composée :

- D'un désorbeur, qui a pour rôle de vaporiser le fluide caloporteur.
- D'un condenseur, qui a pour rôle de condenser le fluide caloporteur en état vapeur à l'état liquide.
- D'un détendeur, qui à pour rôle de diminuer la température et la pression du fluide.
- D'un évaporateur, qui sert à échanger de la chaleur entre l'air chaud et le fluide s'évaporant, en créant du froid.
- D'un absorbeur, qui sert à absorber le réfrigérant.
- D'une pompe, qui sert ramener le couple réfrigérant/absorbant dans le désorbeur.

Dans les cas de climatisation solaire, où la température de la source froide est supérieure à 5°C, la paire eau/bromure de lithium est généralement utilisée. Avec un système (H_2O /LiBr), la cristallisation de la solution doit être évitée par un contrôle de la température de refroidissement. La température de la source chaude est comprise entre 80 et 100°C. Dans des conditions optimales de fonctionnement, le coefficient de performance thermique est de l'ordre de 0,7 [19]. Les machines à absorption simple effet sont actuellement disponibles auprès de nombreux fabricants pour différentes capacités allant de 15 kW à plusieurs centaines de kilowatts. On assiste aujourd'hui à d'importants travaux de recherche et développement se focalisant sur le développement de petites machines à absorption compatibles avec l'énergie solaire destinées in fine au marché résidentiel.

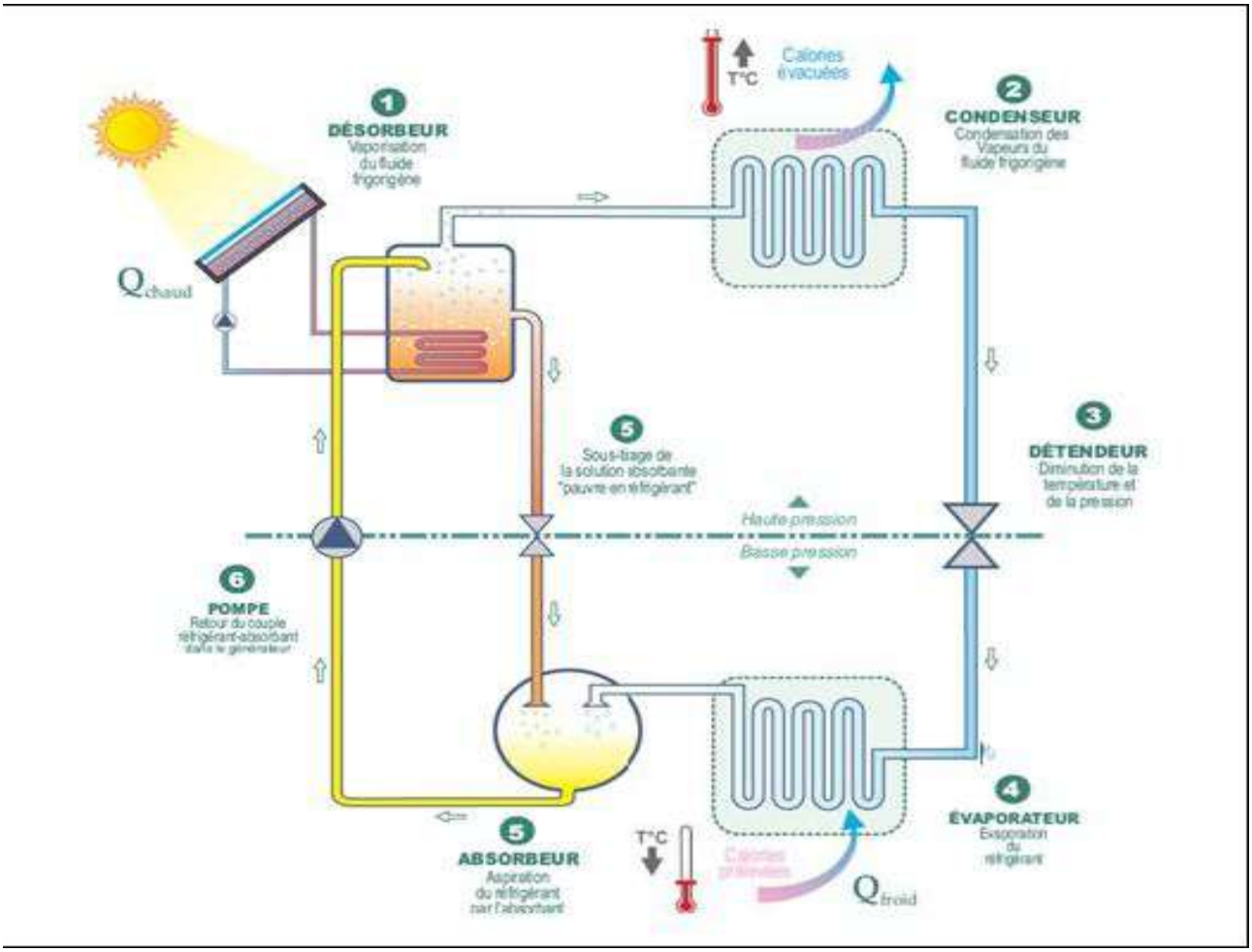


Figure 1.11: Schéma de fonctionnement du cycle absorption à simple effet [18].

Les deux grandes paires de travail ont été utilisés dans les systèmes de froid solaire à absorption sont H_2O-LiBr et NH_3-H_2O. Le premier couple H_2O est un réfrigérant et LiBr est l'absorbant, alors que le NH_3 est le fluide réfrigérant et le H_2O est l'absorbant dans le deuxième cas. Chaque paire de travail a ses avantages et ses inconvénients comme le montre le tableau I.3:

Couple de travail	**Avantages**	**Inconvénients**
NH_3-H_2O	Evaporation à la température en dessous de 0°C.	Toxique et dangereux pour la santé (ammoniac). Besoin d'une colonne pour l'opération de redresseur à haute pression.
H_2O-LiBr	Bon COP. Basse pression de fonctionnement. Respectueux de l'environnement. Grande chaleur latente de vaporisation.	Le risque de congélation, donc un dispositif anti-cristallisation est nécessaire relativement cher (LiBr)

Tableau I.1 : Comparaison entre les couples d'absorption de NH_3-H_2O et H_2O-LiBr [18].

Les avantages de l'absorption sont [1] :

- Consommation d'électricité divisée par 20 par rapport aux machines à compression mécanique
- Le fluide frigorigène est inoffensif
- Nuisance sonore du compresseur supprimée
- Absence de pièce mécanique en rotation donc d'usure prématurée

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

- **La machine à adsorption [1]:**

Lorsque le gaz ne se fixe pas dans un liquide, mais sur un matériau hautement poreux, on parle d'adsorption. Cette faculté de matériaux tels que les gels de silice, ou les Zéolites est utilisée dans des machines les couplant à la vapeur d'eau pour réaliser le cycle de refroidissement (présenté à la Figure I.12). L'utilisation de matériaux solides oblige alors à avoir un fonctionnement cyclique et non continu comme pour l'absorption. Deux masses de matériaux adsorbants sont alternativement chauffées par la source chaude pour désorber la vapeur d'eau qui va ensuite se condenser dans le condenseur.

Puis l'eau est ensuite évaporée dans l'évaporateur où le froid est alors produit. Cette vapeur d'eau s'adsorbe ensuite sur le matériau adsorbant et le cycle recommence.

Les machines à adsorption sont peu développées et concernent pour l'instant seulement des puissances importantes, à partir de 70 kW. Le COPth est d'environ 0.6 [19]. Des recherches sont actuellement conduites pour améliorer le caractère cyclique générateur de beaucoup d'instabilité, ainsi que pour améliorer leur compacité et proposer des petites puissances [2].

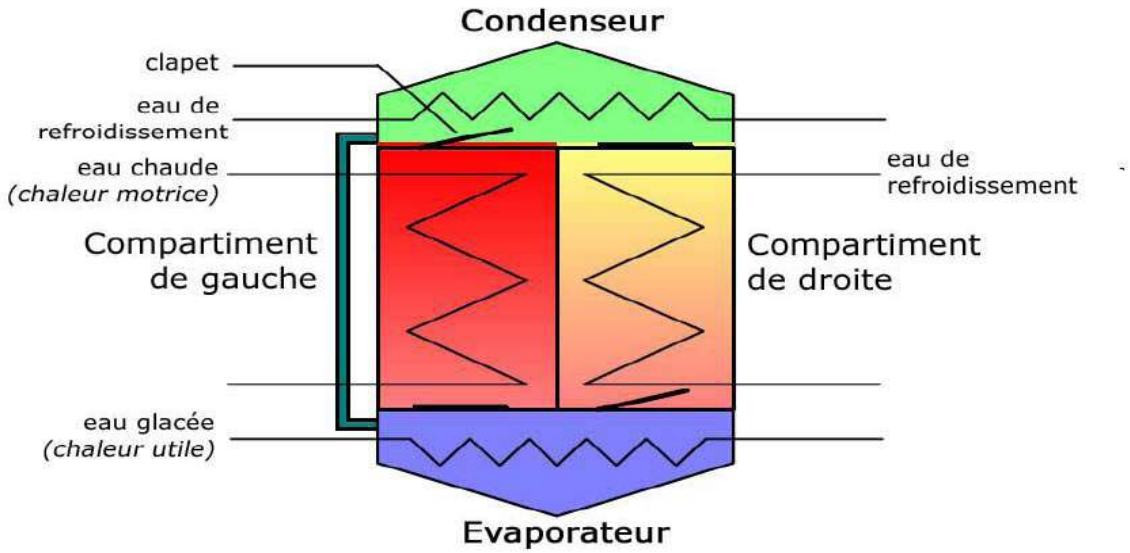


Figure 1.12: Schéma de fonctionnement d'une machine à adsorption [1].

✓ **Types de l'adsorption :**

Selon les catégories des forces attractives, l'énergie et la nature des liaisons mises en jeu, on peut distinguer deux types d'adsorption: l'adsorption physique et l'adsorption chimique.

- **Adsorption physique [20]:**

L'adsorption physique est un phénomène réversible qui résulte des forces intermoléculaires d'attraction entre les molécules du solide et celles de la substance adsorbée.

Ce phénomène contrôlé par la diffusion des molécules atteint son équilibre rapidement (quelques secondes à quelques minutes) mais peut se prolonger sur des temps très longs pour les adsorbants microporeux en raison du ralentissement de la diffusion de l'adsorbat dans ces structures de dimensions voisines du diamètre des molécules de l'adsorbant.

L'adsorption physique n'est pas un phénomène spécifique, dans ce cas, l'adsorbant retient en général toutes les espèces en quantités plus au moins grandes. Ces quantités étant proportionnelles à la surface réelle de l'adsorbant.

- **Adsorption chimique [21]:**

Adsorption chimique ou adsorption activée résulte d'une interaction chimique qui se traduit par un transfert d'électrons entre le solide et l'adsorbat. Il y a alors formation d'un composé chimique à la surface de l'adsorbant. Ce type d'adsorption se développe à haute température et met en jeu une enthalpie de transformation élevée.

✓ **Description du mécanisme d'adsorption [20]:**

A chaque fois qu'un gaz ou un liquide est en contact avec un solide, celui-ci est retenu par les atomes superficiels du solide et se concentre à sa surface. Ca processus se déroule en trois étapes:

❖ **Diffusion externe:** elle correspond au transfert du soluté (molécule de phase liquide) du sein de la solution à la surface externe des particules. Le transfert de matière externe dépend des conditions hydrodynamiques de l'écoulement d'un fluide dans un lit d'adsorbant.

❖ **Diffusion interne:** les particules de fluide pénètrent à l'intérieur des pores. Elle dépend du gradient de concentration du soluté.

❖ **Diffusion de surface:** elle correspond à la fixation des molécules sur la surface des pores.

✓ **Avantages et inconvénients des machines à adsorption [22]:**

❖ **Avantages :**

- Robustesse
- Aucun danger de cristallisation, et donc, pas de contrainte sur la température intermédiaire de refroidissement.
- Il n’y a pas de pompe à solution ; les consommations électriques sont donc particulièrement réduites
- La température requise au générateur est généralement plus faible.

❖ **Inconvénients :**

- Taille et poids élevés (mais il existe cependant un potentiel important d’amélioration au niveau des échangeurs dans les compartiments d’adsorption, et donc de réduction de poids et de volume pour les futures générations de machines à adsorption).
- Coefficient de performance est plus faible (de l’ordre de 0,4 à 0,6).

- **La machine à dessiccation [16]:**

Les systèmes à dessiccation sont utilisés pour produire directement de l'air frais, et non pas pour refroidir l'eau de la boucle de refroidissement comme dans le cas des machines citées précédemment. Ainsi ils ne peuvent être utilisés que dans le cas où la climatisation du local se fait grâce à un système à air basé sur une centrale de traitement d'air (CTA).

