

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR

ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE ECHAHID HAMMA LAKHDAR, EL OUED

FACULTE DE LA TECHNOLOGIE

Département de Génie Mécanique



Mémoire de fin d'étude

Présenté pour l'obtention du diplôme de:

MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Génie Mécanique

Spécialité : Énergie renouvelable

THEME

Etude de la performance thermique d'un système de
climatisation solaire

Soutenu publiquement le:

Devant le Jury composé de:

NECIB Djilani

Président

Université'ElOued

MEGDOUD Soufiane

Examineur

Université'ElOued

MENACER Nouredine

Encadreur

Université'ElOued

Université'ElOued

Présentation par:

MEHDA

Bachir

ABADI

Nouredine

GHOULI

Aissa

CHEKAMBOU

Walid

Année universitaire : 2022-2023

Remercîments

Nous tenons à remercier au premier lieu le Dieu tout puissant de nous avoir accordé la force et le courage de mener ce travail à terme.

*Nous tenons à adresser nos sincères remerciements à notre encadreur pour le thème Monsieur MENACER
Noureddine et co-encadreur AOUN yacine*

*Nous vous prîmes de bien vouloir agréer le témoignage de notre plus vive reconnaissance et notre profond respect.
Nous présentons également nos sincères remerciements à toute l'équipe pédagogique du département génie électrique de l'université Echahid Hamma Lakhdar. el-oued.*

Nous remercions particulièrement nos familles pour leurs soutiens moraux pour ce travail, merci de nous avoir encouragés, et cru en nous.

Nous remercions également nos ami(es), nos collègues de classe, qui nous ont encouragés tout au long de ce projet et nous ont beaucoup aidés.

Sommaire

Titre	Page
Remercîments	I
I.Liste des figures	II
II.Nomenclature	III
III.Résumé	IV
Introduction générale	1
CHAPITRE I : UNE REVUE BIBLIOGRAPHIQUE SUR LE SYSTEME DE CLIMATISATION SOLAIRE.	
I.1 Introduction	3
I.2 Bibliographique de climatisation solaire	3
I.3 Conclusion	24
CHAPITRE II : GENERALITE SUR LES DIFFERENTS PARTIES D'UN CLIMATISEUR SOLAIRE.	
II. 1. Introduction	25
II. 2. Description des technologies de climatisation solaire	25
II. 2. 1. Techniques basees sur l'emploi de l'electricite	26
II. 2. 2. Technique basee sur un processus thermomecanique	27
II. 2. 3. Technique basee sur la sorption d'un gaz	27
a. La machine a absorption	28
b. La machine a adsorption	29
ii. 2. 4. La dessiccation	29
ii. 2. 5. Trigeneration thermo-solaire	31
ii. 3. Description du systeme solaire	32
ii. 3. 1. Les capteurs solaires	32

ii. 3. 2. Differentes gestions de l'appoint et du stockage	35
ii. 5. Avantage de la climatisation solaire	36
ii. 6. Conclusion	38

CHAPITRE III: Etude thermodynamique du cycle frigorifique à adsorption

III.1 Introduction	39
III.2 Synthèse des travaux sur les machines frigorifiques à adsorption	39
III. 3. Etude thermodynamique du cycle de base	39
III. 3.1. Détermination des températures de seuil du cycle	39
III. 3.2. Coefficient de performance thermique (COP)	41

CHAPITRE VI: Résultats et Discussions

VI.1 Introduction	44
IV.2 Conditions initiales dans le tableau	44
IV.3 Influence de la variation de la température d'évaporation	44
VI.4. Influence de la variation de la température de condensation	46
VI.5. Conclusion	48
Conclusion générale	50
Références bibliographique	54

I. Liste des figures

Figure I.1 : Schéma horaire du système de climatisation à absorption solaire	5
Figure I.2 : Schéma de principe d'un système de climatisation à assistance solaire	6
Figure I.3 : Dessin schématique d'une tour de refroidissement, image tirée du Manuel Sulzer	6
Figure I.4 : Schéma d'un refroidisseur à absorption	7
Figure I.5 : Schéma du système de refroidissement par desséchant solaire	7
Figure I.6 : Installation pilote d'un système de climatisation assistée par desséchant à Hambourg, Germany	8
Figure I.7 : Schéma de principe d'une unité de climatisation à absorption intégrée $\text{NH}_3\text{eH}_2\text{O}$ (IAAU) principalement alimentée par l'énergie solaire thermique	8
Figure I.8 : Schéma de principe d'une unité de climatisation intégrée à absorptiondessiccation. de $\text{NH}_3\text{eH}_2\text{O}$ (IADAU) principalement alimentée par l'énergie solaire thermique	9
Figure I.9 : Schéma de principe d'une unité de climatisation intégrée à absorption-desséchant de $\text{NH}_3\text{eH}_2\text{O}$ pour le refroidissement par rayonnement (IADAU-RC) principalement alimentée par l'énergie solaire thermique	9
Figure I.10 : Trajets de l'air de traitement, de l'air de régénération et de l'air infusé en mode été avec déshumidification	10
Figure I.11 : Chemins de l'air à traiter, de l'air de régénération et de l'air infusé en mode été sans déshumidification	10
Figure I.12 : Chemins de l'air de traitement, de l'air de régénération et de l'air infusé en mode hiver	11
Figure I.13 : Principe de fonctionnement (a) du système de climatisation DCHE en hiver, (b) du composant DCHE	13
FigureI.14 : Schéma de principe du système SDEC	13
FigureI.15 : Schéma de principe du système SDCC	14
FigureI.16 : Schéma de principe du système SAC	14
FigureI.17 : Système de simulation du système de climatisation à dessicant liquide à assistance solaire	16
Figure I.18 : Schéma d'un système de climatisation frigorifique à absorption solaire avec un accumulateur triphasé	16
Figure I.19 : Schéma du système de refroidissement central à absorption solaire (a) et interaction énergétique avec les composants liés (b) pour la climatisation des espaces intérieurs au Maroc	17
Figure I.20 : Détail schématique du système de climatisation solaire composé de 10 capteurs solaires SCT, d'un refroidisseur à absorption simple effet $\text{NH}_3\text{eH}_2\text{O}$, de réservoirs d'eau chaude/froide et d'une tour de refroidissement	18
Figure I.21 : Schémas du système CVC à assistance solaire des groupes de conception I, II et III	20
Figure I.22 : Schéma de principe du climatiseur alimenté par PV	21
Figure I.23 : Climatisation solaire hybride	22
Figure I.24 : Schéma du système de climatisation et des outils utilisés dans cette étude	23
Figure I.25 : Schéma de l'EDT à l'étude avec sa chambre	24
Figure II.1 : Organigramme des différentes technologies de production de froid à partir de l'énergie solaire	26
Figure II.2 : Schéma de la climatisation solaire	26
Figure II.3 : Schéma de principe d'un climatiseur solaire électrique de compression	27

Liste des figures

Figure II.4 : Schéma de fonctionnement d'une machine à absorption pour le couple Eau/Bromure de Lithium (LiBr)	28
Figure II.5 : Schéma de groupe frigorifique à adsorption	29
Figure II.6 : Schéma d'une machine a dessiccation	30
Figure II.7 : Schéma de principe d'un système à dessiccation	30
Figure II.8 : Arrangement de général d'une usine thermo-solaire hybride de trigénération	31
Figure II.9 : Vue générale d'un capteur à air	33
Figure II.10 :Vue générale d'un capteur plan et sa coupe verticale	33
Figure II.11 :Vue générale d'un capteur CPC	34
Figure II.12 :Vue générale d'un capteur sous vide	34
Figure II.13 : Différents schémas de circuits solaire (a) sans appoint (b) avec appoint intégré au stockage (c) avec appoints intégré en série	35
Fig. III. 1 : Organigramme de calcul le seuil des températures	40
Fig. III. 2 : Organigramme de calcul les performances thermiques du cycle frigorifique	43
Fig. VI.1 : Evolution de la production frigorifique Q_f en fonction de la température d'évaporation	45
Fig. VI.2 : Variation du coefficient de performance en fonction de la température d'évaporation	45
Fig.VI.3 : Evolution de la masse cyclée en fonction de la température d'évaporation	46
Fig.VI.4 : Variation de la production frigorifique en fonction de la température de condensation	46
Fig. VI.5 : Variation du coefficient de performance en fonction de la température de condensation	47
Fig. VI.6 : Evolution de la production frigorifique en fonction des hautes températures de génération	47
Fig. VI.7 : Variation du coefficient de performance thermique en fonction de la température de génération	48

Nomenclature

TS: Température de la saturation (K)

T_g : Température de la génération (K)

T_a : Température de l'air extérieure (K)

T_{s1} : Température du débit de la désorption (K)

T_{s2} : Température du débit de l'adsorption (K)

T_c : Température de condensation (K)

T_e : Température de l'évaporation (K)

P_c : Pression de condensation (Kpa)

P_e : Pression d'évaporation (Kpa)

P_s : Pression de saturation (bar)

m : Quantité d'adsorbat (kg/kg)

m_a : Masse de l'adsorbant solide contenue dans l'adsorbeur (kg)

m_f : Débit total du fluide dans l'absorbeur constitué de n tubes en parallèle (kg/s)

m_{max} : Quantité minimale de la masse adsorbée (kg/kg)

m_{min} : Quantité maximale de la masse adsorbée (kg/kg)

m_g : Masse des parties métalliques de l'adsorbeur (kg)

Q_f : La production frigorifique ou la quantité de froid produite à l'évaporateur en (kJ)

Q_c : La quantité de chaleur fournie à l'adsorbeur en (kJ)

Q_{des} : est la masse de l'adsorbat désorbé multipliée par la chaleur nécessaire à la désorption

COP_{th} : Coefficient de performance théorique

C_p : Capacité calorifique (J/K.kg)

$C_{p_{ads}}$: est la chaleur spécifique de l'adsorbant en $(\frac{kJ}{kg} \cdot K)$

C_{p_w} : est la chaleur spécifique des parties métalliques de l'adsorbeur en $(\frac{kJ}{kg} \cdot ^\circ C)$

L : la distance entre les tubes du capteur (m)

L : Chaleur latente de vaporisation (J/kg)

ΔH_{ads} : Chaleur isostérique d'adsorption (J/kg)

Résumé

Titre: Etude de la performance thermique d'un système de climatisation solaire

En Algérie, l'énergie solaire est une source d'énergie à fort potentiel mais pas encore pleinement exploitée (chauffage solaire, solaire PV, centrale électrique, etc.). L'utilisation de cette énergie solaire en combinaison avec des systèmes de climatisation électriques ou thermiques peut représenter une solution pour réduire la consommation d'électricité dans ce secteur, ainsi la climatisation solaire peut être une solution appropriée pour produire un refroidissement solaire renouvelable.

Ce travail porte sur l'étude et l'analyse de la machine frigorifique à adsorption solaire. Les composants de cette machine frigorifique sont également précisés, à savoir : le capteur solaire, le condenseur et l'évaporateur.

L'étude comparée du cycle thermodynamique de trois couples à adsorption a démontré l'importance du choix approprié d'un couple selon la température souhaitée à l'évaporateur.

La combinaison de gel de silice et d'eau est la meilleure pour l'adsorption du froid à basse température (capteurs solaires à eau plane). L'association gel de silice/eau est plus performante zéolithe /eau en termes de propriétés thermo-physiques (forte chaleur latente de vaporisation de l'adsorbat et taux d'adsorption élevé).

Les combinaisons Charbon actif/Méthanol et Gel de silice/Eau ont des résultats très identiques, Bien que la zéolite soit l'adsorbant le plus populaire au monde (en raison de son coût inférieur par rapport au gel de silice), l'influence de la température de la source chaude nous amène à utiliser le Charbon actif/Méthanol comme adsorbant dans de nombreuses circonstances.

Mots clés : énergie solaire, climatisation solaire, panneaux solaires, évaporateur, condenseur.

Abstract

Title: Study of the thermal performance of a solar air conditioning system

In Alegria, solar energy is a source of energy with high potential but not yet fully exploited (solar heating, solar PV, central power station, etc.). The use of this solar energy in combination with electrical or heat powered air conditioning systems can represent a solution to reduce electricity consumption in this sector, thus solar air conditioning can be a suitable solution to produce renewable solar cooling.

This work is concerned with the study and analysis of the solar adsorption refrigeration machine. The components of this refrigeration machine are also specified, namely: the solar collector, condenser and evaporator.

The comparative study of the thermodynamic cycle of three adsorption couples demonstrated the importance of the appropriate choice of a couple according to the desired temperature at the evaporator.

The combination of silica gel and water is best for low temperature cold adsorption (plane water solar collectors). The silica gel/water combination is more efficient zeolite/water in terms of thermo-physical properties (high latent heat of vaporization of the adsorbate and high adsorption rate). Activated carbon/Methanol and Silica gel/Water combinations have very identical results, Although zeolite is the most popular adsorbent in the world (due to its lower cost compared to silica gel), the influence of the temperature of the hot source leads us to use Activated Carbon/Methanol as an adsorbent in many circumstances.

Keywords: solar energy, solar air conditioning, solar panels, evaporator, condenser.