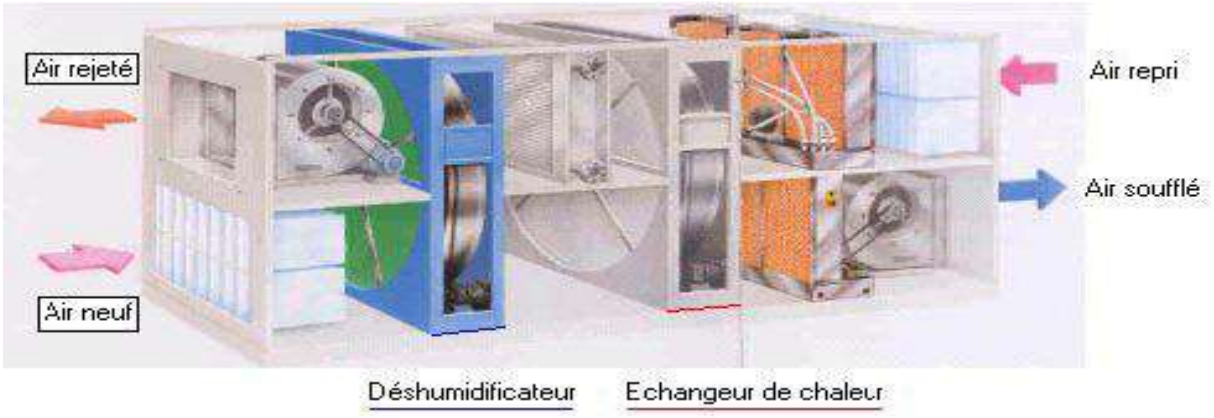


Figure I.13: Schéma d'une machine a dessiccation [16]

Remarque : les systèmes à dessiccation font l'objet de cette étude et seront donc détaillés dans le prochain chapitre.

I.3. Conclusion:

Dans ce chapitre, nous avons présenté les différentes méthodes de climatisation solaire ainsi que le principe de l'utilisation de l'énergie solaire pour produire du froid afin d'économiser de l'énergie primaire et de réduire les rejets de CO_2. Néanmoins, ces techniques ne sont pas encore rentables du point de vue économique. Afin de parvenir à la rentabilité, il est donc nécessaire que soit les coûts de l'énergie augmentent, soit les coûts d'investissement de ces technologies (et notamment ceux des capteurs solaires) baissent, soit que les performances des systèmes de climatisation solaires soient améliorées.

II.1. Introduction:

Les procédés de rafraîchissement solaire par dessiccation sont des systèmes ouverts basés sur le refroidissement et la déshumidification de l'air des locaux à traiter. L'eau est utilisée comme seul « réfrigérant » ainsi aucune machine électrique à compression n'est nécessaire [17].

Dans ce chapitre on mettra un évidence la nécessité d'utilisation les systèmes de rafraîchissement (climatisation) qui soient écologique et économe d'énergie comme les systèmes à sorption ayant recours à l'énergie solaire. Dans un premier temps, une description des systèmes à dessiccation est effectuée. On présentera ensuite les différents matériaux utilisés dans ces systèmes ainsi que leurs principaux avantages et inconvénients.

II.2. Phénomène de la sorption [2]:

La sorption est le phénomène physique régissant la fixation des molécules de gaz de la masse d'air sur un substrat. Des matériaux ou des solutions liquides ayant la capacité de capturer et de retenir des gaz sont appelés des sorbants. Pour le cas de produits ayant une grande affinité avec la vapeur d'eau on parle de matériaux ou solutions déshydratants.

II.3.Principe de fonctionnement [4]:

Le système de dessiccation est un cycle ouvert, qui s'appuie principalement sur l'utilisation de l'eau et de son potentiel de changement de phase 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 tout d'abord desséché dans une roue à dessiccation (roue composée d'une matrice circulaire de fibre de verre ou d'aluminium sur laquelle est déposé le matériau dessiccatif), puis refroidi dans un échangeur, et enfin humidifié adiabatiquement dans un laveur d'air (Fig. II.1).

Le fonctionnement d'un tel système nécessite un flux d'air de régénération qui permet de refroidir l'air du process dans l'échangeur, puis de régénérer le matériau dessiccatif après avoir été réchauffé à partir de 50°C à l'aide d'un collecteur solaire

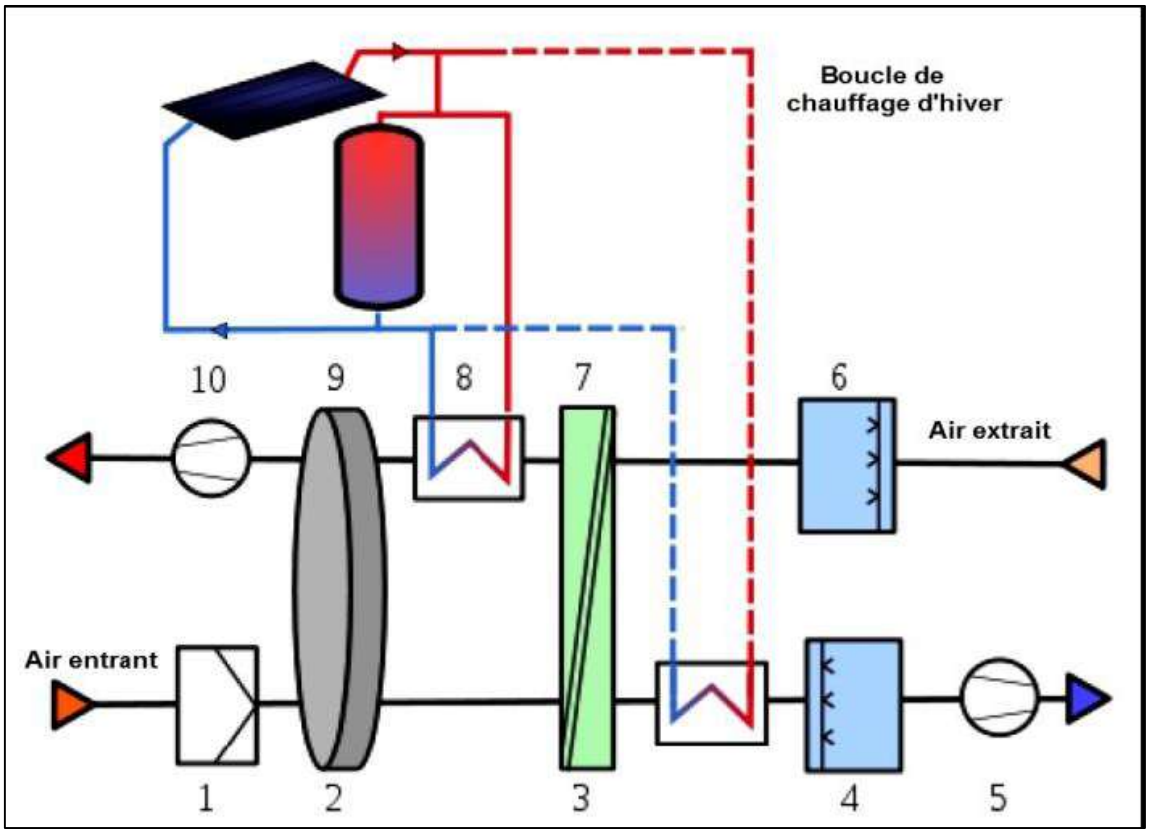


Figure II.1: Schéma du système à dessiccation [4].

D'après la figure II.1, l'air subit le processus suivant:

Air entrant:

1 - Filtration de l'air.

2 - Déshumidification : l'air passe dans une roue dessiccatrice qui lui retire une grande partie de son humidité et augmente par là même sa température.

3 - Passage dans un échangeur de chaleur 3/7: l'air entrant et sec revient à température de l'air extrait, lui-même refroidit au maximum (étape 6 de l'air sortant).

4 - Réhumidification : au contact avec l'air sec, l'eau pulvérisée s'évapore en prenant à l'air la chaleur latente de vaporisation nécessaire, ce qui se traduit par une diminution de sa température et permet de rétablir un taux d'humidité acceptable.

5 - Ventilation.

Air sortant:

6 - Rafraîchissement par humidification: l'air extrait est saturé en humidité afin d'abaisser au maximum sa température, et donc abaisser au maximum la température de l'air entrant à l'étape suivante.

7 et 8 - l'air extrait est chauffé afin de lui permettre d'absorber encore plus d'humidité; d'abord par récupération de la chaleur de l'air entrant, puis par chauffage dans le radiateur 8

au travers d'une boucle solaire.

9 - Régénération de la roue dessiccatrice: l'air extrait, chauffé de 45 à 90 °C permet de vaporiser les molécules d'eau retenues dans les pores de la roue à sorption. De cette manière, la roue dessiccatrice peut de nouveau absorber l'humidité de l'air entrant.

II.4. Les matériaux dessiccants [23]:

II.4.1. Introduction:

Les sorbants sont des matériaux qui ont une capacité d'attirer, de contenir et de conserver d'autres substances liquides ou gazeuses. Les matériaux dessiccants sont une classe particulière des sorbants et qui ont une grande affinité pour l'eau [32]. En réalité tous les matériaux sont dessiccants c'est-à-dire qu'ils attirent et contiennent de la vapeur d'eau. Le bois, les fibres naturelles, les argiles et plusieurs matériaux synthétiques attirent et libèrent de l'humidité comme les dessiccants commerciaux mais ce qui leur manque c'est la capacité de contenir de l'humidité. Par exemple, les fibres de laine attirent 23% de leur masse à sec de l'eau et le nylon peut contenir 6% de sa masse en eau. Par contre, un dessiccant commercial attire de l'eau de 10 à 1100% de sa masse. Cette capacité varie en fonction de l'humidité de l'entourage. De plus, les dessiccants continuent à attirer de la vapeur même dans le cas où l'ambiance est sèche, c'est une caractéristique qui n'est pas commune aux autres matériaux.

Tous les matériaux dessiccants 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 dessiccant en le chauffant à des températures qui varient entre 50°C et 260°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. Ce phénomène d'attraction et de captage de l'humidité est appelé adsorption (sorption physique) ou absorption (sorption chimique) selon que le dessiccant subit un changement chimique ou non pendant l'attraction de l'humidité. Pendant l'adsorption il n'y a pas de changement d'état du dessiccant par contre dans l'absorption on a un changement d'état. Le sel de table est un exemple d'absorbant puisqu'il devient liquide en absorbant de l'humidité.

II.4.2.Types de matériaux dessiccants [24]:

Les matériaux dessiccants peuvent être des liquides ou des solides. Les absorbants sont liquides et les adsorbants sont solides.

a) Les absorbants:

Dans un déshumidificateur à absorption l'air entre en contact avec une solution liquide dessiccante. Le liquide a une pression de vapeur plus faible que l'eau à la même température. Cette faible pression attire la vapeur d'eau de l'air qui est déshumidifié. La pression de vapeur d'une solution liquide est proportionnelle à sa température et inversement proportionnelle à sa concentration.

La figure II.2 montre l'effet de l'augmentation de la température sur la pression de la vapeur en surface pour différentes solutions d'eau et de triethylène glycol. Plus la teneur en glycol augmente plus la pression à la surface diminue. De même la figure II.3 montre l'effet de la température sur la pression de vapeur du chlorure de lithium.

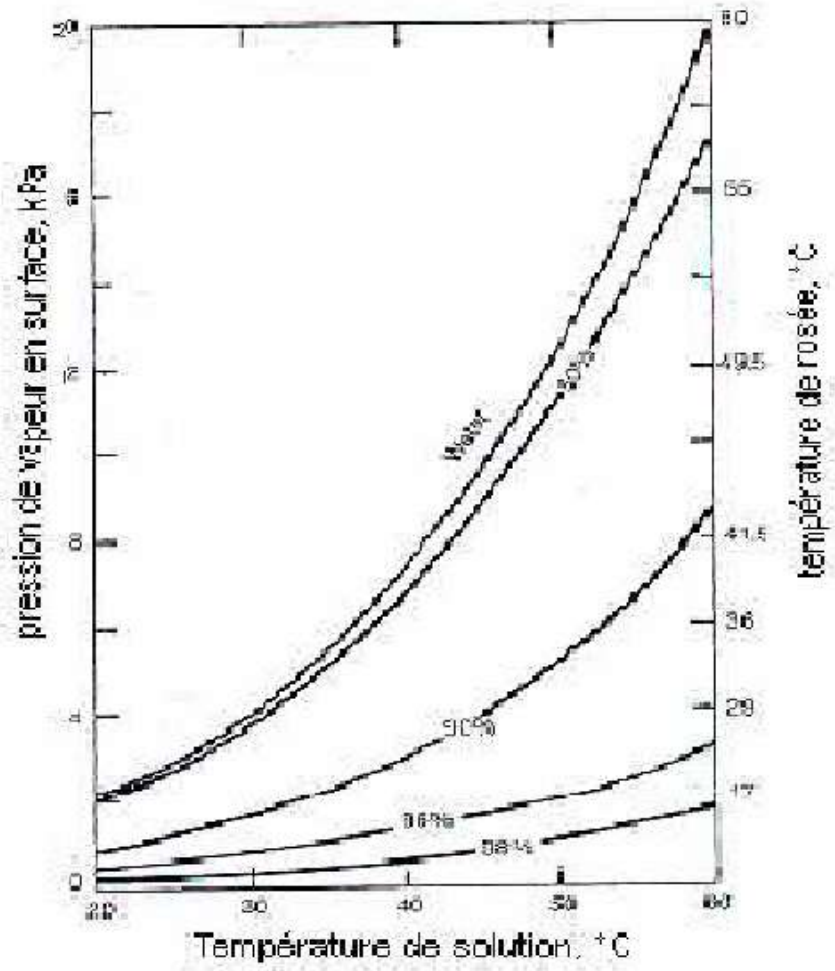


Figure II.2: Pression de vapeur à la surface pour différentes solutions d'eau- triethylène Glycol [23].

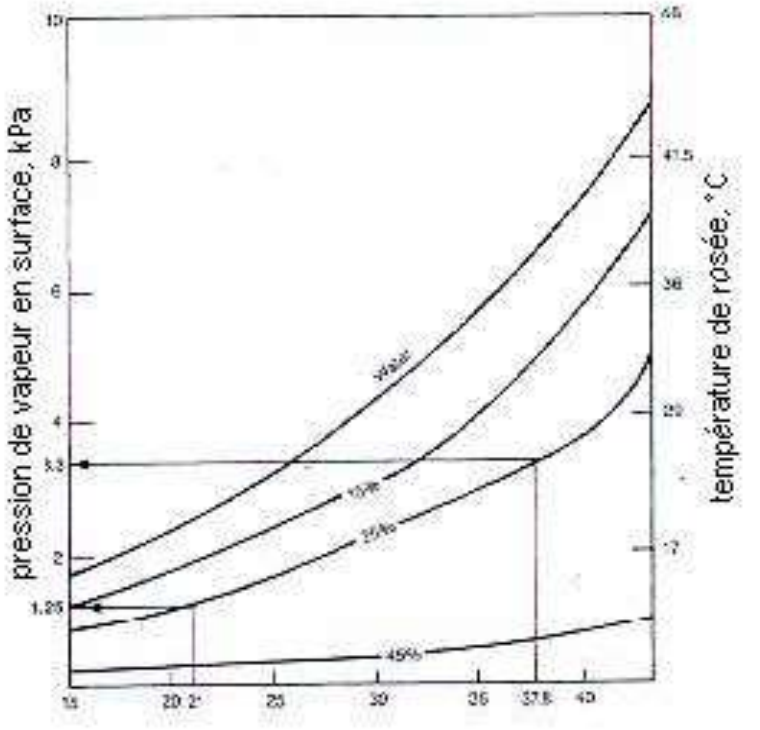


Figure II.3: Pression de vapeur à la surface pour différentes solutions d'eau- Chlorure de Lithium [23].

Le Chlorure de Lithium a une très grande affinité pour l'eau. Chaque molécule peut capter deux molécules d'eau, même dans l'état sec. Pour plus de deux molécules d'eau par molécule de LiCl, le matériau devient liquide et continue à absorber de l'eau. Si la solution est en équilibre avec l'air à une humidité relative de 90%, près de 26 molécules d'eau sont attachées à une molécule de LiCl. Ce qui présente une absorption d'eau plus de 1000% de la masse à sec du dessiccant. En pratique le processus d'absorption est limité par la surface du dessiccant qui est exposée et par le temps de contact avec l'écoulement.

b) 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^2/g [33], atteignant même quelques milliers de m2/g [25]. 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. Comparés aux absorbants, la capacité des adsorbants de capter de l'eau est faible.

Par exemple la zéolite synthétique peut adsorber 17% de sa masse en eau quand l'air est à 21°C et à une humidité relative de 20%. Par contre le chlorure de lithium peut absorber 130% de sa masse dans les mêmes conditions. Mais les adsorbants solides ont d'autres caractéristiques favorables. Ils peuvent être fabriqués avec des tolérances précises et avec des diamètres de pores contrôlés. La molécule d'eau a un diamètre effectif de 3,2 Angström. Ainsi un matériau de pores de diamètre 4 Angström adsorbe l'eau et laisse intacte les molécules de diamètre supérieur. Cette caractéristique a une grande application industrielle.

Les adsorbants industriels les plus courants sont les suivants [23, 25]: 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 micros pores régulières de taille uniforme (ils sont aussi appelés tamis moléculaires).

- **Les charbons actifs [24]:**

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, noix de coco, résidus pétroliers, etc.), par des processus de carbonisation suivis de processus d'activation dûment contrôlés. Ils sont fréquemment utilisés pour la récupération des vapeurs de solvant et d'hydrocarbures, la décoloration de sucres, etc.



Figure II.4: représente les charbons actifs.

- **Les zéolites [24]:**

Les zéolites sont des alumino-silicates cristallins et poreux, résultant des enchaînements de tétraèdres de SiO_4 et AlO_4. 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.



Figure II.5: représente les zéolites.

- **Les gels de silice [24]:**

Les gels de silice (SiO_2, nH_2O peuvent être obtenus par précipitation de silice en faisant réagir un 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 nanomètre. Ces gels adsorbent de préférence les molécules polaires comme l'eau et l'alcool.



Figure II.6: représente les gels de silice.

- **Les alumines activées [24]:**

Elles sont obtenues par déshydratation thermique du tri hydrate d'alumine. Comme les gels de silice, les alumines activées sont très hydrophiles et sont couramment utilisés pour le

séchage.

II.4.3. La durée de vie des matériaux dessiccants [24]:

La durée de vie des matériaux dessiccants 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 avant qu'il soit nécessaire de les remplacer. 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.

Les absorbants thermiques sont plus réactifs avec les composants de l'air autre que la vapeur que les adsorbants. Par exemple, certains composés sulfurés peuvent réagir avec le chlorure de lithium pour former le sulfate de lithium, non dessiccant. Si la concentration des composés sulfurés dans l'écoulement d'air est inférieure à 10mg/kg et le dessiccant est utilisé 24h par jour, la capacité de réduction sera de 10 à 20% après 3 années d'usage. Par contre si la concentration est de 30mg/kg, cette réduction aura lieu en une année.

Les adsorbants sont moins sensibles aux réactions avec les contaminants. Par contre, ils sont sensibles aux contraintes dues au changement rapide de la teneur en humidité. Ainsi, le gel de silice en contact avec un courant d'air à basse température et une humidité relative de 95% et puis soumis à une régénération (6 fois par heure et 24 heures par jour), subit une fragilisation à la surface qui réduit sa capacité de 10% par année.

II.5. Technologies de certaines composantes de l'installation dessiccante solaire:

II.5.1. Systèmes à humidification [24]:

- **Les systèmes évaporatifs** peuvent être classés selon deux manières distinctes.

La première classification repose sur le critère de contact ou non entre l'air à traiter et l'eau évaporée. On rencontre, selon cette classification, deux catégories de systèmes évaporatifs (direct et indirect). La seconde classification s'effectue par rapport à la consommation énergétique des systèmes (utilisation ou pas d'éléments dissipateurs d'énergie tels que les ventilateurs, les pompes...). On les appellera systèmes « naturels » s'ils ne consomment pas d'énergie et systèmes « hybrides » si leur consommation énergétique est faible devant celle d'un climatiseur traditionnel.

- **Les systèmes naturels** comprennent les procédés de rafraîchissement

par évapotranspiration de végétation, le rafraîchissement par des fontaines, le rafraîchissement par chute d'eau, les arroseurs de toiture, les bassins d'eau en toiture et les murs humides qui sont alimentés constamment par un film d'eau à leur surface externe.

Dans des bâtiments équipés par de tels systèmes, on a constaté une diminution de la température de l'ambiance pouvant atteindre 5°C [26]. Comme ces systèmes ne peuvent pas équiper une installation de traitement d'air et par suite ils ne peuvent pas être installé dans une installation dessiccante, ils ne sont pas traités dans cet ouvrage et on se limitera aux systèmes hybrides.

- **Les systèmes hybrides** font appel à des éléments qui consomment de l'énergie

sans cycle CFC. Il existe trois catégories de systèmes hybrides d'évaporation [27] :

- Les systèmes évaporatifs à atomisation dans lesquels l'eau est réduite par pulvérisation en fines particules dénommées aérosols. Mélangées à l'air à humidifier, ces fines particules passent de l'état liquide (eau) à l'état gazeux (vapeur) en puisant la chaleur nécessaire à ce changement d'état dans l'air qui, en conséquence, se refroidit. Il existe différents systèmes à pulvérisation d'eau atomisée, à savoir les humidificateurs-laveurs, les humidificateurs à centrifugation, les humidificateurs à buse fixe alimentés en eau et air comprimé, les humidificateurs à buse rotative, les humidificateurs à
- ultrasons et les humidificateurs à infrasons.
- Les systèmes à vaporisation par évaporation dans lesquels l'on force l'air à entrer en contact avec de grandes surfaces mouillées. Il en résulte une vaporisation par évaporation d'une partie de l'eau, la chaleur nécessaire au changement d'état de l'eau étant là encore puisée de l'air qui subit en contrepartie un certain refroidissement.
- Les humidificateurs à vaporisation par ébullition dans lesquels la vapeur d'eau est directement injectée dans l'air. Cette vapeur étant produite soit dans un générateur à vapeur utilisé à d'autres fins (chauffage, process,…), soit dans un réservoir qui contient de l'eau et qu'on porte à ébullition. (Ces humidificateurs ne sont pas utilisés pour le rafraîchissement c'est pour cela ils ne seront pas traités dans ce qui suit).

Quel que soit le système d'humidification choisi, on doit apporter la plus grande attention aux questions de traitement de l'eau, de mode de fonctionnement du système et d'entretien. La sécurité de fonctionnement dépend de la qualité de l'eau, de la qualité de l'air et du niveau d'entretien du matériel.

II.5.2. Déshumidification de l'air par dessiccation [24]:

Dans les applications de conditionnement d'air, il existe deux moyens principaux de déshumidifier l'air :

- Par condensation de la vapeur d'eau sur une batterie froide.
- Par contact avec un matériau dessiccant.

La déshumidification par refroidissement se distingue de la déshumidification par dessiccation par :

- L'énergie utilisée ordinairement : l'électricité pour la première, l'énergie thermique pour la seconde. La différence de coût entre les énergies peut être un critère déterminant dans le choix de la technologie.
- La température de rosée de l'air déshumidifié : les systèmes par refroidissement sont rarement utilisés pour des applications à faible température de rosée à cause des problèmes de gel des condensats sur les batteries réduisant leur efficacité.
- Les conditions d'entrée : les systèmes par refroidissement sont plus économiques que les systèmes à dessiccation quand les températures et humidités de l'air à traiter sont élevées.
- Les conditions de sortie désirées : les batteries froides sont plus adaptées quand on souhaite un air déshumidifié proche de la saturation alors que les systèmes à dessiccation sont plus adaptés quand on souhaite avoir des humidités relatives faibles.

Il existe un grand nombre de technologies pour des déshumidificateurs d'air par dessiccation. Les systèmes dessiccants solides sont basés sur quatres technologies [28]:

- Les tours à dessiccation.
- Lit horizontal tournant.
- Lit vertical multiple.
- Roue dessiccante verticale.

II.5.2.1. Les tours à dessiccation [24]:

Ce système consiste en deux tours remplies de matériau dessiccant solide (figure II.7). La déshumidification de l'air de soufflage se fait à travers une tour alors que l'air de régénération réactive le matériau de l'autre tour. Les deux tours fonctionnent alternativement entre l'air de soufflage et l'air de retour. L'avantage de ce système c'est qu'il est adapté aux températures de rosée assez basses, son inconvénient est que sa performance dépend de la vitesse de l'air.

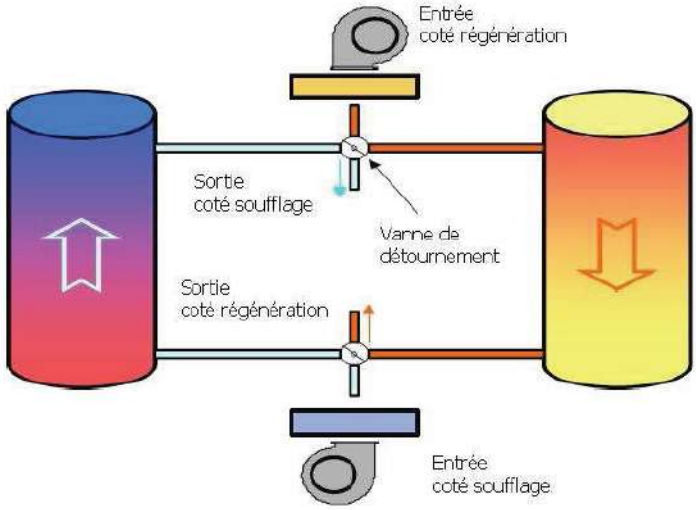


Figure II.7: Schéma représentant deux tours à dessiccation [28].

II.5.2.2. Lit horizontal tournant [24]:

Dans ce cas le matériau dessiccant est placé sur des plateaux perforés à travers lesquels l'air passe (figure II.8) et ces plateaux tournent entre l'air de soufflage et l'air de retour qui est chauffé pour régénérer le matériau. L'avantage de ce système est son faible coût comparé au coût des autres systèmes, sa conception est simple et il est adapté aux grands débits d'air. Par contre, il n'est pas assez étanche entre la section de régénération et la section de déshumidification.