ملخص

العنوان: دراسة الأداء الحراري لنظام التكييف الشمسي

:

في الجزائر ، تعد الطاقة الشمسية مصدر طاقة ذو إمكانيات عالية ولكن لم يتم استغلالها بالكامل بعد (التسخين الشمسي ، والطاقة الشمسية الكهروضوئية ، ومحطة الطاقة) وما إلى ذلك . يمكن أن استخدام هذه الطاقة الشمسية مع أنظمة التكييف الكهربائية أو الحرارية حلاً لتقليل استهلاك الكهرباء في هذا القطاع ، وبالتالي يمكن أن يكون التكييف الشمسي حلاً مناسباً لإنتاج تبريد بالطاقة الشمسية المتجددة

يركز هذا العمل على دراسة وتحليل آلة التبريد بالامتزاز الشمسي، انطلاقاً من مكوناتها والتي تتمثل في: مجمع الطاقة الشمسية والمكثف والمبخر .

أظهرت الدراسة المقارنة للدورة الديناميكية الحرارية لثلاثة أزواج امتزاز أهمية الاختيار المناسب للزوجين وفقاً لدرجة الحرارة المرغوبة في المبخر . مزيغ هلام السيليكا والماء هو الأفضل للامتصاص البارد بدرجة حرارة منخفضة (مجمعات الطاقة الشمسية لمياه الطائفة .) (يعتبر مزيغ هلام السيليكا / الماء أكثر كفاءة من الزيوليت / الماء من حيث الخصائص الفيزيائية الحرارية (الحرارة الكامنة العالية لتبخير المادة الممتازة ومعدل الامتصاص العالي .) (تركيب الكربون المنشط / الميثانول وهلام السيليكا / الماء لها نتائج متطابقة للغاية ، على الرغم من أن الزيوليت هو أكثر الممتزات شيوعاً في العالم (نظراً لتكلفته المنخفضة مقارنة بهلام السيليكا) ، فإن تأثير درجة حرارة المصدر الساخن يقودنا إلى استخدام الكربون المنشط / الميثانول كمادة ماصة في العديد من الظروف .

الكلمات المفتاحية الطاقة الشمسية ، المكيف الشمسي ، اللاقط الشمسي ، مبخر ، مكثف

Introduction générale

Introduction générale :

L'Algérie a un grand potentiel pour l'énergie solaire, la luminosité annuelle du soleil est toujours supérieure à 40 000 kilojoules par mètre carré de surface de captage, il est donc important d'exploiter ces gisements libres et non pollués, dans le domaine de la production de froid, notamment dans les zones rurales isolées, pour les pays en développement avec un ensoleillement favorable, en particulier dans les zones hors réseau, les machines de refroidissement à absorption solaire semblent être une voie prometteuse pour améliorer les conditions de vie dans ces zones, d'un point de vue sanitaire et économique, dans ce travail, nous proposons un réfrigérateur solaire à charbon actif.

Méthanol qui est fabriqué en Algérie Avec des matériaux locaux, au laboratoire solaire et testé sur son balcon à conditions météorologiques réelles les systèmes de froid et de climatisation sont des consommateurs important d'énergie, ces systèmes sont habituellement actionnés par énergie électrique produite à partir de produit fossile (pétrole, gaz naturel, charbon) et les systèmes de réfrigération sorption entraînés par une source de chaleur à basse température ont été développés comme une alternative économique et respectueuse de l'environnement, et les recherches ont montré que l'énergie solaire est une bonne solution qui peut remplacer les énergies fossiles, dans tous ces systèmes, la consommation d'énergie mécanique est réduite au minimum ou nul, et ils peuvent fonctionner avec de la chaleur à basse température à partir de différentes sources telles que la chaleur résiduelle ou l'énergie solaire.

Les systèmes de refroidissement par absorption tels que ceux utilisant LiBr-H₂O ou H₂O-NH₃ comme couple de travail présents de nombreux avantages pour des applications spécifiques, ils donnent une meilleure efficacité du système de refroidissement par rapport aux systèmes d'adsorption, cependant, ces systèmes présentent également de nombreuses limitations dans les conditions de fonctionnement, le grand avantage des systèmes d'adsorption plus de ceux d'absorption est qu'elles peuvent fonctionner sans pièces mobiles, ayant des coûts inférieurs, puis de l'entretien, autres avantages en comparaison avec les systèmes de compression sont : construction simple respectueux de l'environnement et silencieux.

Un grand nombre d'applications pour les systèmes de refroidissement de sorption ont été vues dans les pays développés et en développement, tels que:

- Stockage et conservation des vaccins et des produits médicaux.
- Conserver les aliments et les aliments dans les zones désertiques loin de l'électricité.
- Réfrigération, climatisation, refroidisseurs et production de glace etc...

L'objectif principal à atteindre consiste à étudier la performance des machines frigorifiques à adsorption solaire, et en particulier l'effet des températures limites du cycle thermodynamique sur le coefficient de performance thermique COP_{th}, cette étude serait d'un apport appréciable pour de nouvelles conceptions de ce type de machines ou pour optimiser les indices économiques d'exploitation de l'énergie solaire pour la production du froid, tout en tenant compte des contraintes qui peuvent être engendrées par la présence des conditions climatiques non adaptables.

De plus, l'Algérie est un pays à fort potentiel d'énergie solaire. Par conséquent, il est important d'exploiter cette ressource naturelle, en particulier dans le champ de production de froid.

L'importance de ce sujet de recherche porte sur une étude d'une machine de climatisation solaire. Dans chaque chapitre nous aborderons une étude théorique, qui est représentée dans ce qui suit :

- Le chapitre I : comprend une étude des différentes technologies d'absorption de la climatisation solaire, des principes de fonctionnement et des descriptions des différents composants d'une unité de climatisation solaire.
- Le chapitre II : contient des informations générales sur les différentes pièces et composants d'un climatiseur solaire et d'autres technologies qui permettent l'utilisation de la climatisation ont été introduites, l'utilisation d'une source d'énergie autre que l'électricité est non seulement souhaitable, mais également nécessaire, pour faire fonctionner le climatiseur à l'énergie solaire, le meilleur plan d'action pour la recherche et le développement est encore en discussion, dans ce contexte, tout au long de ce chapitre, nous allons : nous essayons de résoudre le problème des systèmes de climatisation solaires.
- chapitre III : le cycle de Clapeyron de base lié au système de réfrigération à absorption est étudié et analysé, pour ce faire, nous avons développé un modèle numérique basé sur l'équation d'état du modèle de Dubinin et Radushkevich et sur un certain nombre de facteurs liés à l'optimisation, dont les propriétés des couples mixtes / mixtes, que nous avons incorporés dans le modèle à l'aide d'équations issues d'expériences, données publiées dans la littérature, À l'aide du code généré par ordinateur, il peut déterminer comment divers facteurs affectent la quantité de réfrigérant générée dans l'évaporateur, le coefficient thermique de la performance de l'appareil et la quantité de masse recyclée à partir de l'adsorbant.
- Dans le quatrième chapitre, nous avons analysé et discuté les résultats obtenus

CHAPITRE I :

**UNE REVUE BIBLIOGRAPHIQUE SUR LE
SYSTEME DE CLIMATISATION SOLAIRE.**

CHAPITRE I : UNE REVUE BIBLIOGRAPHIQUE SUR LE SYSTEME DE CLIMATISATION SOLAIRE.

I.1 Introduction :

L'utilisation rationnelle de l'énergie est indispensable en Algérie, un pays qui a de grandes réserves pétrolières et en gaz naturel et ayant la troisième réserve mondiale en gaz de schiste, et avec l'ensoleillement intense et la grande surface disponible le recours à l'énergie solaire permettrait de préserver les réserves en énergie fossile pour assurer une longue prospérité financière pour les générations futures.

Aujourd'hui, l'utilisation des énergies renouvelables, et plus particulièrement celle de l'énergie solaire pour contribuer à la climatisation estivale est une alternative remarquablement attirante, puisque le maximum d'énergie solaire reçue par la terre correspond à celui des besoins en froid, outre les systèmes faisant appel à la conversion de l'énergie solaire en énergie électrique, les technologies utilisant directement l'énergie solaire thermique sont les plus performantes.

I.2 Bibliographique de climatisation solaire :

L'histoire de la climatisation trouve ses racines à l'époque des Romains. En effet les romains eurent la judicieuse idée de faire usage d'un tunnel sous terrain pour provoquer une arrivée d'air extérieur, c'est ainsi que virent le jour les premiers climatiseurs. Ils arrivaient ainsi à conserver une température ambiante hiver comme été. Au 16^{ème} siècle virent le jour des systèmes naturels de rafraîchissement, obtenus par ruissellement d'eau, ce qui provoqua par évaporation une diminution de la température de l'air. Mais c'est en 1902 que la notion de climatisation moderne apparut grâce à l'invention d'un homme appelé Willis H Carrier.

En 2010, F. Calise [1] une maquette dynamique complète d'un aménagement innovant d'un système de chauffage et de refroidissement solaire a été présentée, également incluant une étude paramétrique et une optimisation détaillée de ses performances thermo économiques. M. Qu, H. et al. [2] ont été construits un système de refroidissement et de chauffage solaire thermique à l'Université Carnegie Mellon, ont étudié à travers sa conception, son installation, sa modélisation et son évaluation pour traiter la question de savoir comment l'énergie solaire pourrait être utilisée le plus efficacement pour fournir de l'énergie pour le fonctionnement d'un bâtiment. Ce système de refroidissement et de chauffage solaire comprend une surface de 52 m² de capteurs solaires linéaires paraboliques ; un double effet 16 kW, eau-eau refroidisseur à absorption au bromure de lithium (LiBr) et un échangeur de chaleur à récupération de chaleur avec leurs pompes de circulation et leurs vannes de régulation. Il génère de l'eau réfrigérée et chauffée, selon la saison, pour le refroidissement et le chauffage des locaux, ce système est le plus petit à haute température du système de refroidissement solaire dans le monde. Jusqu'à présent, seul ce système du genre a été exploité avec succès pendant plus d'un an, Les performances du système ont été testées et les données mesurées ont été utilisées pour vérifier les modèles de performances du système développés avec le logiciel de simulation (TRNSYS), Sur la base du système solaire installé, des modèles de performance de cas de base ont été programmés, puis ils ont été modifiés et étendus pour rechercher des mesures d'amélioration des performances du système. Les mesures comprenaient des changements dans la zone et l'orientation des capteurs solaires, l'inclusion du stockage thermique dans le système, les

modifications du diamètre et de la longueur des tuyaux, et diverses stratégies de contrôle opérationnel du système. Il a été constaté que ce système solaire thermique pouvait potentiellement fournir 39 % du refroidissement et 20 % de l'énergie de chauffage pour cet espace de bâtiment à Pittsburgh, Pennsylvanie, s'il comprenait un réservoir de stockage correctement dimensionné et un tuyau à petit diamètre de raccordement, des lignes directrices pour la conception et le fonctionnement d'un système de refroidissement et de chauffage solaire efficace pour un espace de bâtiment donné.

En 2011, A. González-Gil, et al. [3] développée un nouveau prototype d'absorption LiBrH₂O à simple effet refroidi par air, l'utilisation d'un absorbeur adiabatique à feuilles à éventail plat est décrit dans ce travail. Contrairement à d'autres refroidisseurs à absorption refroidis par air, dans ce cas, les deux l'absorbeur et le condenseur sont directement refroidis par air l'extérieur. Une autre caractéristique distinctive de ce refroidisseur est qu'il peut fonctionner également comme une unité à double effet. Une installation solaire avec des capteurs plats a été utilisée pour tester le mode de fonctionnement à simple effet du prototype d'absorption dans une large gamme de conditions de travail au cours de l'été 2010. D'après les résultats expérimentaux, ont été tirées les conclusions suivantes: Le prototype a fonctionné de manière assez efficace, avec valeurs quotidiennes de COP thermique autour de 0,6 (0,38 si référé au primaire énergie), la capacité de refroidissement variait de 2 kW à 3,8 kW, tandis que la température de l'eau glacée a atteint un minimum de 12,8 °C Les températures de condensation et d'absorption étaient toujours plus basses supérieures à 50 et 46 °C, respectivement, même avec des températures extérieures de 40 °C. La température de l'eau entraînée variait entre 85 °C et 110 °C, Le prototype avait besoin d'au moins 93 °C pour avoir un démarrage réussi, Cependant, il a été observé qu'à la fin des expériences le prototype pourrait fonctionner à des températures plus basses, normalement jusqu'à 85 °C.

En 2011, Driss Stitou et al. [4] ont présenté une étude expérimentale, montre que possible de développer un procédé thermochimique de sorption solide-gaz pour climatisation utilisant uniquement des capteurs solaires plats standard fonctionnant à 70 °C. Leurs résultats montrent qu'une gestion optimale et le contrôle des différents composants de l'usine pilote de sorption, comme le couplage de la boucle du capteur solaire avec le PCM chaud stockage et le réacteur ou la connexion du réacteur avec le condenseur et évaporateur, peut entraîner une augmentation substantielle de la production quotidienne de froid. Le COP solaire annuel d'un tel processus de sorption thermochimique est d'environ 18 %, ce qui n'est pas loin de ceux déjà obtenus (environ 22%) par d'autres processus de sorption plus performants, par ex. machines à absorption liquide/gaz.

En 2012, Un système de refroidissement à absorption alimenté par l'énergie solaire a été conçu et installé par X.Q. Zhai, et al.[5]. Ont utilisant les données expérimentales, les performances de l'ensemble du système ont été présentées et analysées, les principales conclusions peuvent être résumées comme suit :

- Une puissance frigorifique de 4,6 kW peut être obtenue pendant le fonctionnement continu de 9 h, le COP moyen du refroidisseur était de 0,31.
- Dans des conditions climatiques similaires, la puissance de refroidissement au moyen de panneaux de refroidissement radiants a augmenté de 23,5 % par rapport au mode de fonctionnement des ventilo-convecteurs.