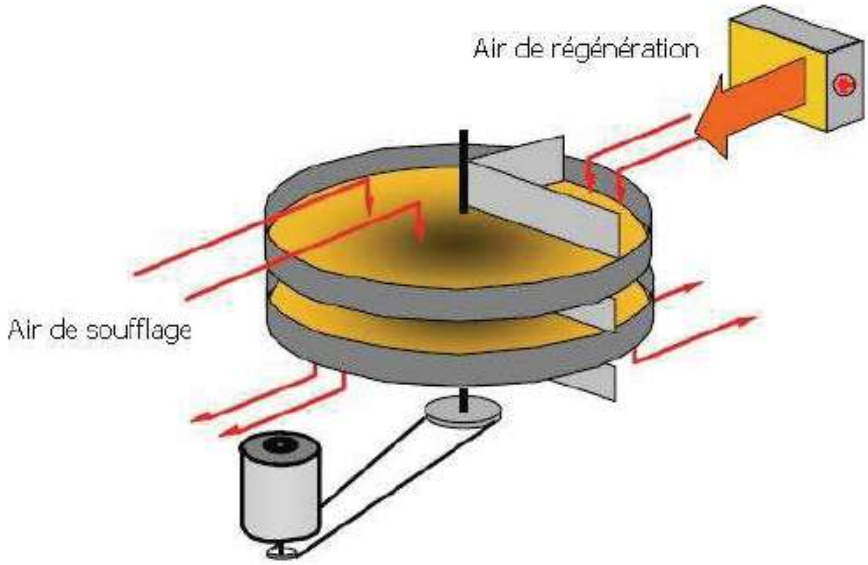


Figure II.8: Schéma d'un lit horizontal tournant [28].

II.5.2.3. Lit vertical multiple [24]:

Ce système est un compromis entre les deux systèmes précédents (figure II.9), le matériau dessiccant se trouvant dans un anneau cylindrique perforé qui est tourné entre l'air de soufflage et l'air de retour. Ce système est très performant et adapté aux applications à basse température de rosée mais il nécessite l'utilisation d'un système mécanique complexe et des conditions de maintenance assez strictes avec un coût relativement élevé.

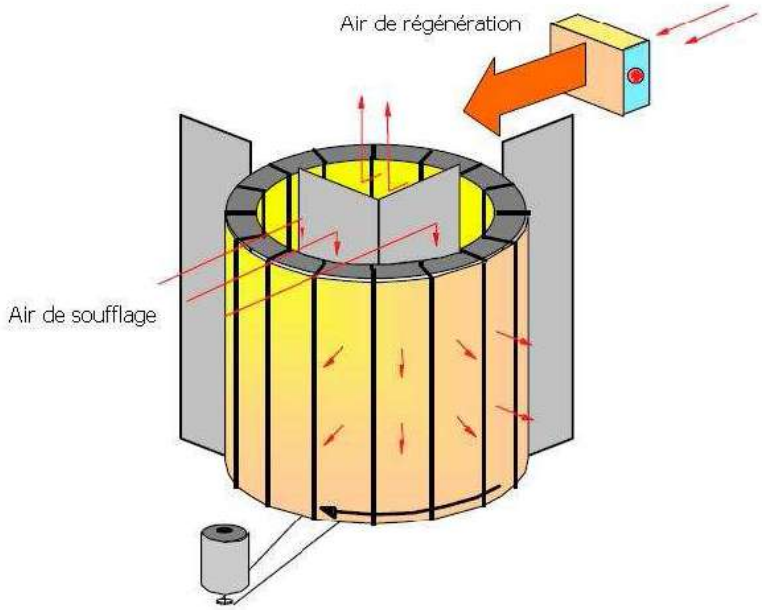


Figure II.9: Schéma d'un lit vertical à dessiccation [28].

II.5.2.4. Roue dessiccante verticale [24]:

Le système de roue verticale consistant en un nid d'abeilles recouvert d'un matériau dessiccant, est la technologie la plus aboutie aujourd'hui et commercialement disponible (figure II.10). Une configuration typique consiste à faire tourner cette roue lentement entre deux courants d'air à sens d'écoulement opposés, l'air de process (ou l'air de soufflage) et l'air de régénération (la vitesse de rotation est de l'ordre de 20 trs/hr). L'air de process s'écoule entre les cannelures de la roue et le matériau dessiccant se charge d'humidité. En absorbant l'humidité, le matériau devient saturé et la pression de vapeur à sa surface augmente. Quand la roue traverse l'air de régénération, elle est chauffée par celui-ci et la pression à sa surface continue à augmenter en permettant ainsi à la vapeur d'être libérée dans l'écoulement.

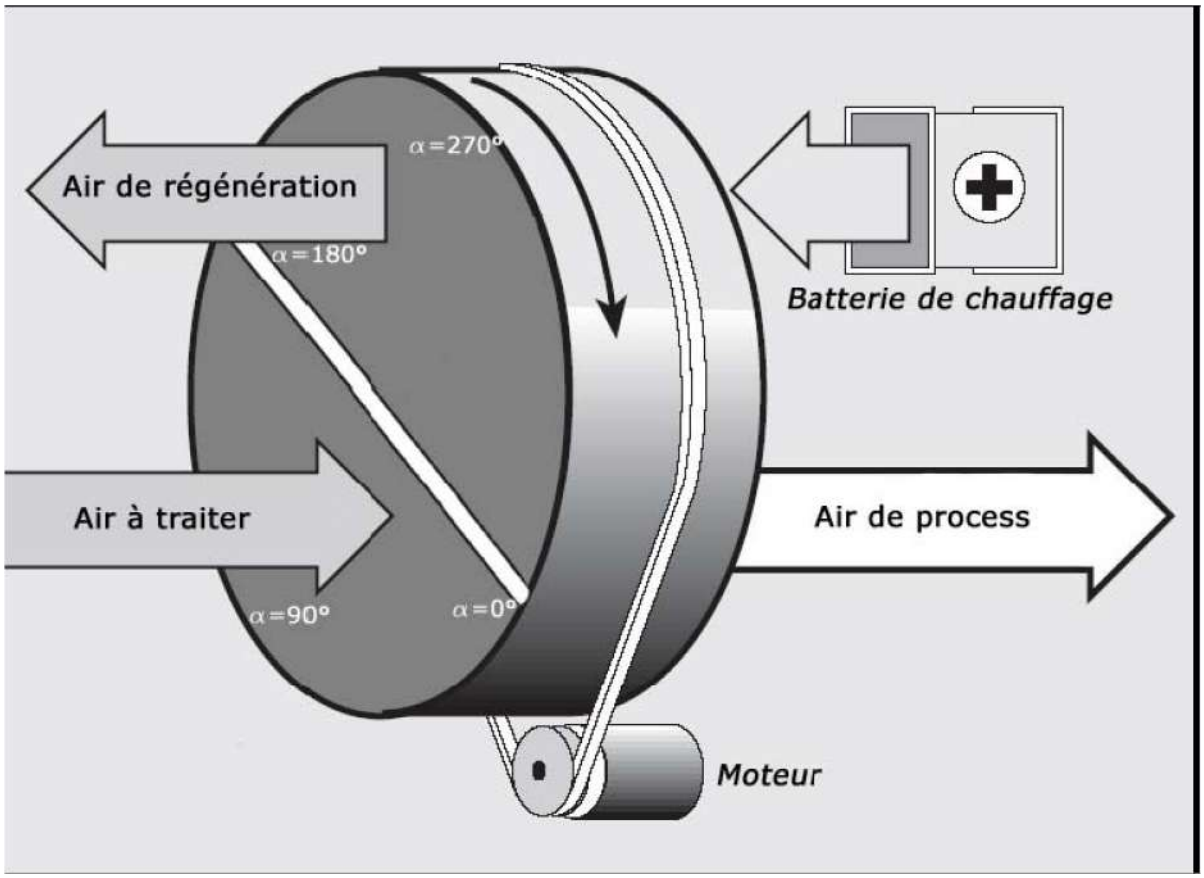


Figure II.10: Schéma d'une roue verticale à dessiccation [28].

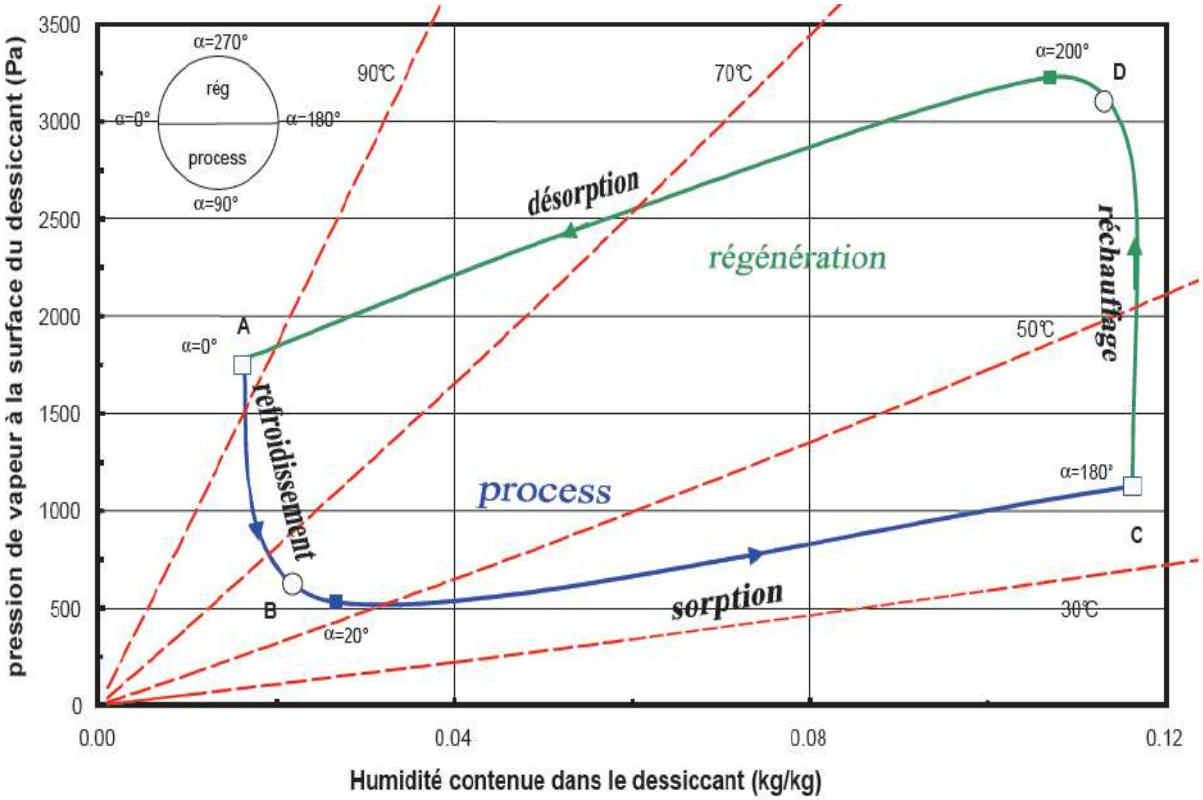


Figure II.11 : Evolution de la pression de vapeur à la surface de la roue en fonction de l'angle de la roue [29].

Après la réactivation, la roue est refroidie par une partie de l'air de process pour qu'elle puisse de nouveau absorber de l'humidité. La courbe de la figure II.5 représente l'évolution de pression partielle de vapeur à la surface du dessiccant moyennée sur toute la profondeur de la roue pour différentes positions angulaires. Les lignes en traits tirés représentent les isothermes pour différentes températures. Ces courbes sont tracées pour des conditions d'entrée de l'air de 31°C et 10 g/kg côté process et 95°C et 10,8 g/kg côté régénération. La roue à dessiccation ne réduit pas l'enthalpie de l'air mais elle transforme la charge latente (humidité) en une charge sensible (température).

II.6.Avantages et inconvénients des machines à dessiccation [2]:

II.6.1.Les avantages:

-Température de régénération faible à moyenne.

-Composants connus et largement utilisés.

-Coûts d'investissement faibles.

II.6.2.Les inconvénients:

-Système tout air neuf non adapté à tous les bâtiments.

-Maintenance soignée obligatoire.

-Peu performant dans les climats chauds et humides (COP_{th} dépendant des conditions intérieures et extérieures).

II.7. Conclusion:

Les systèmes de climatisation solaire à dessiccation sont particulièrement efficaces en climat assez sec. Pour les régions humides, on se tournera vers un système solaire à « absorption » ou à «adsorption». Dans le chapitre suivant, on détaillera la modélisation des composants de l'installation à dessiccation solaire.

III.1.Introduction:

Dans ce chapitre, un modèle mathématique est développé à partir des équations de transfert de chaleur et de masse afin de prédire le fonctionnement du système global en régime stationnaire. La résolution numérique des équations du modèle est effectuée sous Matlab dont l'organigramme est présenté en annexe A.

III.2. Description du système [30]:

Une configuration de système de refroidissement unique a été choisie pour cette étude. Ce système se compose d'un déshumidificateur adiabatique, un échangeur de chaleur sensible, deux refroidisseurs par évaporation, et un chauffe-solaire.

Dans le mode de recirculation (Fig. III.1) l'air intérieur est conditionné et livré retourne au bâtiment, tandis que l'air extérieur est utilisé pour la régénération, puis évacué à l'atmosphère.

Les évolutions de base permettant le conditionnement d'air est le suivant:

$(1 \rightarrow 2)$: L'air extérieur ambiant est humidifié pratiquement jusqu'à point de saturation pour bénéficier au maximum du potentiel d'échauffement dans l'échangeur thermique (HX).

$(2 \rightarrow 3)$: L'air du proce est réchauffé à humidité spécifique constante dans l'échangeur thermique (HX).

$(3 \rightarrow 4)$: L'air quittant l'échangeur est ensuite chauffé dans le chauffe-eau-solaire alimenté par de l'eau chaude produite par le champ de capteurs solaires thermiques.

$(4 \rightarrow 5)$: L'air ressort à une température élevée (4) avant de rentrer dans le déshumidificateur où il se refroidit en se chargeant en humidité (5)

$(6 \rightarrow 7)$: L'air repris dans la pièce traverse la roue à dessiccation on rotation lente, et est donc déshumidifié.

$(7 \rightarrow 8)$: Un premier refroidissement de l'air est obtenu au travers l'échangeur thermique (HX).

$(8 \rightarrow 9)$: L'air est ensuite humidifie et donc refroidi dans un humidificateur (EC2) permettant d'ajuster le niveau d'humidité et de température .

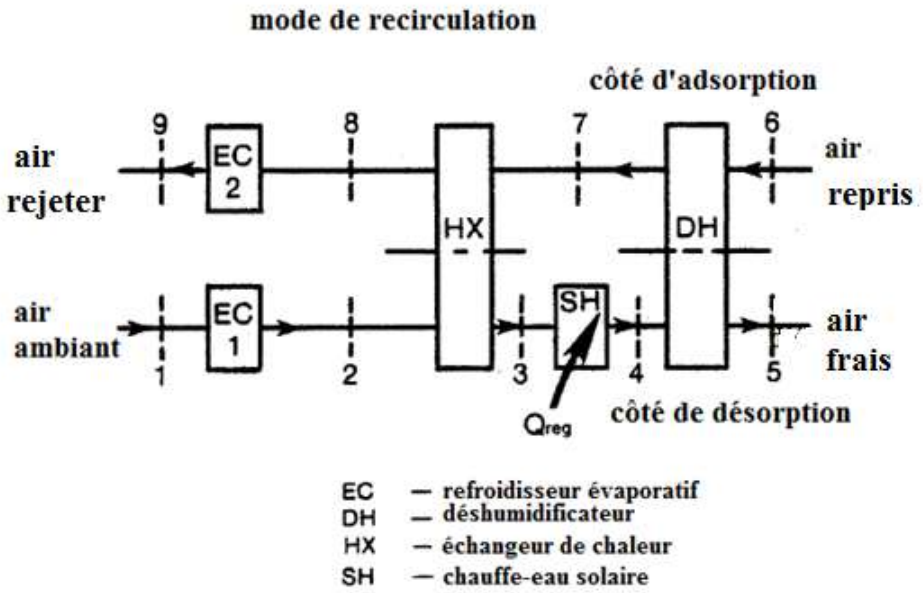


Figure III.1: schéma typique du système étudié

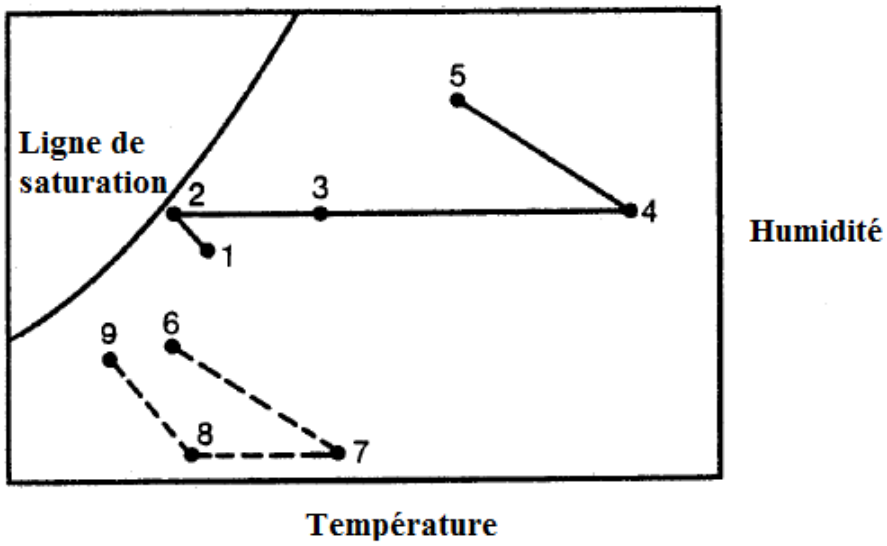


Figure III.2: Représentation du cycle sur le diagramme psychrométrique [30].

III.3. Equations du modèle:

III.3.1. Propriétés de l'air humide :

a) Pression de saturation:

La pression de saturation est calculée en utilisant la corrélation suivante [31]:

$$PSAT = \exp(23{,}28199 - 3780{,}82/(T + 273) - 225805/(T + 273)^2) \quad \text{(III.1)}$$

b) Pression partielle de vapeur:

$$PV = HR \times PSAT/100 \quad \text{(III.2)}$$

c) Humidité spécifique [30]:

$$W = 0{,}622 \times PV/(PATM - PV) \quad \text{(III.3)}$$

d) Enthalpie spécifique [31]:

$$H = ((1005{,}22 + (0.02615 \times T)) \times T + W \times (2500800 + (1868 \times T)))/1000 \quad \text{(III.4)}$$

e) Température humide:

$$TWB = (0.283 \times HR^{0.2735} \times T) + (0.0003018 \times HR^2) + (0.01289 \times HR) - 4.0962 \quad \text{(III.5)}$$

f) Chaleur spécifique [30]:

$$CP = 1005{,}22 + (0{,}0623 \times T) + (1868 \times W) \quad \text{(III.6)}$$

g) température sèche [30]:

$$T = -D + \text{sqrt}(D \times D + (H \times 1000 - 2500800 \times (W/1000))/0.02615) \quad \text{(III.7)}$$

Avec:

$$D = (1005.22 + (1868 \times (W8/1000)))/0.0523 \quad \text{(III.8)}$$

h) Humidité relative (taux d'humidité) :

$$HR = 100 \times PATM \times (W/1000)/((0.622 + (W/1000)) \times PSAT \quad \text{(III.9)}$$

III.3.2. Conditions de sortie de la roue à dessiccation [32] :

L'équation III.10 donne la température de sortie de la veine process en fonction de la température de régénération, de l'humidité et de la température d'entrée:

$$T_7 = 0{,}99753 \times \sqrt{T_4 \times W_6} + 0.37019 \square (T_4/W_6)^{0,25} \times T6 \quad \text{(III.10)}$$

L'équation III.11 donne le taux d'humidité de sortie de la veine process en fonction de l'humidité et de la température d'entrée pour température de régénération (pour le gel de silice)**.**

- Pour T_4=75°C:

$$W_7 = 0{,}00012 \times T_7^2 + 0{,}0086 \times T_7 \times W_7 + 0{,}0177 \times W_7^2 \quad \text{(III.11)}$$

- Pour T_4=95°C:

$$W_7 = 0{,}00027 \times T_7^2 + 0{,}01 \times T_7 \times W_7 + 0{,}0123 \times W_7^2 \quad \text{(III.12)}$$

III.3.3. Efficacité des humidificateurs :

L'efficacité d'un humidificateur se définit comme le rapport des différences entre la température d'entrée et la température de sortie, et la température d'entrée et la température humide [32, 33] :

$$EC = \frac{T_e - T_s}{T_e - T_h} \quad \text{(III.13)}$$

L'efficacité peut ainsi être déterminée en termes d'humidité spécifique :

$$EC = \frac{W_e - W_s}{W_e - W_h} \quad \text{(III.14)}$$

III.3.4.les paramètre de performance:

a) Puissance de l'échangeur de chaleur du système:

$$QECH = EHX \times Cmin \times (T7 - T2) \quad \text{(III.15)}$$

Avec: Cmin est la valeur minimale entre CADS et CREG

$$CADS = MAS \times CP7 \quad \text{(III.16)}$$

$$CREG = MAS \times CP2 \quad \text{(III.17)}$$

b) Puissance thermique de l'échangeur:

$$QECH = MAS \times (H3 - H2) \quad \text{(III.18)}$$

c) Puissance frigorifique :

$$QREF = MAS(H6 - H9) \quad \text{(III.19)}$$

d) Puissance de régénération:

$$QREG = MAS(H4 - h3) \quad \text{(III.20)}$$

e) Coefficient de performance (COP):

$$COP = QREF/QREG \quad \text{(III.21)}$$

f) COP solaire :

$$COPG = \eta \times COP \quad \text{(III.22)}$$

Avec:

$$\eta = 0.8 - CCS(TAMB - TI)/IG \quad \text{(III.23)}$$

CCS est le coefficient d'échange globale du capteur.

CCS =2 pour un capteur sous vide.

CCS =3,5 pour un capteur plan double vitrage.

CCS =5,7 pour un capteur plan simple vitrage.

$$TI = T4 + \Delta T \,/\, \Delta T = [5 \div 10]°C \qquad \text{(III.24)}$$

[2]IV.1.Introduction :

Dans ce chapitre les principaux résultats du programme sont présentés et interprétés. Ces résultats montrent l'effet des différents paramètres de fonctionnement sur la performance du système étudié à savoir les températures et humidités à l'entrée et à la sortie, la température de régénération, l'efficacité des échangeurs, le rayonnement solaire global et le type du capteur utilisé.

IV.2. Influence des conditions extérieures :

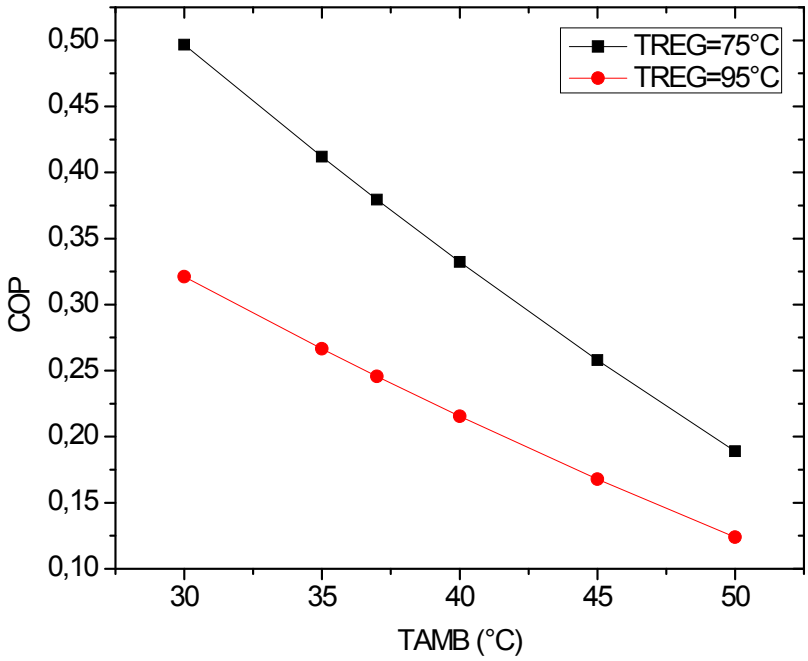


Figure IV.1: Evolution de COP en fonction de la température ambiant. Conditions de modélisation : TAMB=37°C, HRAMB=28%, MAS=0,5kg/s, EC=0,9, EHX=0,93.

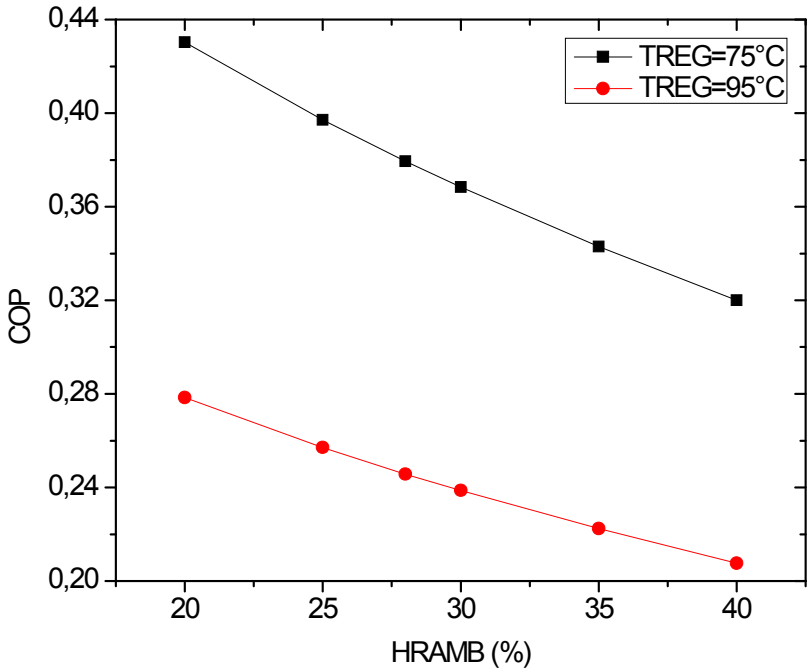


Figure IV.2: Evolution de COP en fonction de l'humidité relative extérieure. Conditions de modélisation : TAMB=37°C, HRAMB=28%, MAS=0,5kg/s, EC=0,9, EHX=0,93.