- Grâce aux deux étapes de refroidissement du système d'alimentation en air, comme illustré à la Figure I.1, la conservation d'énergie était de 43,5 %.
- Grâce au système intégré de plafond rafraîchissant par rayonnement et d'unité de traitement de l'air soufflé, l'environnement thermique intérieur a pu atteindre le niveau à la classe A.

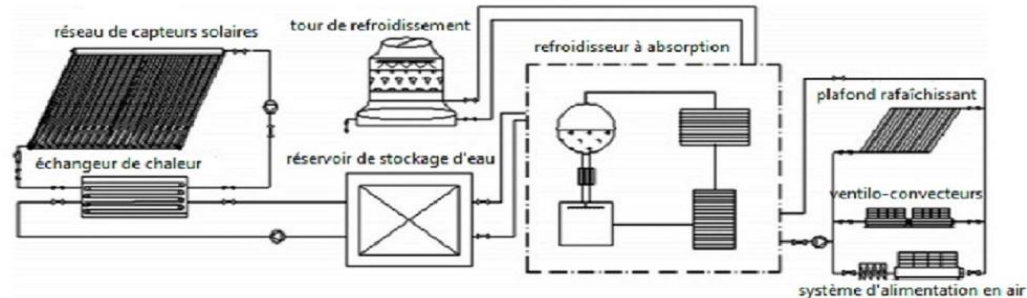


Figure I.1 : Schéma horaire du système de climatisation à absorption solaire.

Dans la même année, S. Rosiek, et F.J. Batlles, [6] ont été conçu un système géothermique peu profond comme illustrée à la Figure I.2, une alternative à la tour de refroidissement (Figure I.3), ce système d'énergie renouvelable, à faible émission de carbone et à longue durée de vie améliore l'efficacité du système de climatisation à assistance solaire en facilitant la réduction de la consommation d'électricité et d'eau dé ionisée, par rapport à un système de tour de refroidissement. Ce système de refroidissement par eau souterraine fonctionne depuis mai 2010, fournissant de l'eau souterraine comme milieu de refroidissement, les résultats obtenus au cours des saisons estivales 2010 et 2011 démontrent que pendant une période de refroidissement, le système de stockage thermique de l'aquifère saisonnier utilise 31 % moins d'énergie électrique qu'un système de tour de refroidissement, il ne consomme pas non plus l'eau utilisée par un système de tour de refroidissement, qui peut représenter jusqu'à 116 m³ d'eau en une période de refroidissement, de ce point de vue, on voit clairement que, par rapport au système de tour de refroidissement, les systèmes géothermiques superficiels ont le potentiel de réduire considérablement la consommation d'énergie nécessaire au refroidissement dans le secteur du bâtiment, bien que le coût initial d'un tel système soit légèrement supérieur à celui d'un système de tour de refroidissement, il peut permettre des économies à long terme et peut certainement être plus respectueux de l'environnement. Les futurs efforts de recherche dans ce domaine devraient viser à évaluer le système de refroidissement des eaux souterraines au moyen d'une analyse des coûts du cycle de vie (ACV), par rapport à un système de tour de refroidissement, dès le début de la conception et de l'exploitation des deux systèmes, afin d'examiner pleinement les performances environnementales et avantages liés aux applications des systèmes géothermiques superficiels.

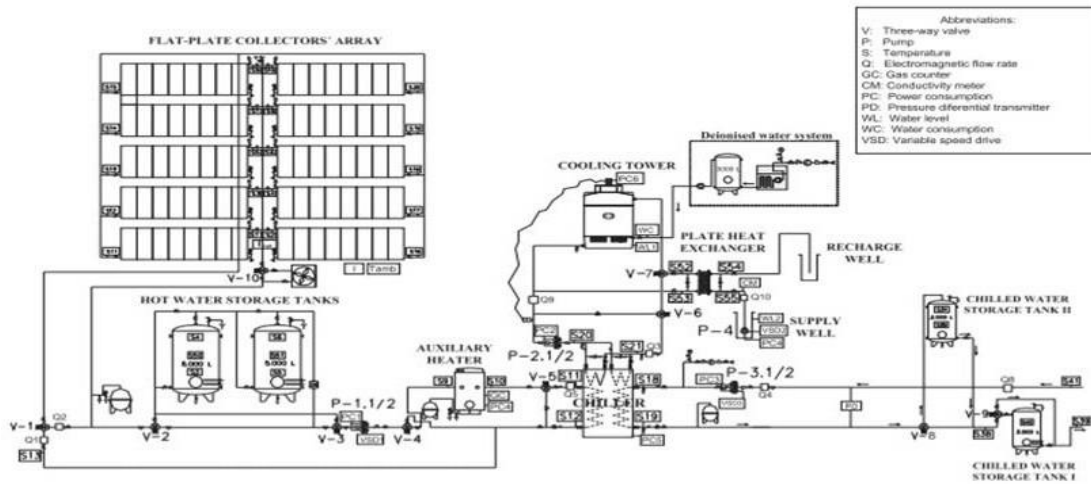


Figure I.2 : Schéma de principe d'un système de climatisation à assistance solaire.

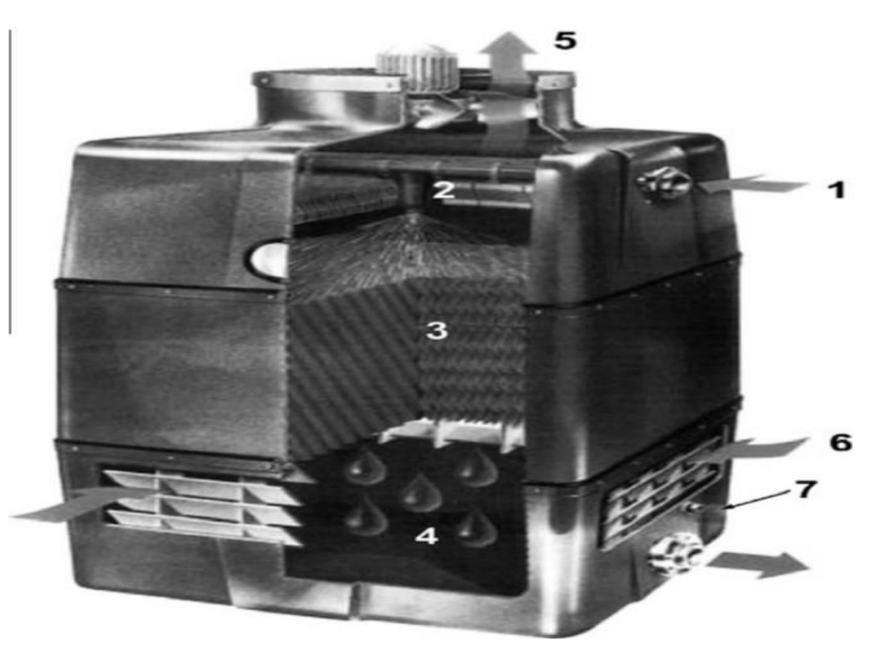


Figure I.3 : Dessin schématique d'une tour de refroidissement, image tirée du Manuel Sulzer.

En 2013, Ali M. Baniyounes, et al. [7] ont fait une étude comparative détaillée entre deux technologies de refroidissement solaire différentes : le refroidissement par absorption comme montre dans la Figure I.4, et le refroidissement par dessiccation de Figure I.5, pour un bâtiment institutionnel dans le centre du Queensland en Australie. Dans cette étude ont identifiées des indicateurs de performance technologique pour évaluer la viabilité de chaque système dans deux villes du centre du Queensland (Rock Hampton et Gladstone) en tenant compte de l'installation de différentes zones de capteurs solaires, la procédure développée dans cette étude peut être appliquée par les concepteurs pour évaluer la viabilité de l'utilisation de la technologie de refroidissement solaire, les résultats ont montré que le bâtiment proposé sous le climat Gladstone a une charge de refroidissement annuelle totale de 6750 kWh, le même bâtiment

proposé sous le climat de Rock Hampton a une charge de refroidissement annuelle totale de 6 428 kWh. L'utilisation d'un système de refroidissement par adsorption a permis d'atteindre un coefficient de performance (COP) proche de 1,2 pendant la saison de forte demande de refroidissement.

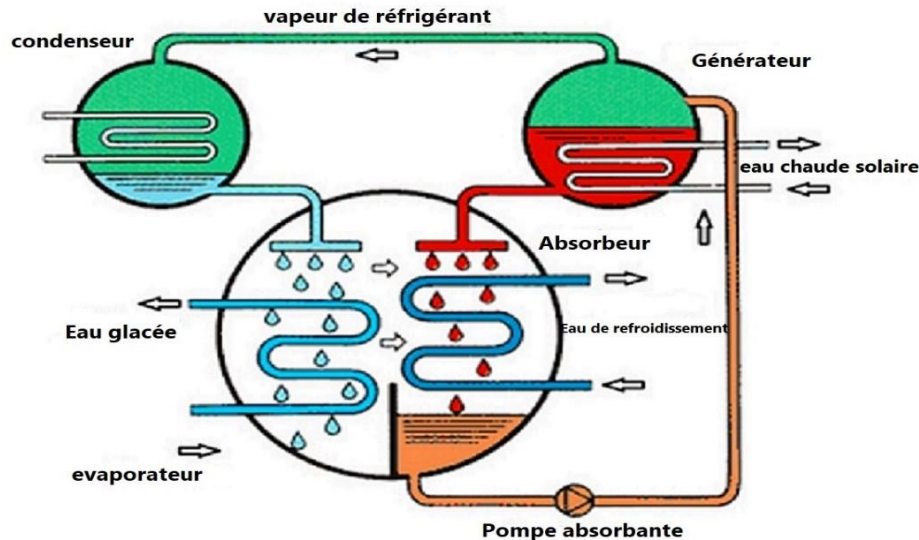


Figure I.4 : Schéma d'un refroidisseur à absorption.

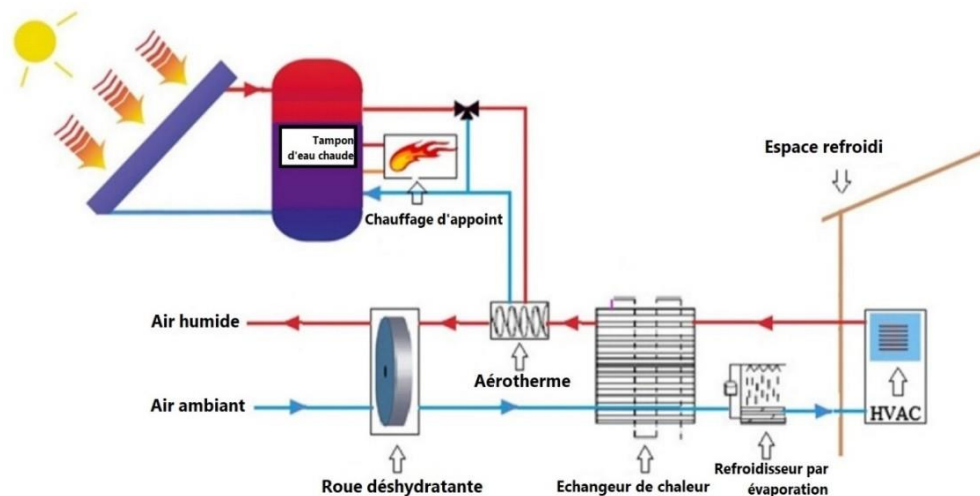


Figure I.5 : Schéma du système de refroidissement par desséchant solaire.

Dans la même année, Jan Wrobel et al. [8] ont utilisé un modèle mathématique calibré sur un système de climatisation assisté par déshydratant à cycle ouvert à Hambourg. (Voir Fig. I.6). Ce modèle permet de simuler un système à différents emplacements géographiques pour évaluer la dépendance de différentes conditions de fonctionnement en mettant l'accent sur les besoins de déshumidification. Ont été comparé la demande de pointe et la demande énergétique totale du système de climatisation. Les résultats obtenus par cette simulation montrent un avantage significatif sur tous les sites par rapport à un système HVAC conventionnel, en raison

des avantages du système HVAC thermique et du débit d'air plus faible, la puissance de refroidissement maximale requise est comprise entre 28 % et 32 % et la demande de chaleur maximale entre 30 % et 51 % de celle du système conventionnel, La demande annuelle totale d'énergie de refroidissement et de chauffage dépend fortement des heures de fonctionnement et du mode de fonctionnement.

L'avantage du système déshydratant diminue avec moins d'heures de déshumidification, de plus les résultats de la simulation montrent que les systèmes assistés par dessiccant sont également énergétiquement adaptés aux régions à très forte humidité de l'air lorsqu'ils sont combinés avec un serpentin de pré-refroidissement, dans les zones climatiques avec des heures de fonctionnement élevées en OM2, par ex. Hambourg, le refroidissement naturel par air dans le système conventionnel à air seul présente un avantage par rapport au système air-eau de la climatisation déshydratante.



Figure I.6 : Installation pilote d'un système de climatisation assistée par desséchant à Hambourg, Germany.