La caractérisation de la performance du système à dessiccation est complexe par le fait que cette performance est sensible aux condition de fonctionnement de température et d'humidité. Dans cette étude, la température extérieure est variée de 30 à 50°C et l'humidité relative extérieure de 20 à 40 %. Le modèle a été étudié avec des températures de régénération de 75°C et 95°C, les débit d'air de régénération et de procus sont égaux.

Les figure (IV.1) et (IV.2) montrent l'influence des condition extérieure sur la performance du système étudié on remarque que le COP décroit linéairement avec la température et presque linéairement avec l'humidité relative. On constate ainsi que des performances élevé, sont obtenus avec des températures de régénération modérées ce qui offre un intérêt potentiel pour les capteurs solaire qui fonctionnent à des températures avez bases et plus efficaces.

IV.3. Influence des conditions intérieures :

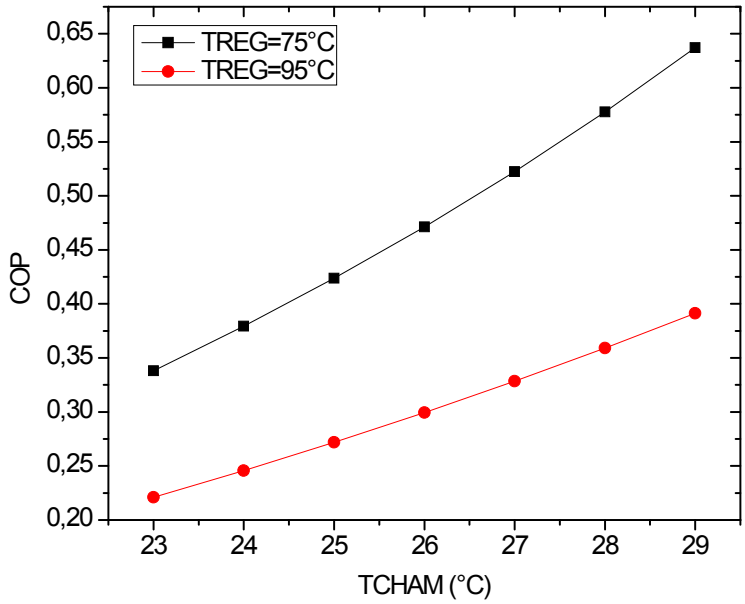


Figure IV.3: Evolution du COP en fonction de la température de la chambre. Conditions de modélisation : TCHAM=24°C, HRCHAM=50%, MAS=0,5kg/s, EC=0,9, EHX=0,93.

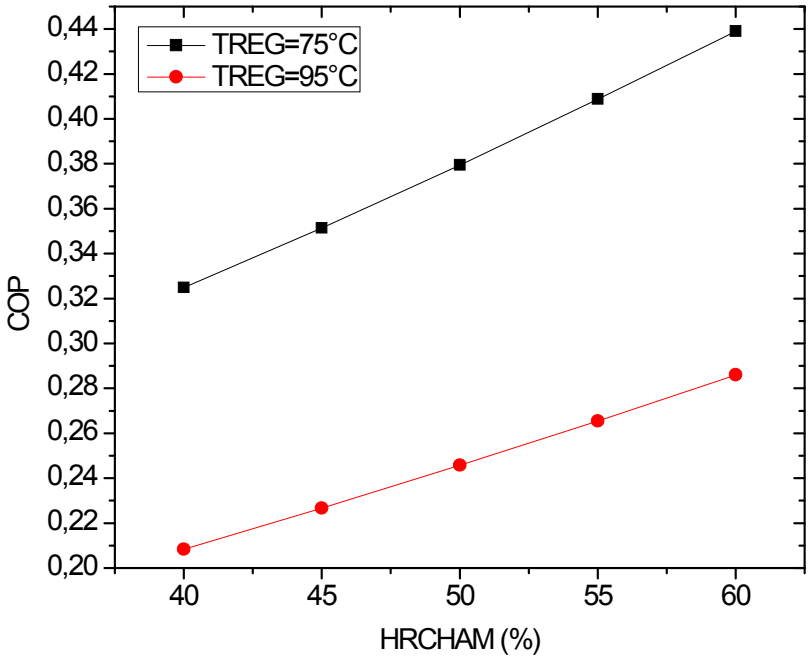


Figure IV.4: Evolution du COP en fonction de l'humidité relative intérieure. Conditions de modélisation : TCHAM=24°C, HRAMB=50%, MAS=0,5kg/s, EC=0,9, EHX=0,93.

Dans le présent travail, la température intérieure est variée de 23°C à 29°C et l'humidité relative intérieure de 40 à 60%.

Les figure (IV.3) et (IV.4) montent l'influence des conditions internes sur la performance du système étudié. Les graphe obtenus indiquent que le COP augmente linéairement en fonction de la température et l'humidité relative de la chambre.

IV.4. Efficacité de l'échangeur et des humidificateurs:

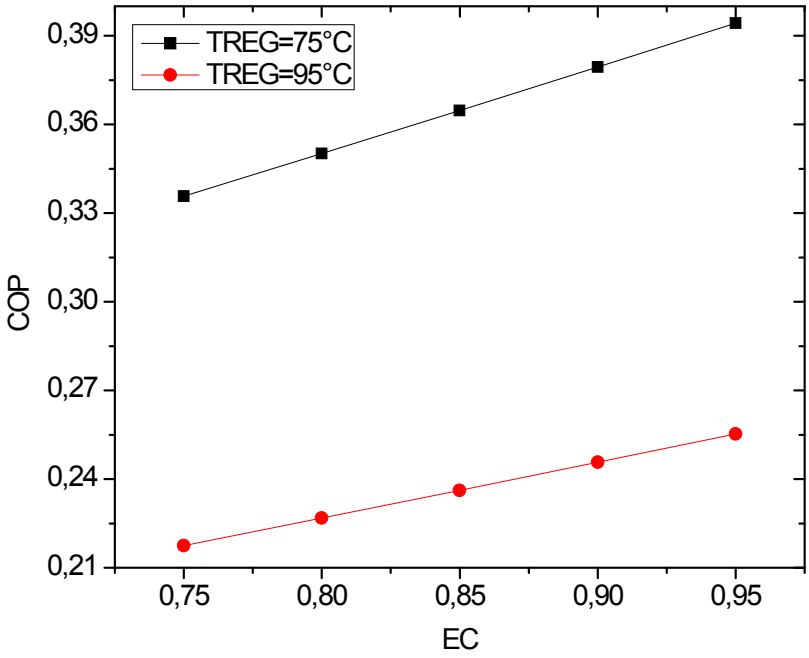


Figure IV.5: Evolution du COP en fonction de l'efficacité de l'humidificateur. Conditions de modélisation : TAMB=37°C, HRAMB=28%, TCHAM=24°C, HRCHAM=50%, MAS=0,5kg/s, EHX=0,93.

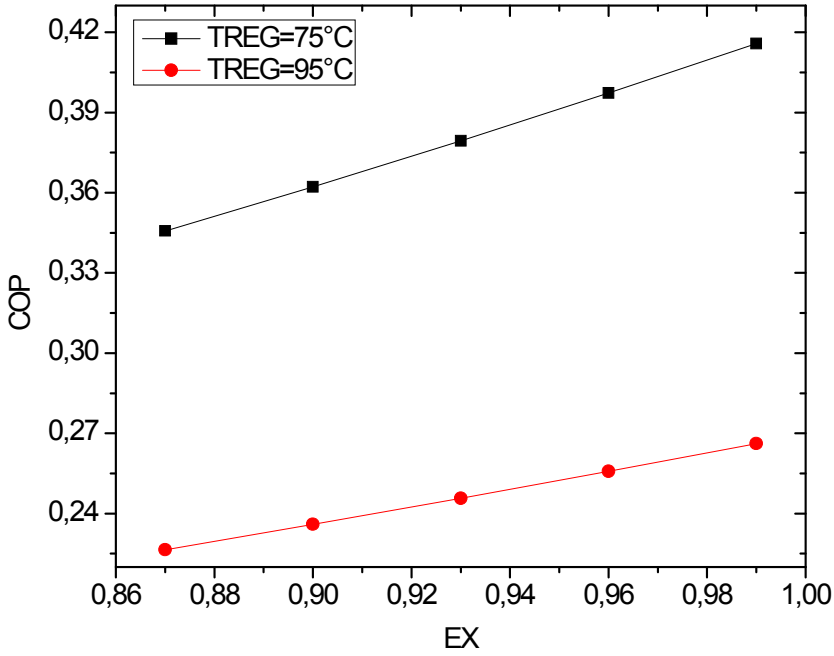


Figure IV.6: Evolution du COP en fonction de l'efficacité de l'échangeur. Conditions de modélisation : TAMB=37°C, HRAMB=28%, TCHAM=24°C, HRCHAM=50%, MAS=0,5kg/s, EC=0,9.

Dans ce paragraphe, on étudie la performance du système en fonction de l'efficacité de l'humidificateur et de l'échangeur de chaleur.

La figure (IV.5) montre l'évolution du COP en fonction de l'efficacité de l'humidificateur, on remarque que cette efficacité a peu d'influence sur le COP du système car l'écoulement se fait à température humide constante, don proche d'une isenthalpe.

Par ailleurs, l'efficacité de l'échangeur a une grande influence sur le COP la variation de l'efficacité en de 0.87 à 0.99 entrain une augmentation du COP de 0.34 à 0.42 pour (TREG=75°C) et une faible COP qui variant de 0.22 à 0.28 pour (TREG=95°C) donc pour amélioré la valeur du COP en diminuée la température de régénération et meilleur efficacité de l'échangeur (Fig. IV.6).

IV.5.Performances solaire:

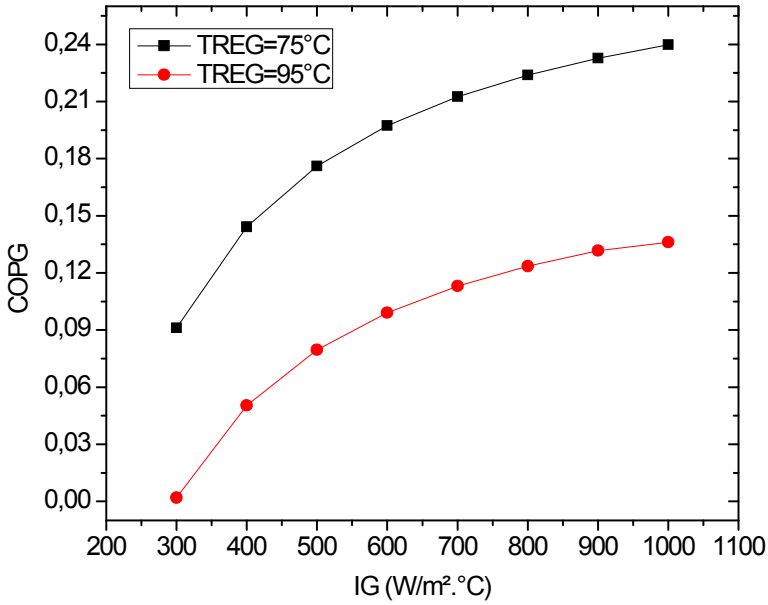


Figure IV.7: Evolution du COP solaire en fonction du rayonnement solaire global. Conditions de modélisation : TAMB=37°C, HRAMB=28%, TCHAM=24°C, HRCHAM=50%, MAS=0,5kg/s, EC=0,9, EHX=0,93. CCS=5.7.

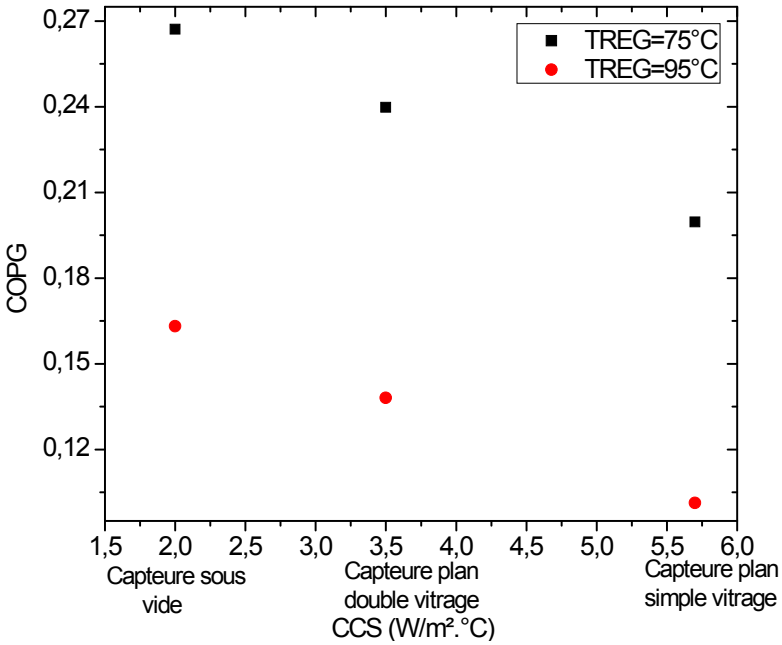


Figure IV.8: Evolution du COP solaire en fonction du type de capteur. Conditions de modélisation : TAMB=37°C, HRAMB=28%, TCHAM=24°C, HRCHAM=50%, MAS=0,5kg/s, EC=0,9, EHX=0,93. IG=800W/m^2

La figure (IV.7) montre l'effet de la variation du rayonnement solaire global reçu par un mètre carré de surface du capteur sur la performance du système. Il est clair que le couplage à l'énergie solaire devient plus rentable pour les fortes irradiations. Cependant, l'utilisation des hautes températures de régénération dépend du rayonnement solaire disponible et l'éventuelle utilisation d'une source de chaleur auxiliaire augmentera les dépenses énergétiques du système.