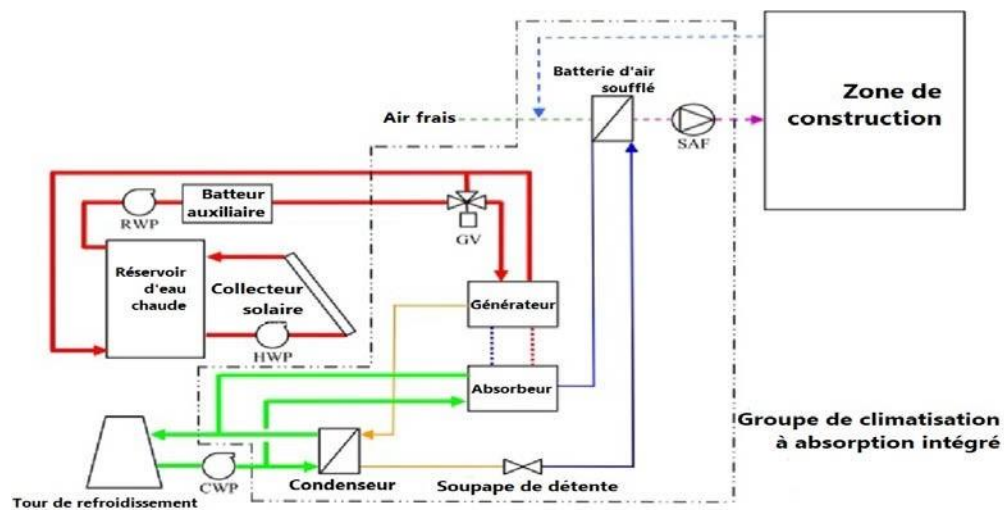


Figure I.7 : Schéma de principe d'une unité de climatisation à absorption intégrée $\text{NH}_3\text{eH}_2\text{O}$ (IAAU) principalement alimentée par l'énergie solaire thermique.

En 2014, K.F. Fong, C.K. Lee, [9]. Ont proposé une étude à trois stratégies d'intégration, telles que les composants de l'évaporateur et du condenseur du cycle de réfrigération à absorption peuvent être extraits pour avoir une meilleure formulation d'une entité de climatisation. Ainsi, les unités de climatisation intégrées, IAAU, IADAU et IADAU-RC ont été élaborées, afin de générer les nouvelles configurations, la paire de travail $\text{NH}_3\text{eH}_2\text{O}$ est adoptée à la place du populaire H_2OeLiBr , grâce à la simulation dynamique, les performances

tout au long de l'année des systèmes proposés : les systèmes basiques de climatisation à absorption solaire utilisant $\text{NH}_3\text{H}_2\text{O}$ et H_2OeLiBr et le système conventionnel de climatisation à compression électrique ont été évalués, par rapport à l'AASH H_2OeLiBr , il a été constaté que l'IAAU (Figure I.7), l'IADAU (Figure I.8) et l'IADAU-RC (Figure I.9) pourraient avoir respectivement 7,6 %, 16,2 % et 25,5 % de consommation d'énergie primaire en moins.

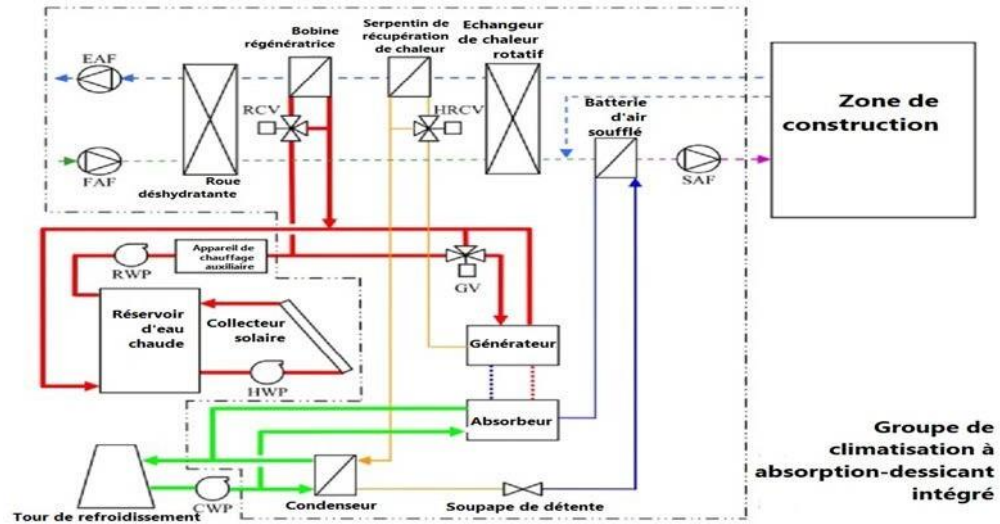


Figure I.8 : Schéma de principe d'une unité de climatisation intégrée à absorption-dessiccation. de $\text{NH}_3\text{H}_2\text{O}$ (IADAU) principalement alimentée par l'énergie solaire thermique.

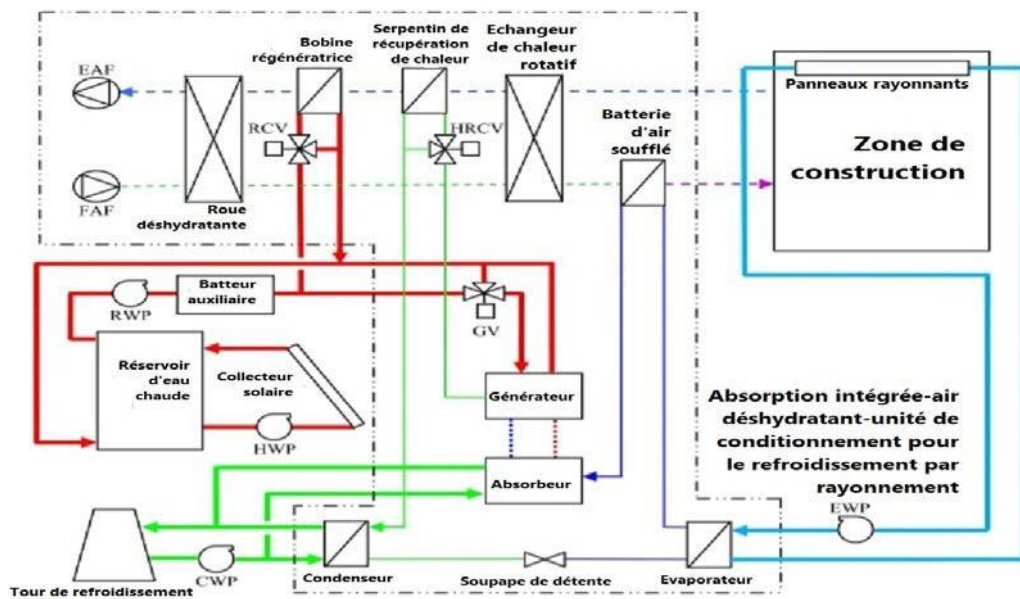


Figure I.9 : Schéma de principe d'une unité de climatisation intégrée à absorption-dessiccant de $\text{NH}_3\text{H}_2\text{O}$ pour le refroidissement par rayonnement (IADAU-RC) principalement alimentée par l'énergie solaire thermique.

En 2015, Kamel Rabhi, et al. [10]. Ont détaillé trois modes de fonctionnement, la réfrigération par déshumidification et adsorption, et ont été conçue un mode avec déshumidification (voir la Figure I.10), et un autre mode été sans déshumidification

représentée à la Figure I.11, et un mode d'hiver représentée à la Figure I.12. Un

déshumidificateur multi- lits est utilisé pour assurer une déshumidification déshydratante régulière, un refroidisseur à adsorption à deux lits est utilisé pour effectuer la réfrigération par adsorption afin d'augmenter les performances énergétiques du système proposé, le comportement du système de climatisation solaire conçu est simulé numériquement, dans des conditions météorologiques variables dans la ville de Gafsa-Tunisie, il a été prédit que la température de l'espace conditionné doit se situer dans une fourchette variant de 23 à 26°C lorsque l'on espère atteindre le sentiment de bien-être en été avec déshumidification.

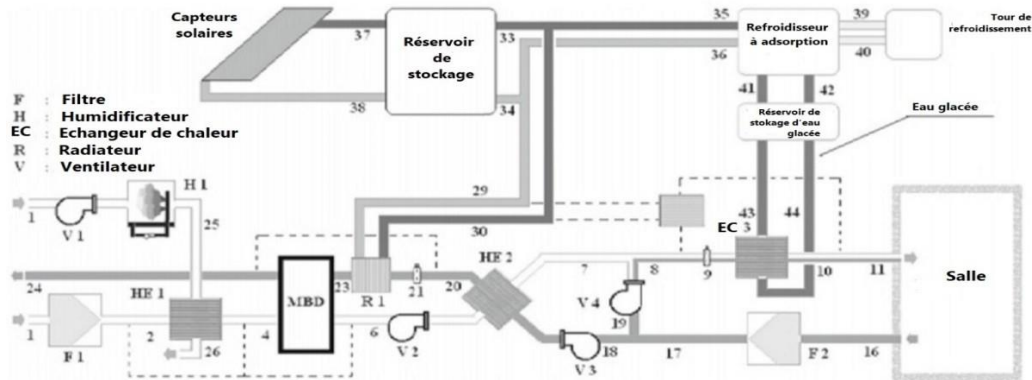


Figure I.10 : Trajets de l'air de traitement, de l'air de régénération et de l'air infusé en mode été avec déshumidification.

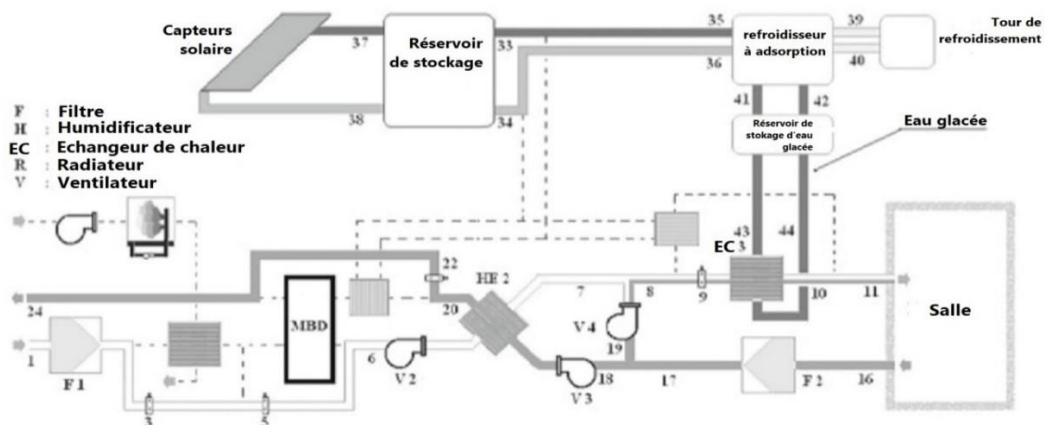


Figure I.11 : Chemins de l'air à traiter, de l'air de régénération et de l'air infusé en mode été sans déshumidification.

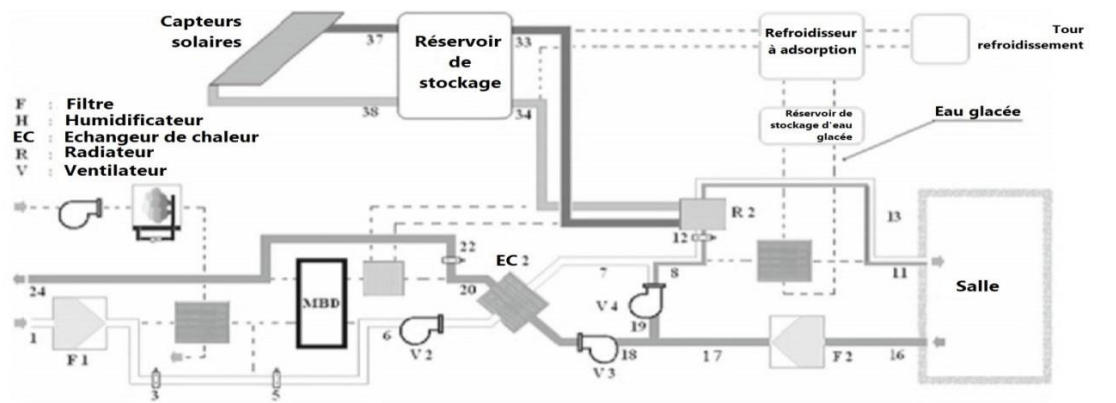


Figure I.12 : Chemins de l'air de traitement, de l'air de régénération et de l'air insufflé en mode hiver.

Une année plus tard, En 2016, M. A. I. El-Shaarawi et A. A. Al-Ugla, [11] ont étudié quatre conceptions de stockage hybrides pour une technologie de climatisation à absorption d'eau LiBr à énergie solaire fonctionnant 24h/24. Les caractéristiques de chaque conception ont été discutées, les résultats montrent que le système de stockage hybride de chaleur, de froid et de réfrigérant nécessite une plus petite surface de collecteur presque de $22,37 \text{ m}^2$, mais a une capacité de stockage élevée, en particulier pour le réservoir de stockage de chaleur (473,9 kg). Bien que le système de stockage hybride de chaleur, de froid et de réfrigérant ait des COP élevés (0,765), l'exigence de masse pour ce système est très élevée. L'analyse a révélé que la conception de stockage hybride avec stockage de froid et de réfrigérant pour le système d'absorption solaire LiBr-H₂O est la conception la mieux adaptée, en raison de la taille du collecteur, elle sera relativement petite ($31,76 \text{ m}^2$) par rapport aux systèmes de stockage hybrides de chaleur et de réfrigérant et aux systèmes de stockage hybrides de chaleur et de froid. Les capacités de stockage de masse de ce système seront les plus faibles (réservoir de stockage de froid : 50,32 kg et réservoir de stockage de fluide frigorigène : 54,27 kg), De plus, ce système est de conception simple en raison d'une moindre complexité dans les exigences de contrôle par rapport aux autres systèmes. Ces trois facteurs indiquent que le coût du système de stockage hybride froid-réfrigérant sera inférieur à celui d'autres systèmes, l'amélioration de la zone de stockage de masse et de capteur en augmentant le temps de disponibilité solaire aura un effet positif sur le paramètre de conception, la taille et la sélection du système, le temps de disponibilité solaire est augmenté par l'emplacement du rayonnement solaire plus élevé et la saison de température météorologique plus élevée.