Les performances du couplage du système à dessiccation avec trois type de capteurs on été aussi étudiées (Fig. IV.8). Les résultats obtenus montrent que c'est le capteur solaire à tube sous vide qui conduit aux meilleures performances. Le capteur solaire simple vitrage à surface sélective, moins cher que le précédent, permettant d'atteindre des COP thermiques beaucoup plus faible pourrait être préféré pour un fonctionnement à des températures de régénération modérée. Enfin, c'est le capteur solaire double vitrage (couche d'air de 10 cm d'épaisseur) qui présente le meilleur rapport qualité (rendement) / prix.

IV.4.Conclusion:

Les résultats de l'étude paramétrique a démontré que le COP des système à dessiccation se dégrade quand la différence entre les condition intérieures et extérieures devient plus importante. Les résultats ont ainsi indiqué qu'il a un grand intérêt de l'échangeur de chaleur et l'humidificateur pour la performance de ces systèmes.

Enfin, l'usage des températures de régénération assez faibles peuvent au capteur solaire de fonctionner à températures plus basse et plus efficaces.

Ce travail avait deux objectifs: développer un modèle numérique pour la prédiction des performances d'un système de rafraichissement solaire à dessiccation, et étudier l'influence des différents paramètres de fonctionnement sur la performance du système.

L'étude de paramétrique a fait ressortir plusieurs résultats importants qui sont résumés comme suit :

- Le COP thermique décroit quand et la différance de température et l'humidité entre l'intérieure et l'extérieure du local conditionné augmenté, de même la température de régénération est un facteur influençant le COP du système.
- L'influence de l'efficacité de l'humidificateur est très faible tandis que le système est très influencé par l'efficacité de l'échangeur de chaleur.
- Le couplage du système à dessiccation avec l'énergie solaire à démontrer l'intérêt de la climatisation solaire en particulier dans les régions possédant des puissances de rayonnement solaire élevées par ailleurs, les résultats obtenus ont confirmé que le capteur solaire double vitrage présente le meilleur rapport qualité / prix.

Enfin, pour des futurs travaux il est recommandé de :

- Valider les résultats obtenus par le modèle numérique avec des résultats expérimentaux pour mieux comprendre le fonctionnement des systèmes à dessiccation.
- Etudie l'influence de la nature des matériaux dessiccant utilise par la performance du système.
- Faire un comparaison entre les modes ventilations et recirculations afin de choisi le mode le plus approprie pour le type d'application envisagé.
- Envisager de modéliser le système en régime transitoire car une modélisation dynamique permet une représentation réelle du système étudie.

[1] BENAHMED Lamia et BEN MOSTEFA Fatima Zahra, «Intégration d'un système de rafraichissement solaire au bâtiment. Faisabilité technico-économique», Mémoire de Master en Génie Mécanique, Université ABOU BAKER BELKAID TLEMCEN, Année universitaire : 2012-2013.

[2] VITTE Thibaut, «Le froid solaire par dessiccation appliqué au bâtiment : Proposition d'une stratégie de régulation du système», Pour obtenir: Le grade de docteur, Présentée devant L'institut national des sciences appliquées de Lyon, École doctorale MEGA (Mécanique – Energétique – Génie Civil – Accoustique), Laboratoire de recherche Centre de Thermique de Lyon UMR 5008, INSA de Lyon – Université Lyon1 – CNRS, Année 2007.

[3] C.A. Balaras, G. Grossman, H.M. Henning, C.A. Infante Ferreira, E. Podesser, L. Wang and E. Wiemken, '*Solar Air Conditionning* in Europe – An Overview', Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 11, N°2, pp. 299 – 314, 2007.

[4] T. Vitte, J. Brau and N. Chatagnon, «Technical and Economical Comparison of Solar Dessicant Evaporative Cooling with Solar Absorption and Traditional Compression Systems», Climated Conference, Lyon, France, 2006.

[5] http://www.actuenvironnement.com/ae/dossiers/climatisation_solaire/systemes_ fermes.php4.

[6] http: //www.astralys -solutions.com/nantes -energie-techniques-climatisation-solaire.html.

[7] FELLAH. I, « Etude et conception d'un système de climatisation utilisant le rayonnement solaire », mémoire de fin d'étude.

[8] ADEM Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie, Note de cadrage sur le contenu CO2 du kWh par usage en France, Angers, ADEME, 2005.

[9] Cours des énergies renouvelables, Niveau: 1er année Master, Option: - Energie et Froid Industriel – Energie et Thermique des Systèmes, Année 2012/2013.

[10] Jérôme ADNOT, ARMINES, « Energie Efficiency and Certification of Central Air

Conditioners », FINAL REPORT- APRIL 2003.

[11] D.S Kima, C.A. Infante Ferreirab, « Solar refrigeration options, a state of the art review, state of the Art » international journal of refrigeration 31 (2008).

[12] DELORME Marc et al., Promoting solar air conditioning: Technical overview of active techniques, ALTENER Project Number 4.1030/Z/02-121/2002, 2002 [en ligne]. Disponible:http://raee.org/climatisationsolaire/doc/technical_overview_of_active_techniques.

[13] DJEBIRET Mohamed Ali, «Etude de faisabilité d'un climatiseur solaire adapté à la région de Biskra» Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de Magister en : Génie mécanique Option : Système thermique et maîtrise d'énergie, Université Biskra, Faculté des Sciences et de la Technologie, Département de Génie Mécanique, Année 2012.

[14] André, P., S. Thomas, *Les systèmes solaires thermiques*. Energie renouvelable, quelle technologie pour quel usage ?, Université de Liège, Département des Sciences et Gestion de l'Environnement (2008).

[15] http://www.solairethermique.guidenr.fr/I_capteur-solaire-thermique-plan.php.

[16] PIETRUSCHKA D., EICKER U., HUBER M., SCHUMACHER J., Experimental performance analysis and modelling of liquid desiccant cooling systems for air conditioning in residential buildings, International Journal of Refrigeration, 2006.

[17] Olivier Marc, «Etude expérimentale, modélisation et optimisation d'un procédé de rafraîchissement solaire à absorption couplé au bâtiment», Thèse Pour obtenir le grade de Docteur, Spécialité: Mécanique Energétique et d'Environnement, Année 2010.

[18] Wahiba Ben khada, « Introduction des principales techniques de climatisa ion solaire dans l'Algérie »publié dans le centre de développement d'énergie renouvelable (consulté en mai 2013).

[19] NUNEZ T., MITTELBACH W., HENNING H-M. Development of an adsorption chiller and heat pump for domestic heating and air-conditioning applications, Applied Thermal

Engeenering, 2007.

[20] YAHIAOUI Nouara, «Etude de l'adsorption des composes phénoliques des margines d'olive sur carbonate de calcium, hydroxyapatite et charbon actife», Mémoire de Magister, Spécialité: Chimie, Option: Chimie de l'environnement, Université MOULOUD MAMMERI, TIZI OUZOU, Année 2012.

[21] Chitour C.E.(2004).Physicochimie des surface. Office des publication universitaires p:87-100.

[22] Fiche explicative détaillée Machines frigorifiques à sorption.

[23] ASHRAE, "*Fundamentals*" , American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Atlanta, 1997.

[24] MAALOUF Chadi, «Étude du potentiel de rafraîchissement d'un système évaporatif à désorption avec régénération solaire», Thèse Pour obtenir le grade de Docteur, Spécialité: GÉNIE CIVIL, Université de La Rochelle**,** UFR Sciences Fondamentales et Sciences pour l'ingénieur**,** Année 2010.

[25] SUN L.M., MEUNIER F., Adsorption Aspects théoriques, *Techniques de l'ingénieur*, traité Génie des procédés, J2730.

[26] SANTAMOURIS M, ASIMAKOPOULOS D, "Passive cooling of buildings", James& James (Science Publishers) Ltd, p. 404-420, 1996.

[27] ISELT P., ARNDT U. et CAUCHEPIN J.L, "*Manuel de l'humidification de l'air*", PYC édition livres, 1997, p.85-146.

[28] TORREY M., WESTERMA J, «Desiccant cooling resource guide technology», Janvier, 2000, disponible sur: http://test.wbdg.org/ccb/COOL/maindct1.pdf.

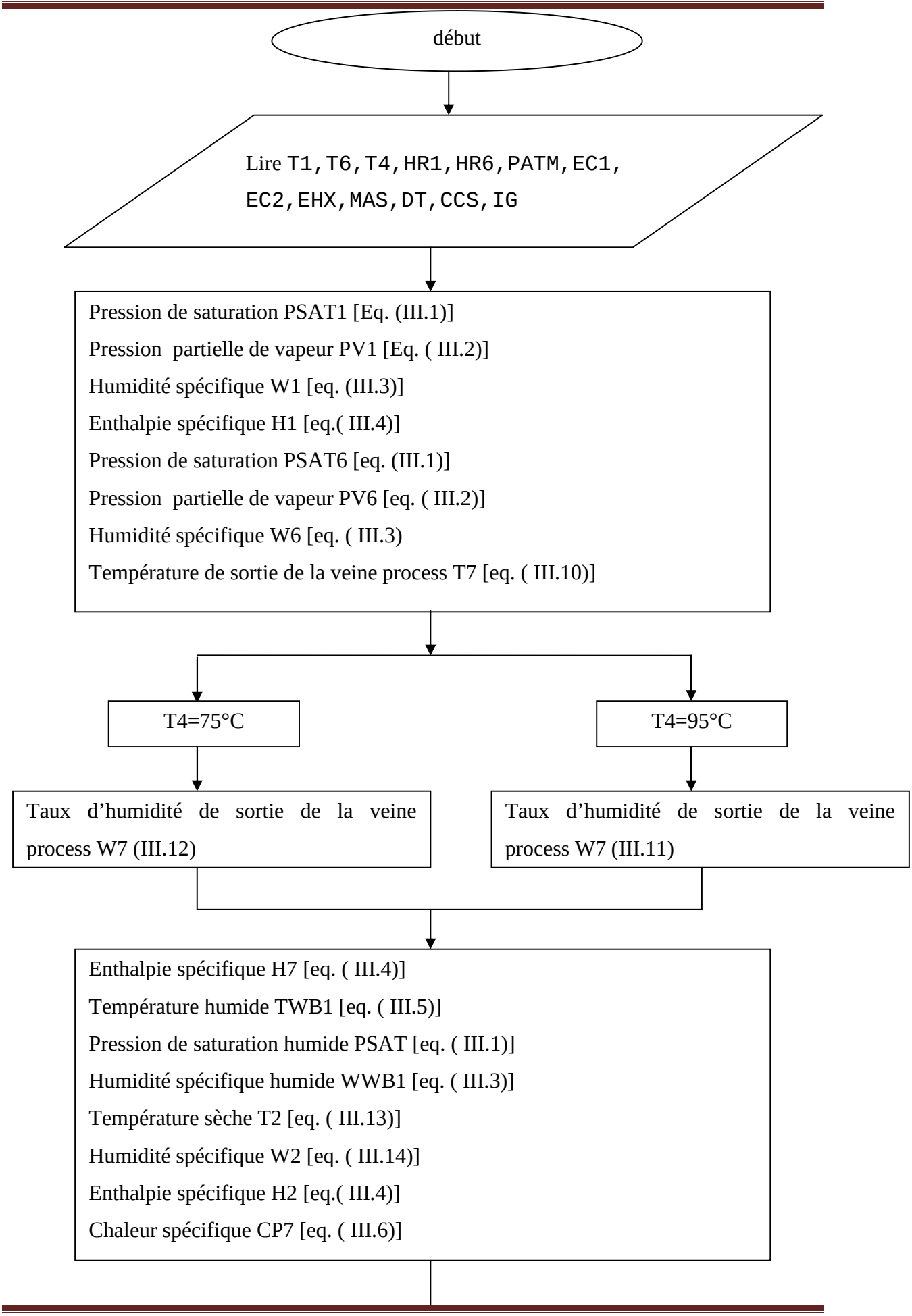
[29] STABAT P, «Modélisation de composants de systèmes de climatisation mettant en œuvre l'adsorption et l'évaporation d'eau», Thèse de doctorat, Ecole des Mines de Paris, 2003.Solar Heating and Cooling Program of the International Energy Agency : task 25 – Solar Assisted Air Conditioning of Buildings, disponible sur: http://www.iea-shc-task25.org/.