En 2016, R.Z. Wang, et al. [12] ont analysées les performances d'un tel système sur la base d'un modèle mathématique développé. L'état transitoire et moyen de l'air soufflé, la masse d'humidification et le COP sont utilisés comme indices pour mesurer les performances du système, en premier lieu, les effets des paramètres de fonctionnement importants, y compris la température de régénération ainsi que le temps de commutation, sont simulés et analysés, ensuite, les influences de l'état de l'air ambiant sont discutées pour étudier la faisabilité d'un tel système avec différentes conditions climatiques. Les principaux résultats sont résumés ci-dessous dans des conditions de simulation :

1- Les tendances variables des états transitoires et moyens de l'air soufflé sont similaires, la température de l'air soufflé augmente avec l'augmentation des températures de régénération et du temps d'humidification, le taux d'humidité de l'air soufflé augmente également avec

l'augmentation de la température de régénération, mais il augmente d'abord puis diminue jusqu'à la condition ambiante en mode humidification.

2- Une température de régénération relativement basse (telle que 20°C) ne peut pas répondre à la norme conçue, cependant une température de régénération relativement élevée (telle que 40°C) fournit une puissance de chauffage supplémentaire de longue durée, puis une température de régénération modérée autour de 30°C est recommandée.

3- Le temps de commutation est un paramètre de fonctionnement crucial pour que le système obtienne un air soufflé satisfaisant, un temps de commutation de 40 s à 80 s et de 70 s à 240 s est recommandé pour les états d'air soufflé transitoires et moyens, respectivement.

4- La masse d'humidification et le COP du système augmentent avec l'augmentation de la température de régénération. Dans un mode d'humidification, la masse d'humidification augmente d'abord, puis tombe à zéro, et le COP augmente considérablement au début, puis devient plat.

5- Un taux d'humidité plus élevé de l'air ambiant entraîne une augmentation du taux d'humidité de l'air soufflé, la température de l'air ambiant a un effet négligeable sur l'air soufflé.

En conclusion, le système de climatisation DCHE Figure I.13 peut être adopté dans des conditions hivernales simulées avec une sélection modérée de la température de régénération ainsi que du temps de commutation.

La faisabilité de la technologie de refroidissement à assistance solaire pour un immeuble de bureaux typique d'un point de vue technique a été examinée par Lisa Guan et al. [13]. Cette technologie est appliquée dans diverses conditions climatiques environnementales et économiques australiennes. Trois types différents de systèmes de refroidissement solaires, à savoir le système SDEC Figure I.14, le système SDCC Figure I.15 et le système SAC Figure I.16, ont été étudiés à l'aide de la simulation. Les résultats de la simulation ont montré que la technologie de refroidissement assistée par l'énergie solaire est techniquement faisable pour les immeubles de bureaux australiens, le système SDEC a eu la meilleure performance parmi tous les systèmes dans l'ensemble en termes de SF annuel et de COP du système, le SF annuel du système SDEC pourrait atteindre 0,82 dans un climat chaud et humide comme Darwin et 0,49 dans une zone froide d'été doux comme Hobart, de plus, le COP annuel du système électrique pourrait atteindre 25,5 à Darwin et 1,12 à Hobart, les performances du SF et du COP du système SAC étaient les deuxièmes meilleures, allant de 0,33 à 0,71 pour le SF annuel et de 0,92 à 3,61 pour le COP annuel dans différents climats, en ce qui concerne les performances énergétiques et environnementales, les trois systèmes de refroidissement solaire consomment moins d'énergie électrique annuelle CVC que le système VAV conventionnel.

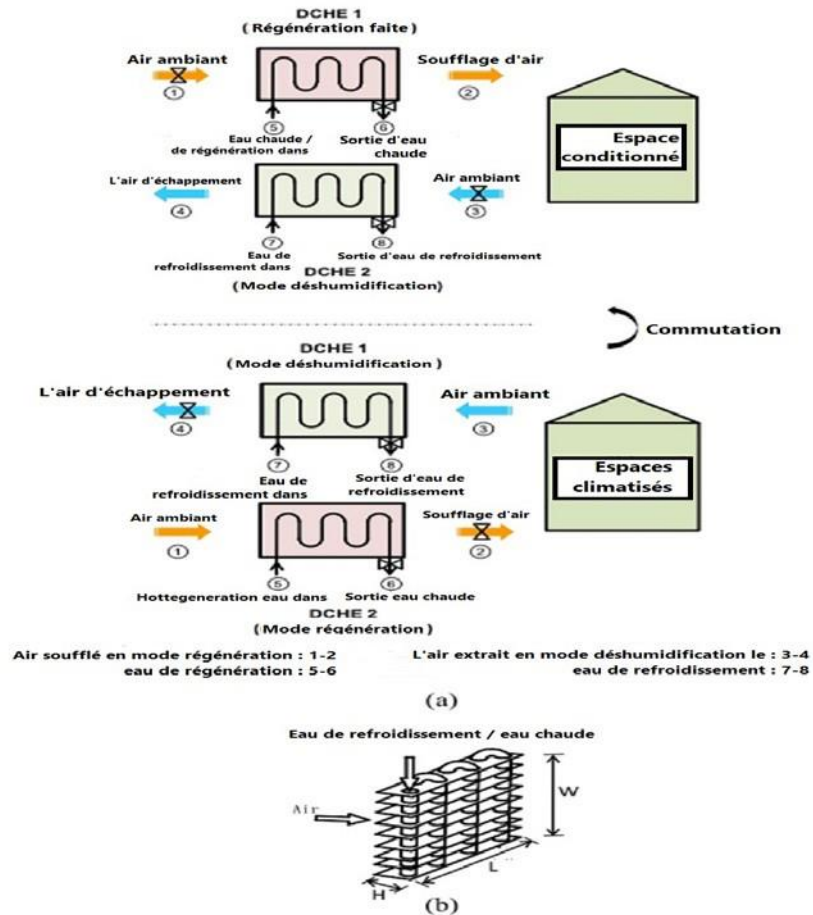


Figure I.13 : Principe de fonctionnement (a) du système de climatisation DCHE en hiver, (b) du composant DCHE.

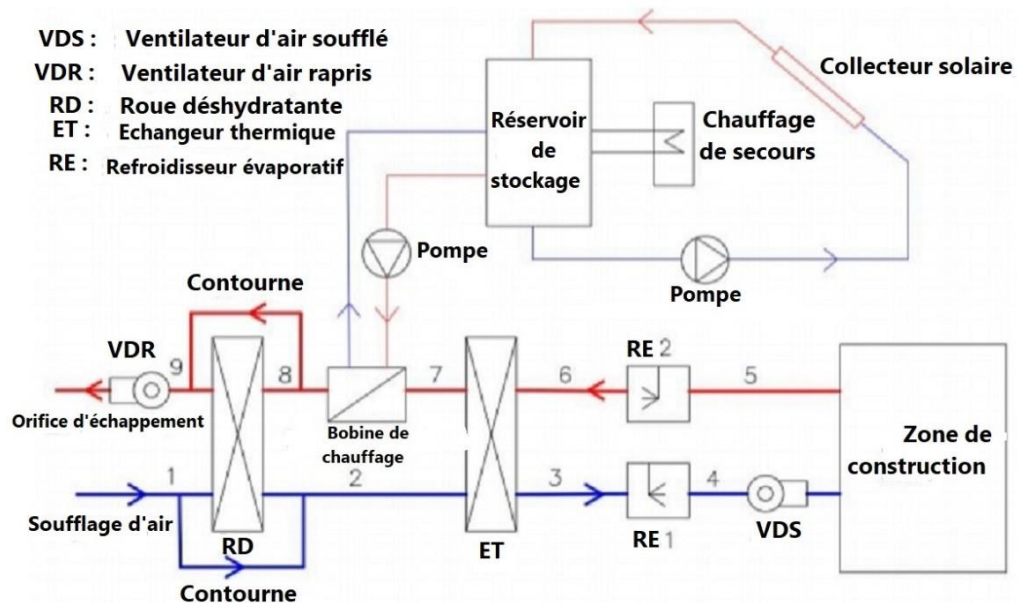


Figure I.14 : Schéma de principe du système SDEC.

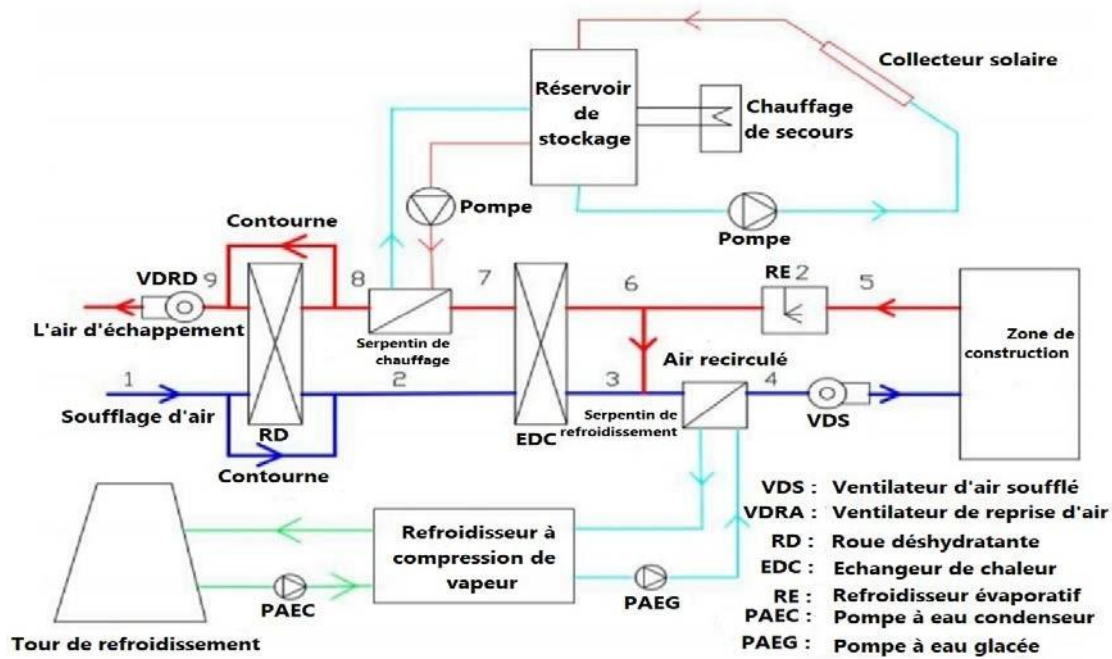


Figure I.15 : Schéma de principe du système SDCC.

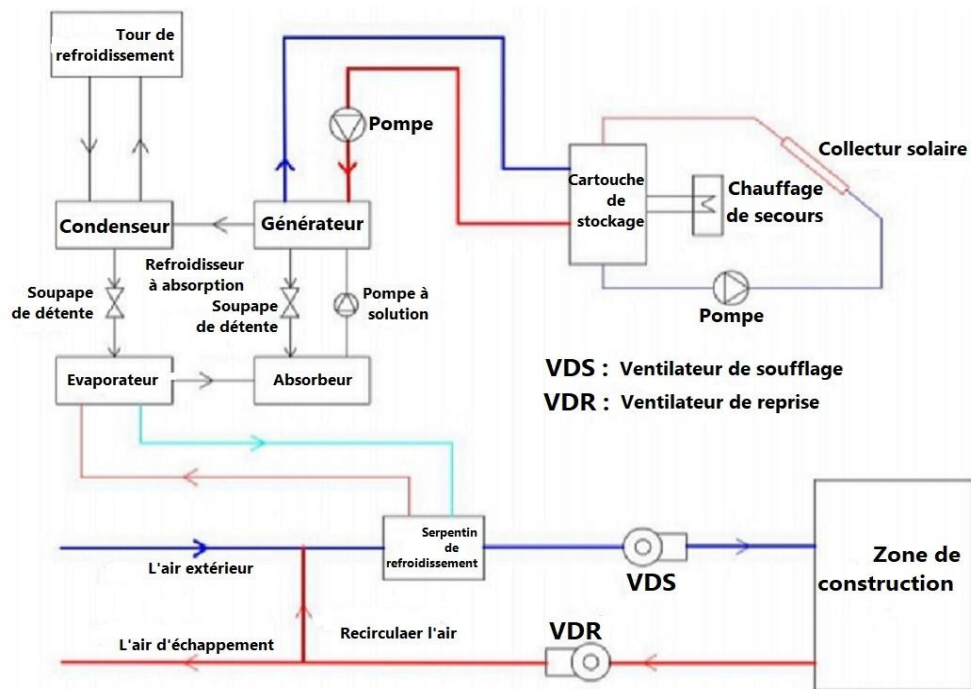


Figure I.16 : Schéma de principe du système SAC.

En 2018, A.E. Kabeel, et al. [14] concepts un système dédié de climatisation à dessiccant liquide (LDAC) de l'air extérieur assisté par l'énergie solaire est simulé et étudié, une récupération de chaleur de l'air de reprise et de l'air de régénération est ajoutée pour augmenter le coefficient de performance thermique du cycle (TCOP), le cycle LDAC modifié est simulé

sous différentes valeurs de fraction solaire et volumes de réservoir de stockage d'eau chaude. Les résultats de la simulation du cycle simulé montrent que le TCOP quotidien moyen est fortement fonction de la différence de taux d'humidité absolue entre l'air extérieur et l'air saturé, de plus, en mode de stockage thermique, chaque tube peut fournir 30 watts pour faire fonctionner le système LDAC modifié pendant 16 heures par jour, pour augmenter la fraction solaire de 90 % à 100 %, la taille requise du réseau de tubes sera augmentée de 20 %. Deuxièmement, un système LDAC à énergie solaire est étudié en mode de stockage d'énergie thermochimique, dans lequel, le contrôleur ON/OFF est utilisé pour contrôler la boucle de régénération de la solution, les résultats de la simulation montrent que chaque tube peut fournir 38,5 watts pour faire fonctionner le système LDAC pendant 16 heures par jour, enfin, une analyse du coût du cycle de vie (LCCA) est réalisée pour le système LDAC simulé sous ces différents types de modes de stockage d'énergie, les résultats de la comparaison indiquent que le système LDAC avec mode de stockage d'énergie thermochimique est le système le plus économique lié aux prix des capteurs solaires et des prix du gaz en Égypte. La comparaison entre les différents modes de stockage montre que la méthode de stockage d'énergie combinée est la méthode la plus économe en énergie, alors que la méthode de stockage d'énergie combinée à la consommation d'énergie électrique la plus faible, d'autre part, une fraction solaire à 90 % peut fournir le système de déshydratant liquide assisté par l'énergie solaire le plus économique, en outre, une comparaison entre le système LDAC à énergie solaire et le système de compression de vapeur conventionnel est introduite, le coût annuel total du système LDAC à 90 % d'énergie solaire est inférieur d'environ 50,5 % à celui d'un système VCC, au deuxième ordre, le mode de stockage d'énergie thermique et le mode de stockage d'énergie combiné de 49 % et 47,5 %, respectivement, ensuite, le stockage d'énergie thermochimique permet d'économiser 44,9 % des coûts.

En 2019, Dan Zhong et al. [15], ont développé un nouveau modèle dynamique pour un système de climatisation à dessiccant liquide à refroidissement interne assisté par l'énergie solaire présentée à la Figure I.17. Dans ce modèle ont utilisé la variable T (temps) dans les équations déterminantes pour chaque composant, de cette manière, l'influence de la condition précédente sur l'état suivant du système a été prise en considération, la précision du modèle mathématique a été partiellement vérifiée avec les résultats expérimentaux de certains composants. Ces chercheurs démontré la nécessité de considérer le fonctionnement dynamique réel du système, ensuite, adapté un véritable système de climatisation à dessiccant liquide à refroidissement interne à assistance solaire a été à un immeuble de bureaux d'une capacité de huit personnes à Hong Kong, il a fourni des informations détaillées sur les méthodes de conception du système, sur la base du modèle mathématique et physique. Les performances transitoires du système le jour de conception d'été (21 juillet) ont été étudiées. La tendance de divers paramètres a été présentée et les résultats ont montré qu'il y avait un retard ou même des écarts entre la tendance des paramètres d'entrée et de sortie, cela reflète en outre que l'influence de l'ancien état sur le fonctionnement suivant du système ne pouvait être ignorée, par conséquent, le nouveau modèle pourrait être un outil fiable pour affirmer le fonctionnement du système et fournir également des informations utiles pour un meilleur contrôle du système.

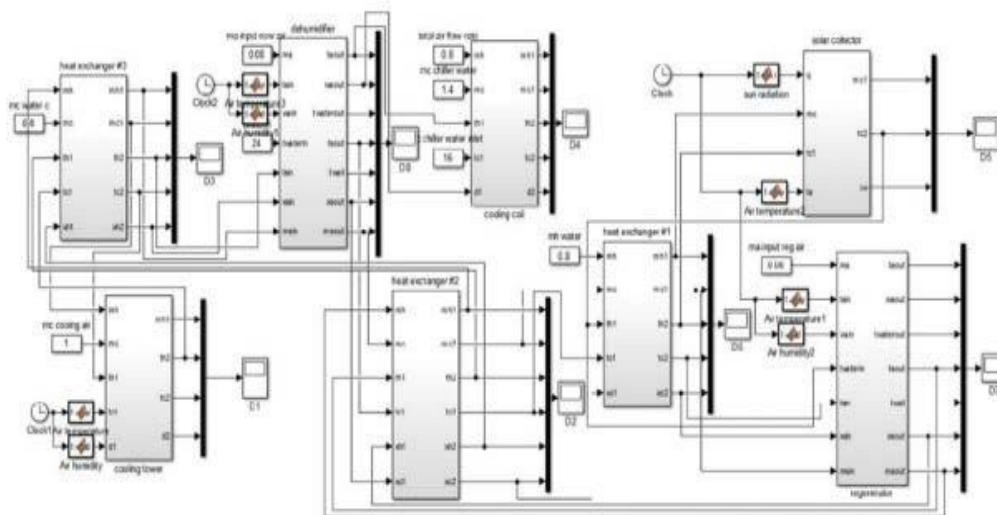
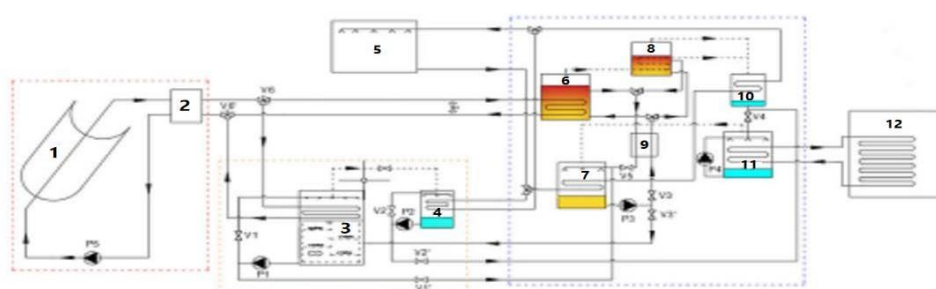


Figure I.17 : Système de simulation du système de climatisation à dessiccant liquide à assistance solaire.

Récemment En 2020, Yuehong Bi, et al. [16] ont analysé un accumulateur triphasé utilisé dans un système de climatisation solaire (voir la Figure I.18). Cette accumulateur triphasé peut assurer le refroidissement durable et stable des bâtiments de 8h30 à 24h00. Le taux de garantie de l'énergie solaire peut atteindre 94,4 %, le rendement PTC moyen est de 67,5 % et le COP moyen du refroidisseur à absorption à double effet pendant la journée est de 1,5. L'efficacité de stockage d'énergie de l'accumulateur triphasé est de 0,66, la densité de stockage d'énergie est de 443,2 kWh/m³ et le taux moyen de stockage d'énergie est de 33,6 kW. Ces chercheurs ont montré que le stockage d'énergie triphasé et le système de climatisation solaire avec PTC ont une très bonne adéquation, lorsque l'intensité du rayonnement solaire est plus grande, le système de stockage d'énergie triphasé se met en service, ce qui garantit non seulement l'efficacité de stockage d'énergie élevée de l'accumulateur triphasé, mais réduit également la température d'entrée et de sortie du collecteur sur la base de assurer le fonctionnement efficace et stable du refroidisseur à absorption, sur la base des résultats de l'analyse économique. La valeur actualisée nette (VAN) du système SAC par rapport au système VCR est positive, et donc l'investissement du système SAC est acceptable.



1- Collecteur parabolique. 2- Réservoir de stockage d'huile thermique. 3- Réservoir de stockage d'énergie triphasé. 4- Réservoir de stockage d'eau. 5- Tour de refroidissement. 6- Générateur haute pression. 7- Absorbant. 8- Générateur de basse pression. 9- Échangeur de chaleur. 10- Condenseur. 11- Évaporateur. 12- Équipement de climatisation.

Figure 1.18: Schéma d'un système de climatisation frigorigène à absorption solaire avec un accumulateur triphasé.

En 2020, T. Bouha et al. [17] été étudié l'optimisation et la conception d'un procédé de climatisation solaire en Maroc (voir la Figure I.19) sur la base d'indicateurs énergétiques et économiques, par conséquent, la performance thermique d'un refroidisseur à absorption LiBr-H₂O couplé à des capteurs solaires thermiques a été évaluée numériquement à l'aide des simulations dynamiques pour différentes catégories de bâtiments et différents climats marocains. Ils ont réalisé que les coûts minimaux sont contrôlés par les zones climatiques et la catégorie de bâtiment, donc il est possible d'économiser dans coûts de l'énergie frigorifique produite pour les zones de Fès (Z3), Marrakech (Z5) et Zagora (Z6) lorsque l'électricité est utilisée comme secours d'appoint pour un fractions solaires annuelles comprises entre 40 % et 70 %.

L'hôtel et la maison d'habitation sont les bâtiments où le système de la climatisation solaire a une plus grande viabilité économique surtout pour Marrakech (Z5) et Zagora (Z6), de plus, la technologie ETC permet de réduire la surface du collecteur entre 20 % et 45 % par rapport à un FPC bien que en raison de leurs coûts initiaux. Le FPC permet une faisabilité économique plus élevée notamment pour Zagora (Z6), une fraction solaire annuelle de 70% ne peut représentent une réduction des coûts d'exploitation entre 25% et 50% du fait à des coûts de maintenance et d'exploitation importants. En utilisant les prédictions analytiques et les résultats numériques. Ils sont également été montrés que la maison d'habitation et l'immeuble de bureaux intégrant un ETC, la technologie avec sauvegarde de gaz est la meilleure solution en particulier pour la ville de Fès (Z3), pour les villes touristiques Marrakech (Z5) et Zagora (Z6). Bâtiment d'hôtel utilisant le système FPC et l'électricité de secours est la solution optimale en termes d'efficacité, de viabilité économique et d'intégration sociale, prise en compte des coûts marocains actuels des ressources énergétiques (électricité et gaz).

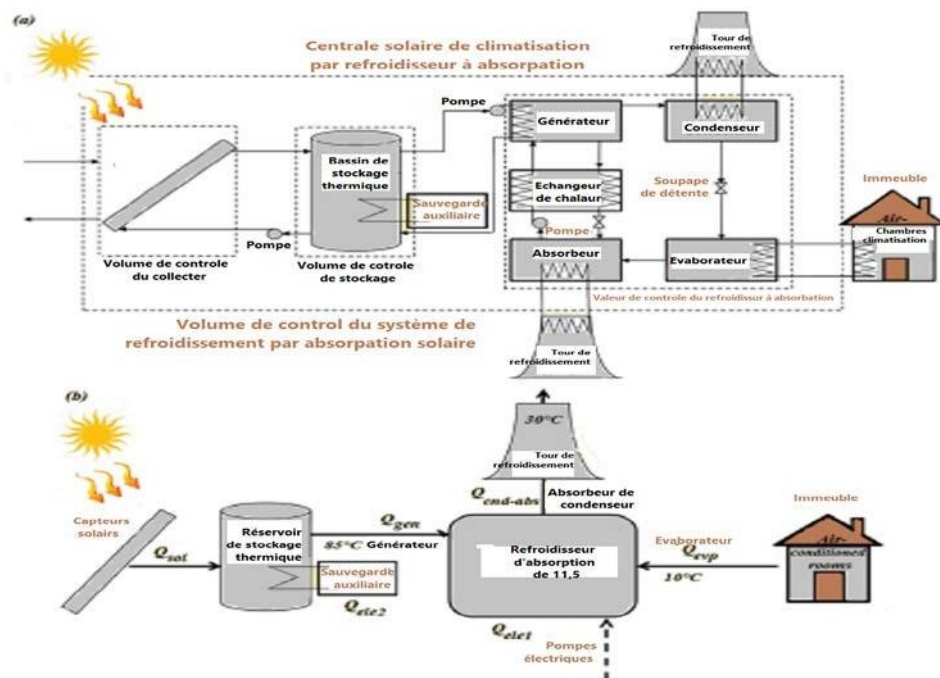


Figure I.19 : Schéma du système de refroidissement central à absorption solaire (a) et interaction énergétique avec les composants liés (b) pour la climatisation des espaces intérieurs au Maroc.