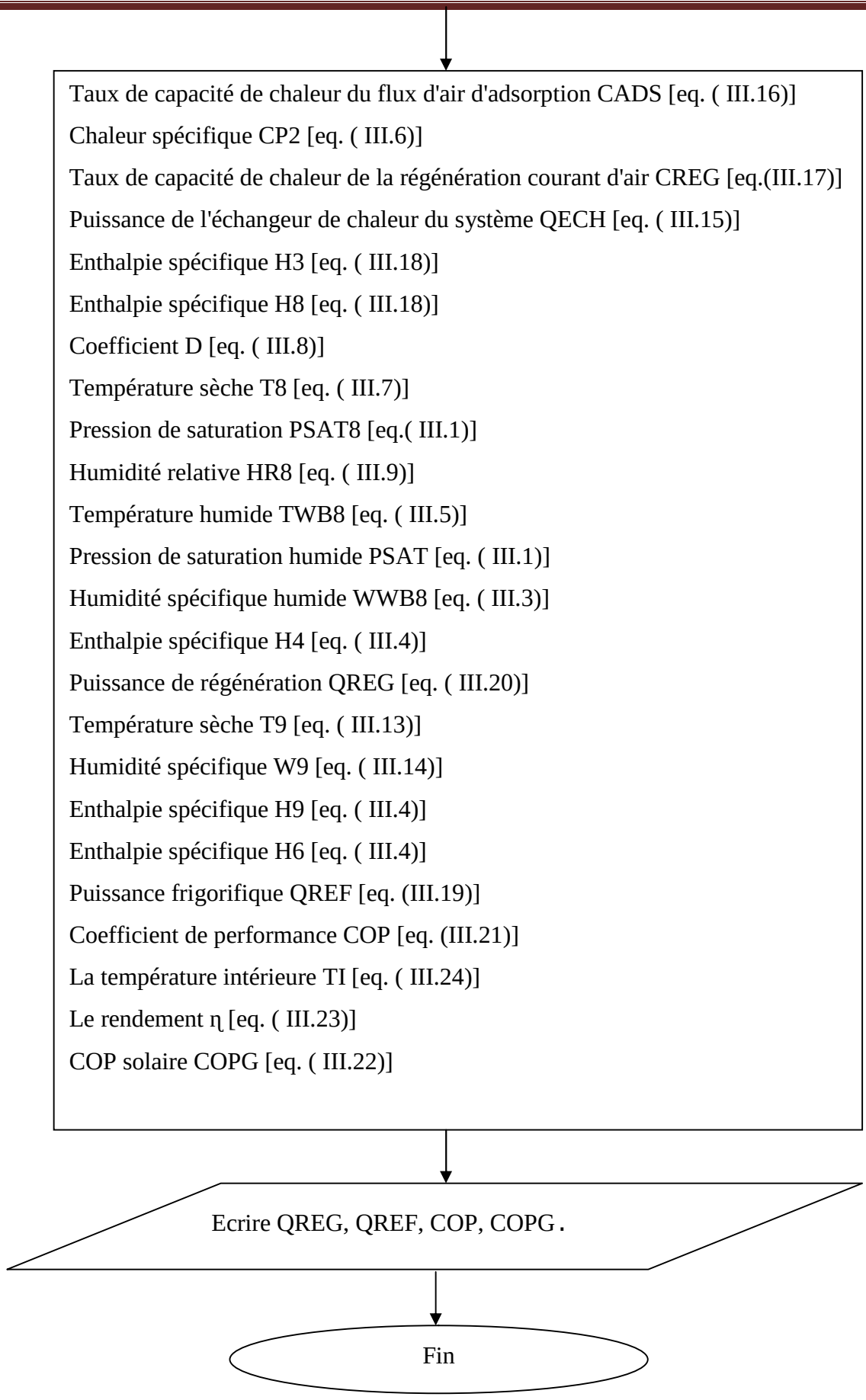
[30] Robert S. Bartow, «Analysis of the Adsorption Process and of Desiccant Cooling Systems - A Pseudo- Steady-State Model for Coupled Heat and Mass Transfer», Prepared for the U.S. Department of Energy, Solar Energy Research Institute, Décembre 1982.

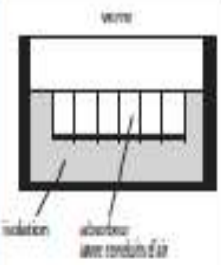
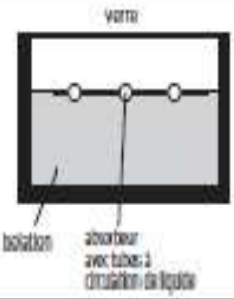
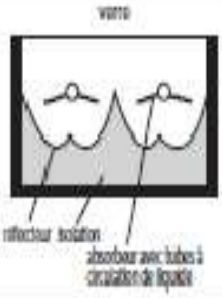
[31] Maclaine-cross, I. L- " A Theory of Combined Heat and Mass Transfer in Regenerators. " Ph. D. Thesis. Monash University, Australia. 1974.

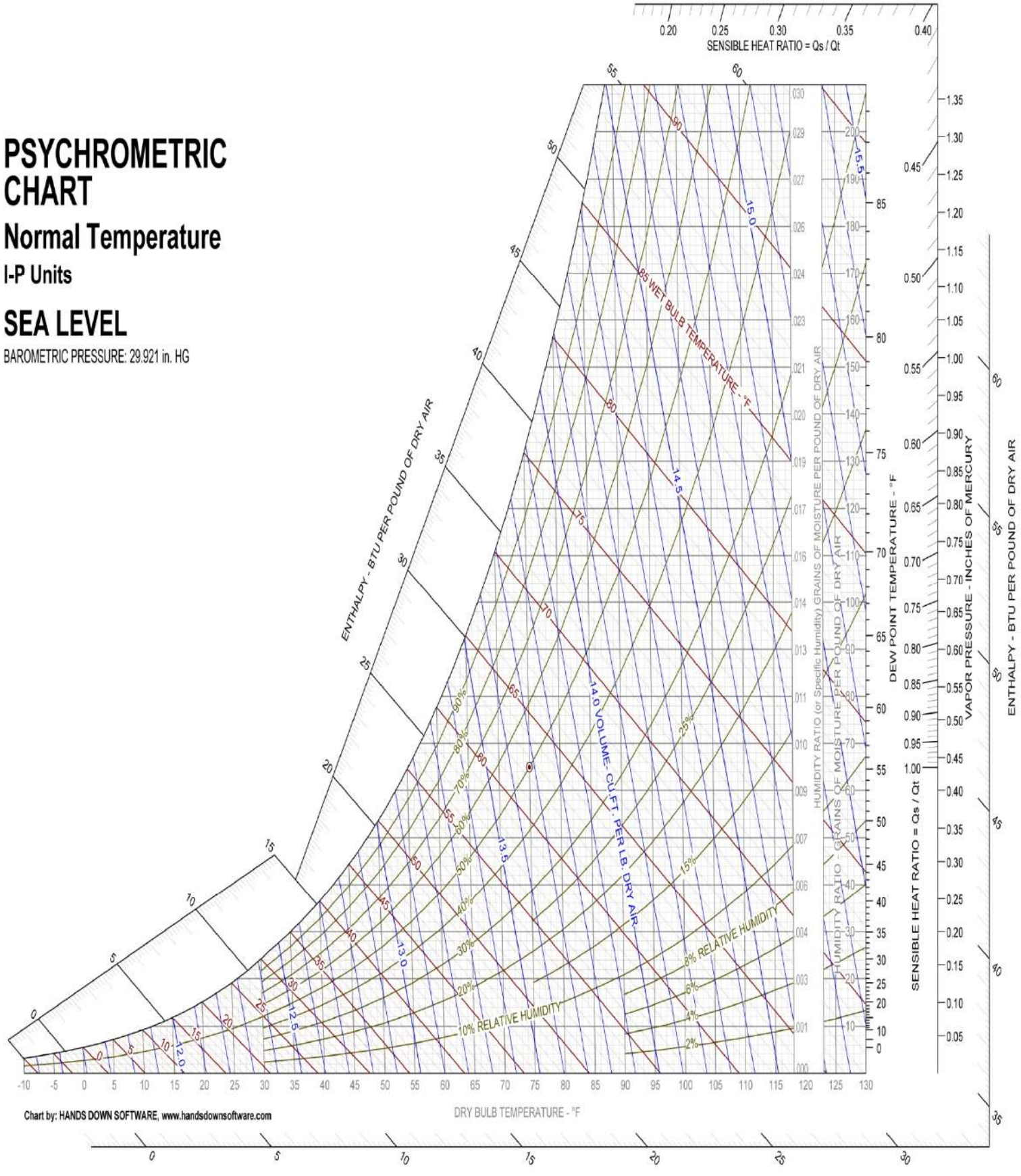
[32] BEHNE M, Alternatives to compressive cooling in non residential buildings to reduce primary energy consumption, Final Report LBL, Mai 1997.

[33] J. Wurm, D. Kosar and T. Clemens, '*Solid Desiccant Technology Review*', Bulletin of the International Institut of Refrigeration, Vol. 2-3, 2003. Disponible sur www.iifiir.org/en/doc/1043.pdf (mars 2007).


début
Lire T1,T6,T4,HR1,HR6,PATM,EC1,
EC2,EHX,MAS,DT,CCS,IG
Pression de saturation PSAT1 [Eq. (III.1)]
Pression partielle de vapeur PV1 [Eq. (III.2)]
Humidité spécifique W1 [eq. (III.3)]
Enthalpie spécifique H1 [eq.(III.4)]
Pression de saturation PSAT6 [eq. (III.1)]
Pression partielle de vapeur PV6 [eq. (III.2)]
Humidité spécifique W6 [eq. (III.3)
Température de sortie de la veine process T7 [eq. (III.10)]
T4=75°C
T4=95°C
Taux d'humidité de sortie de la veine process W7 (III.12)
Taux d'humidité de sortie de la veine process W7 (III.11)
Enthalpie spécifique H7 [eq. (III.4)]
Température humide TWB1 [eq. (III.5)]
Pression de saturation humide PSAT [eq. (III.1)]
Humidité spécifique humide WWB1 [eq. (III.3)]
Température sèche T2 [eq. (III.13)]
Humidité spécifique W2 [eq. (III.14)]
Enthalpie spécifique H2 [eq.(III.4)]
Chaleur spécifique CP7 [eq. (III.6)]


Taux de capacité de chaleur du flux d'air d'adsorption CADS [eq. (III.16)]
Chaleur spécifique CP2 [eq. (III.6)]
Taux de capacité de chaleur de la régénération courant d'air CREG [eq.(III.17)]
Puissance de l'échangeur de chaleur du système QECH [eq. (III.15)]
Enthalpie spécifique H3 [eq. (III.18)]
Enthalpie spécifique H8 [eq. (III.18)]
Coefficient D [eq. (III.8)]
Température sèche T8 [eq. (III.7)]
Pression de saturation PSAT8 [eq.(III.1)]
Humidité relative HR8 [eq. (III.9)]
Température humide TWB8 [eq. (III.5)]
Pression de saturation humide PSAT [eq. (III.1)]
Humidité spécifique humide WWB8 [eq. (III.3)]
Enthalpie spécifique H4 [eq. (III.4)]
Puissance de régénération QREG [eq. (III.20)]
Température sèche T9 [eq. (III.13)]
Humidité spécifique W9 [eq. (III.14)]
Enthalpie spécifique H9 [eq. (III.4)]
Enthalpie spécifique H6 [eq. (III.4)]
Puissance frigorifique QREF [eq. (III.19)]
Coefficient de performance COP [eq. (III.21)]
La température intérieure TI [eq. (III.24)]
Le rendement η [eq. (III.23)]
COP solaire COPG [eq. (III.22)]
Ecrire QREG, QREF, COP, COPG .
Fin

Type de capteur	Capteur à air	Capteur plan	Capteur plan à concentrateur parabolique	Capteur sous vide
Abréviations	CA	CP	CPC	CSV
				
				
Principe	Chauffage direct de l'air	Chauffage d'un liquide (eau, eau+glycol)	Chauffage d'un liquide (eau, eau+glycol), concentration du rayonnement	Tube sous vide pour réduire les pertes thermiques. Différentes technologies : - capteur à caloducs - capteur à flux direct - capteur à concentration, type Sydney
Principales applications	Pré-chauffage de l'air de ventilation	Eau chaude sanitaire	Eau chaude sanitaire et industrielle	Eau chaude sanitaire et industrielle
Principales applications en rafraîchissement solaire	Systèmes ouverts à dessiccation	Systèmes à dessiccation, adsorption, absorption (simple effet) avec capteurs sélectifs	Adsorption et absorption (simple effet)	- Adsorption, absorption (simple effet) - Absorption (double effet) : Sydney


PSYCHROMETRIC CHART
Normal Temperature
I-P Units
SEA LEVEL
BAROMETRIC PRESSURE: 29.921 in. HG
SENSIBLE HEAT RATIO = Qs / Qt
ENTHALPY - BTU PER POUND OF DRY AIR
95 WET BULB TEMPERATURE - °F
14.0 VOLUME- CU.FT. PER LB. DRY AIR
90% RELATIVE HUMIDITY
80%
70%
60%
50%
40%
30%
20%
10% RELATIVE HUMIDITY
25%
15%
8% RELATIVE HUMIDITY
6%
4%
2%
HUMIDITY RATIO (or Specific Humidity) GRAINS OF MOISTURE PER POUND OF DRY AIR
DEW POINT TEMPERATURE - °F
VAPOR PRESSURE - INCHES OF MERCURY
HUMIDITY RATIO - GRAINS OF MOISTURE PER POUND OF DRY AIR
SENSIBLE HEAT RATIO = Qs / Qt
ENTHALPY - BTU PER POUND OF DRY AIR
DRY BULB TEMPERATURE - °F
Chart by: HANDS DOWN SOFTWARE, www.handsdownsoftware.com