La conception et les performances d'un système de refroidissement solaire utilisant un capteur solaire semi-circulaire (SCT) non suiveur sont présentées et analysées En 2021 par Dilawer Ali et Wattana Ratismith [18]. L'analyse montre que le capteur solaire SCT capte presque 100 % de la lumière incidente à n'importe quel angle sur le creux, cela rend le SCT idéal pour une utilisation en rayonnement solaire direct et diffus. le facteur d'interception élevé est obtenu en utilisant les propriétés de la structure de pointe en « tasse de thé » de la caustique en réflexion. Le capteur solaire SCT a utilisé un nouveau contact métal-eau pour améliorer la capacité de transfert de chaleur, une analyse comparative des capteurs solaires SCT et des capteurs à tubes sous vide (ETC) sans concentration en termes de taux de collecte d'énergie et d'efficacité a également été réalisée et rapportée, le capteur solaire SCT atteint une efficacité et une puissance de sortie totale similaires en utilisant la moitié du nombre de tubes par rapport à l'ETC, plus précisément, la puissance de sortie par tube sous vide est augmentée d'environ 60% par incorporation dans le bac réfléchissant semi-circulaire. Les résultats expérimentaux montrent qu'une température de sortie d'eau glacée d'environ 10 °C à 15 °C, adaptée à la climatisation, peut être maintenue pendant plusieurs heures, même dans des conditions d'ensoleillement partiellement nuageux et décroissant, la puissance de refroidissement est obtenue en grande partie parce que le SCT peut capturer efficacement la lumière diffuse et convient donc à une utilisation dans toutes les conditions météorologiques. cette étude montre qu'il est possible de piloter un refroidisseur à absorption $\text{NH}_3\text{H}_2\text{O}$ à effet unique (voir la Figure I.20).

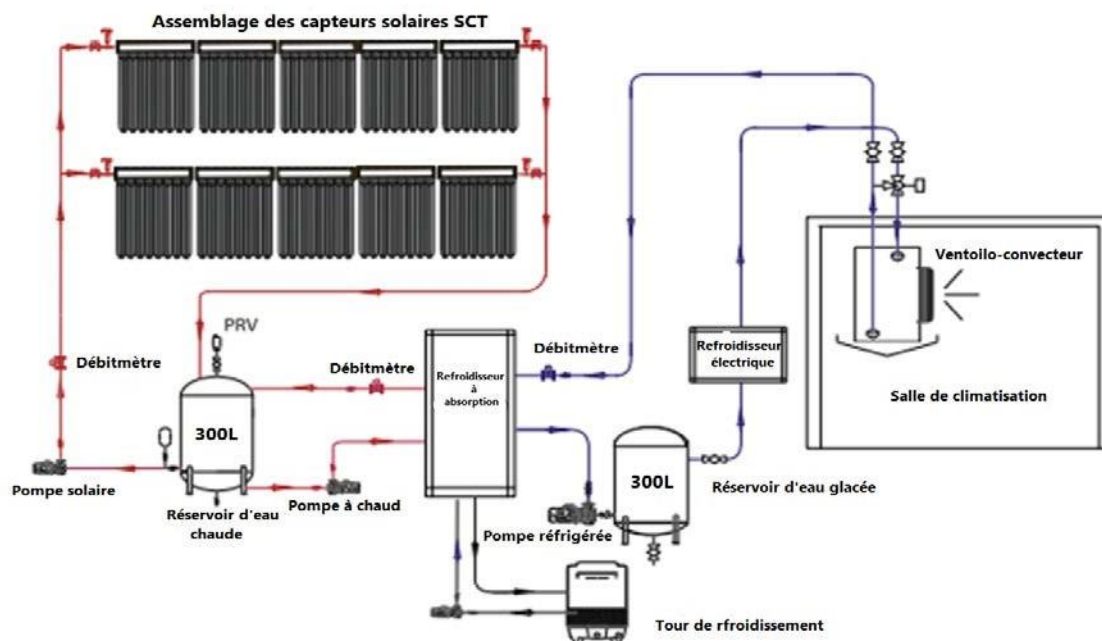
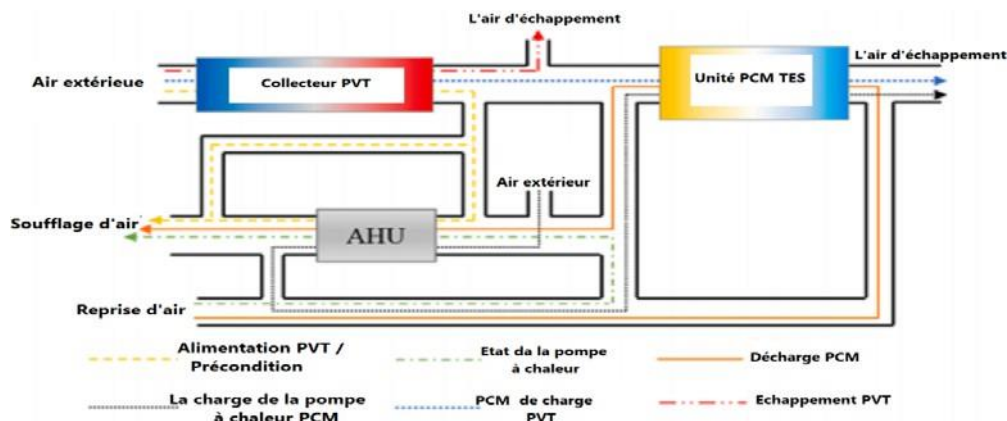


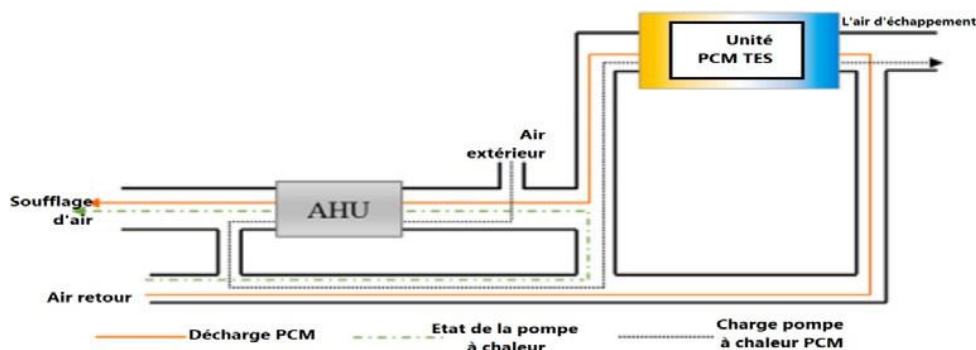
Figure I.20 : Détail schématique du système de climatisation solaire composé de 10 capteurs solaires SCT, d'un refroidisseur à absorption simple effet $\text{NH}_3/\text{H}_2\text{O}$, de réservoirs d'eau chaude/froide et d'une tour de refroidissement.

En 2021, Haoshan Ren et al.[19] fait la flexibilité et les performances énergétiques d'une maison à énergie nette zéro (NZE) utilisant un chauffage, une ventilation et une climatisation à énergie solaire comme le montre la Figure I.21 (CVC) avec système thermique de stockage d'énergie (TES), solaire photovoltaïque. Les stratégies de capteurs thermiques (PV/T) et de gestion de la demande (DSM) ont été étudiées dans cette étude, un système de simulation de la

maison NZE a été développé à l'aide de TRNSYS pour évaluer ses performances sous une variété de conditions. 40 conceptions alternatives du CVC à système solaire assistance avec TES ont été formulés en épuisant la combinaison de deux principaux composants, y compris les collecteurs PV/T et une unité TES à matériau à changement de phase (PCM), et quatre stratégies DSM, y compris la surchauffe refroidissement, préchauffage/refroidissement, relâchement du point de consigne de température et chauffage pompe de charge TES, plusieurs indicateurs de performance ont été utilisés pour évaluer la flexibilité énergétique. La performance économique et les performances de confort de la maison, l'analyse TOPSIS a été utilisée pour évaluer la performance globale du système. Les résultats obtenus ont montré que la flexibilité énergétique et le confort thermique dès la maison NZE ont été fortement influencés par l'utilisation du PCM TES l'unité, le collecteur PV/T et/ou les stratégies DSM, y compris le préchauffage/refroidissement, le TES de charge de la pompe à chaleur et le point de consigne de température relaxation, une contribution solaire de la pompe à chaleur proche de 1,0 a été obtenue en certaines conceptions qui utilisaient la stratégie TES et DSM de la pompe à chaleur chargeant le TES, alors qu'il diminuait à 0,38 lorsque le PV/T, le TES et le DSM stratégie n'ont pas été utilisées, cependant, l'utilisation de la stratégie TES et DSM pourrait augmenter également la consommation d'énergie de la pompe à chaleur d'environ 280 kWh à 1 380 kWh, un compromis entre la contribution solaire et la consommation d'énergie doit être prise en compte dans la conception des maisons NZE, l'importation maximale de 1 % du réseau variait dans une fourchette de 2,83 à 3,05 kW.



a) Groupe de conception I



B) Groupe de conception II

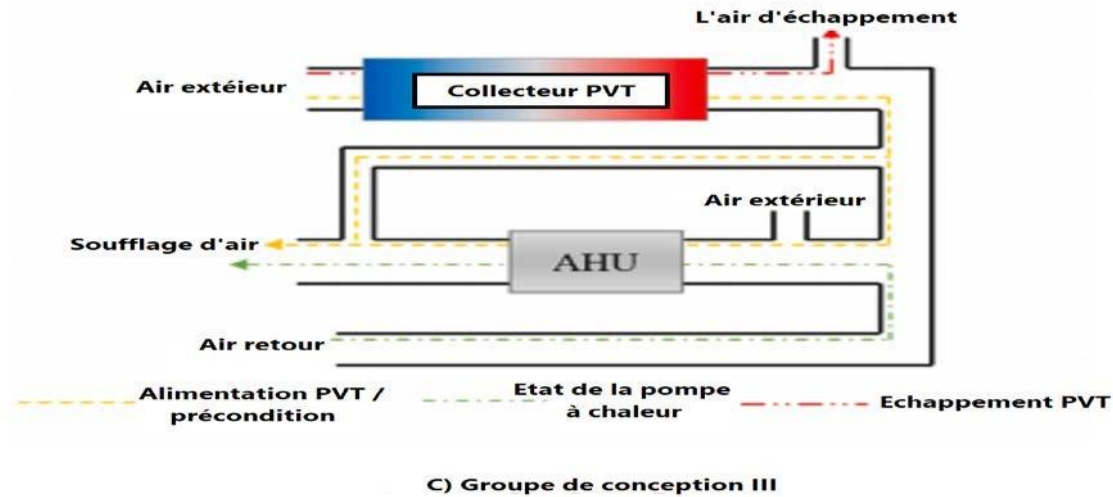


Figure I.21 : Schémas du système CVC à assistance solaire des groupes de conception I, II et III.

Plus récemment, En 2021, Guoliang Li et al. [20] ont conçu et construit et testé un climatiseur alimenté par PV comme le montre la figure I.22 sans batteries, l'efficacité et la stabilité de fonctionnement du système ont été améliorées et le stockage thermique à glace est complètement remplacé les batteries de stockage de l'énergie solaire. Les principales conclusions tirées sont les suivantes:

- 1- Le rendement énergétique moyen PV-compresseur (PPE) et coefficient de performance (COP) ont été améliorés en réduisant le rapport de puissance, en conséquence, le rapport de stabilité de fonctionnement (OSR) du compresseur a été réduit.
- 2- Le système avec un contrôleur MPPT a montré une bonne capacité de fabrication de glace et un fonctionnement fiable ainsi qu'une grande amélioration des caractéristiques de démarrage des compresseurs, il reste le fonctionnement stable lorsque l'irradiance solaire était supérieure à 148 W/m^2 , L'EPI moyen du système avec le contrôleur MPPT a atteint 0,124, ce qui s'est amélioré de 81,7 % par rapport à celui du système sans contrôleur MPPT.
- 3- La puissance de sortie moyenne est maximale du compresseur ordinaire était inférieure à 34,86 % et 33,64 % correspondant à celles du compresseur à vitesse variable, le variable de la vitesse du compresseur était plus adaptative pour le refroidissement par PV.
- 4- Le COP le plus élevé du système a atteint 0,289 lorsque l'irradiance totale cumulée quotidienne était de $18,2 \text{ MJ/m}^2$ à Kunming, en Chine, le système avec un compresseur à vitesse variable et un contrôleur MPPT a montré une très bonne capacité de fabrication de glace et un fonctionnement fiable.

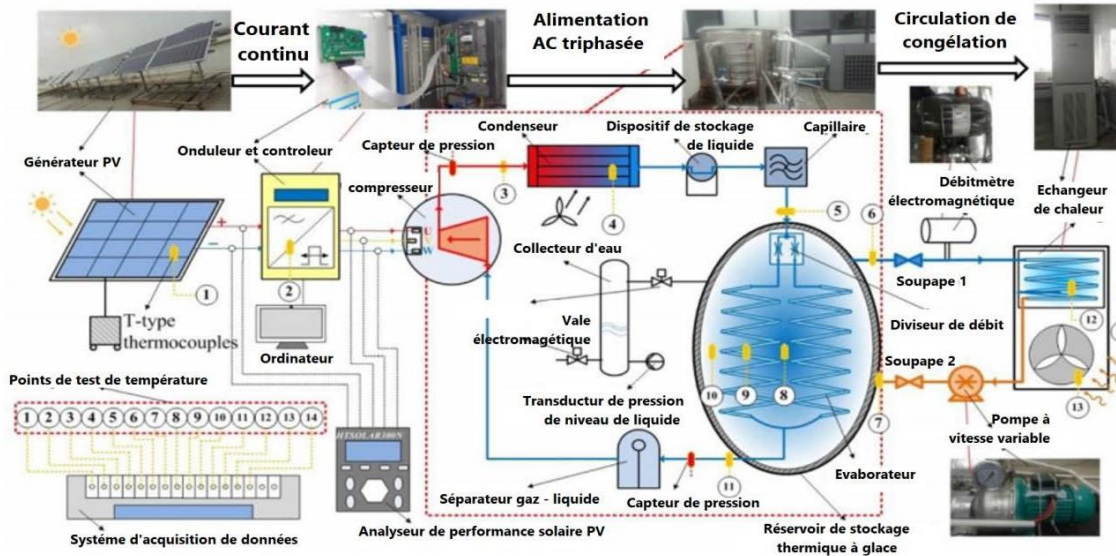


Figure I.22 : Schéma de principe du climatiseur alimenté par PV.

Dans la même année, M. Kumar et Devendrakumar P, [21] Ils prétendent les climatiseurs hybrides solaires disponibles dans le commerce pour économiser de l'électricité en ayant un compresseur plus long temps d'arrêt dans son fonctionnement. il est proposé d'atteindre cet objectif en chauffant à volume constant la vapeur de réfrigérant dans un échangeur de chaleur après le compresseur, ce qui semble violer la première loi de la thermodynamique, à moins qu'il n'y ait des vannes de régulation de débit appropriées pour assurer le chauffage à volume constant.

Cette étude expérimentale est suivie d'une analyse théorique du système de climatisation solaire hybride comme présente à la figure I.23. L'objectif de cette étude est d'évaluer le potentiel d'économie d'énergie réel du système par rapport au système conventionnel. dans son mode de fonctionnement du compresseur continu et marche-arrêt. Les résultats ont montré qu'en mode continu de fonctionnement du compresseur, il n'y a pas d'économie d'énergie. Le compresseur a consommé une puissance de 800 W produisant le même effet de réfrigération de 1,2 kW aussi bien en mode hybride qu'en mode conventionnel, cela a montré qu'il n'y a pas de compression à deux étages se produisant en fonctionnement continu du compresseur comme revendiqué par la littérature. Dans le fonctionnement en mode marche-arrêt du système il y a peu d'économie d'énergie de 1,3% contre une moyenne de 30% revendiquée dans la littérature cela peut être dû au fait qu'un volume constant approprié n'a pas lieu dans le système, un système modifié avec électrovanne unidirectionnelle installée sur l'échangeur de chaleur sortie a été analysée théoriquement. Les résultats montrent un potentiel d'économie d'électricité moyen de 30 % dans cette configuration du système hybride.

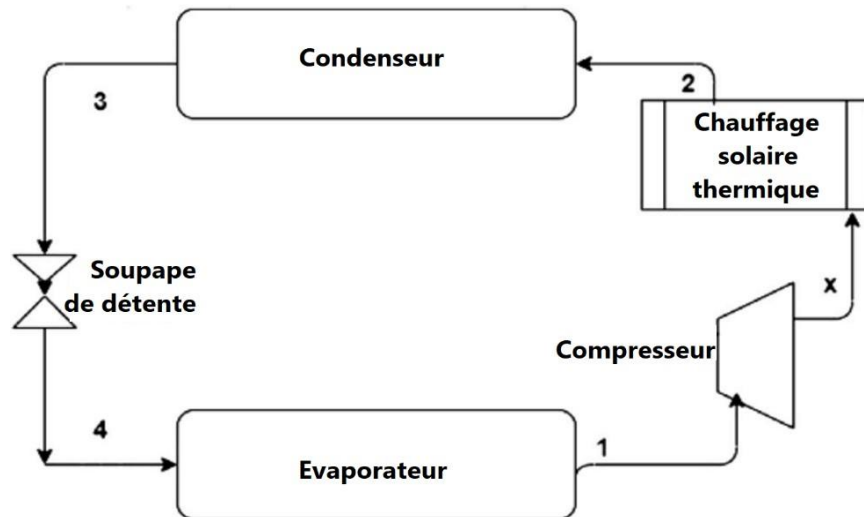


Figure I.23 : Climatisation solaire hybride.

D'autres chercheurs en 2022 comme Alani et al. [22] ont utilisé un système de climatisation solaire et ont considéré comme une étape importante dans le domaine du refroidissement et du chauffage, ainsi que dans l'exploitation des énergies renouvelables. Les méthodes sophistiquées d'utilisation de l'énergie solaire dans la climatisation (a/c) Figure I.24 reçoivent un intérêt pour les constructeurs automobiles. Ce système de climatisation solaire offre des performances élevées, une bonne efficacité, une économie d'énergie, un coût économique acceptable et une longue durée de vie. En outre, la nouvelle conception du système de climatisation solaire peut largement contribuer à l'économie d'énergie dans les véhicules légers et lourds et contribue ainsi à la réduction de la consommation d'énergie primaire. Ils ont constaté que la climatisation solaire est le système le plus avantageux sur les émissions et la réduction du BSFC que le système de climatisation conventionnel, ce qui améliore les performances du moteur et économise la consommation d'énergie. Selon les résultats de la conception écologique du système de climatisation solaire, les principales conclusions sont les suivantes :

- 1- L'analyse comparative de la nouvelle conception du système de climatisation donne la possibilité d'utiliser l'énergie solaire comme source au lieu de l'énergie conventionnelle (l'énergie du moteur).
- 2- Ils ont conclu que la quantité d'énergie électrique produite par le système de panneaux solaires (PV) par une journée ensoleillée est suffisante pour faire fonctionner le système de climatisation et charger la batterie de la voiture pendant la durée du test.
- 3- La nouvelle conception du système de climatisation solaire a contribué à l'économie d'énergie dans les véhicules légers et lourds, réduisant ainsi la consommation du carburant et l'énergie primaire.
- 4- L'efficacité du système de refroidissement dans le système de climatisation solaire est supérieure à l'efficacité du chauffage car le système a été conçu et fabriqué en se concentrant sur les propriétés de refroidissement que de chauffage en raison des conditions climatiques de

la ville de Chengdu. De plus, une efficacité élevée pourrait être due au temps de réponse élevé du processus de refroidissement par-rapport au chauffage.

Enfin, le système de climatisation solaire est un système très économique, très efficace et respectueux de l'environnement où les températures peuvent atteindre 20°C en une demi-minute, tandis que 49,2 °C en cas de chauffage dans un délai plus long, l'avantage de cette conception est possible d'avoir une meilleure compréhension de la consommation d'énergie de la climatisation, de réduire à la fois la consommation de carburant et de diminuer les émissions de moteur.

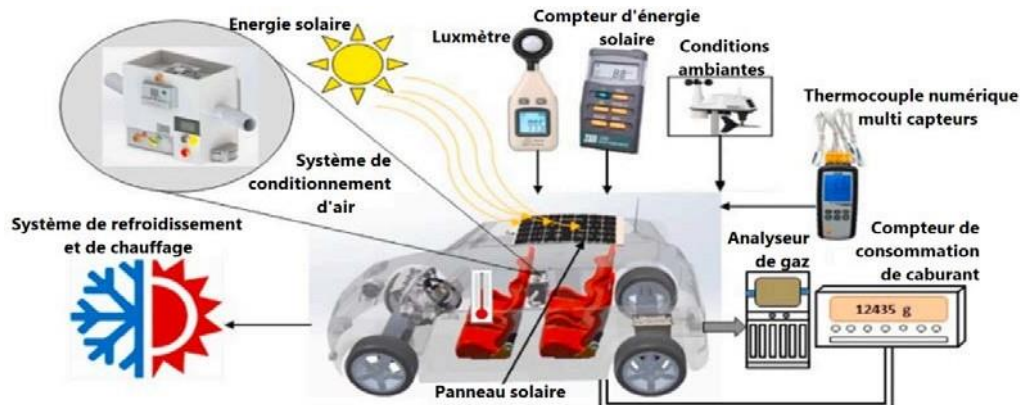


Figure I.24 : Schéma du système de climatisation et des outils utilisés dans cette étude.

Dans la même année, Saeed Alqaed et al. [23] ont étudié et simulé une pièce avec un aérateur solaire, et étudié l'effet de l'utilisation de PCM sur le mur au lieu du mur en béton. Ont modifié dans cette approche les propriétés du PCM, et ses valeurs appropriées pour le SOW, comme sur la figure I.25, de plus, ont été vérifié le nombre de climatisations dans la chambre pour les deux murs pendant le jour et la nuit, les résultats de cet étude ont montré:

- 1- L'utilisation de PCM avec une conductivité plus élevée entraîne une augmentation du nombre de ventilations pendant la journée et la nuit et un flux plus uniforme dans la pièce.
- 2- L'utilisation d'un mur avec PCM, avec une épaisseur plus épaisse, peut créer plus de ventilation dans la pièce pendant la nuit, l'utilisation d'une épaisseur de paroi de 10 cm convient à cet effet.
- 3- L'utilisation de PCM avec une température de fusion latente plus élevée entraîne une augmentation du nombre de climatiseurs pendant la nuit et augmente également l'uniformité de l'air dans la pièce.
- 4- L'utilisation d'un mur avec PCM, au lieu d'un mur en béton, provoque la climatisation de la pièce même toute la nuit, il crée également une uniformité de l'air dans la pièce à différentes heures.
- 5- L'utilisation d'un mur PCM dans un aérateur solaire au lieu d'un mur en béton réduit la différence de température entre l'air et le mur à midi, mais augmente la différence de température pendant la nuit.

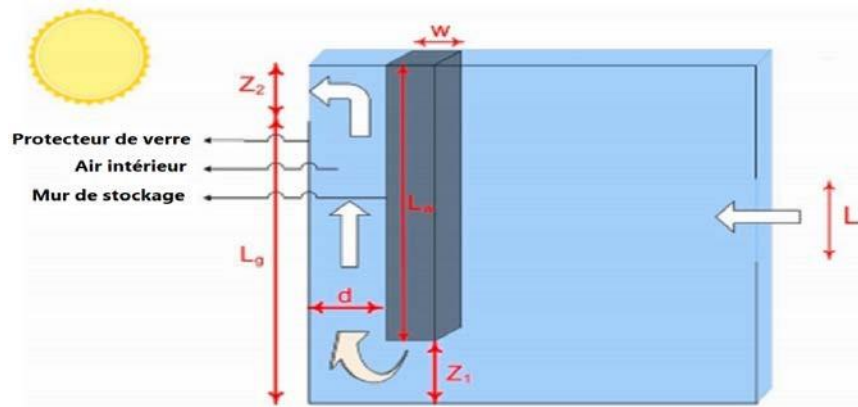


Figure I.25 : Schéma de l'EDT à l'étude avec sa chambre.

I.3 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présentée diverses étude bibliographique sur les technologies de climatisation solaire à absorption, les principes de fonctionnement et les descriptions des différents composants d'une unité de climatisation solaire il prend également en compte les avantages et les inconvénients liés à son utilisation. Les publications, livres, rapports d'activités de thèses, mémoires et notes techniques sont les sources d'information utilisées. La technologie de climatisation à absorption, qui définit un ensemble de méthodes de climatisation utilisant l'énergie solaire comme source d'énergie primaire dans le but de refroidir l'air d'une surface ou d'un volume donné à l'aide d'un système d'absorption couplé à l'énergie solaire, capteurs thermiques, les réfrigérants utilisés ont peu d'impact sur l'environnement et contribuent à réduire les émissions. Et à partir de là, dans le deuxième chapitre, nous discuterons des parties d'un climatiseur solaire

CHAPITRE II :
GENERALITE SUR LES DIFFERENTS
PARTIES D'UN CLIMATISEUR SOLAIRE.

CHAPITRE II: GENERALITE SUR LES DIFFERENTS PARTIES D'UN CLIMATISEUR SOLAIRE.

II. 1. INTRODUCTION :

L'introduction d'autres technologies qui permettent l'utilisation de la climatisation en utilisant une énergie autre que l'électricité, non seulement attractif, mais il est devenu nécessaire d'utiliser l'énergie solaire dans l'unité de climatisation.

Cependant, le sujet de la recherche et du développement est toujours à l'étude sur la façon de produire du froid à l'aide de l'énergie solaire, dans ce contexte, à travers ce chapitre, nous tenterons d'aborder la question des technologies de climatisation solaire.

II. 2. DESCRIPTION DES TECHNOLOGIES DE CLIMATISATION SOLAIRE :

Plusieurs aspects peuvent être utilisés pour produire du froid à l'aide de l'énergie solaire, et comme nous le savons, l'air traditionnel a de nombreux effets négatifs sur l'environnement, qui doivent être réduits et remplacés par un refroidissement grâce à l'énergie solaire respectueuse de l'environnement, dans la figure (II.1), les technologies actuellement testées sont indiquées en bleu, tandis que les technologies disponibles dans le commerce sont indiquées en gris [24].

La production de froid doit suivre plusieurs voies d'utilisation de l'énergie solaire, la première passe à l'électricité, la deuxième porte sur l'utilisation d'un procédé thermomécanique et la troisième sur des cycles basés sur l'absorption de gaz. Toutes les technologies utilisées sont représentées sur la figure (II.1) en bleu celles qui sont actuellement testées sur une échelle réelle, et en gris sont des technologies disponibles dans le commerce [25]. La climatisation solaire Figure (II.2), production et assurance énergétique du refroidissement de la forme du bâtiment. L'énergie thermique fournie par le système solaire doit être utilisée de deux manières :

- Le premier lors de l'utilisation de machines de production de froid
- Le second est le traitement de l'air.

La pollution sonore du compresseur est éliminée grâce à l'utilisation d'un réfrigérant inoffensif car il ne s'agit que d'eau et de saumure.

Cependant, ne pas prévoir de compresseur mécanique peut éviter les vibrations, car ces machines ont une réparation limitée et ont également une durée de vie plus longue.

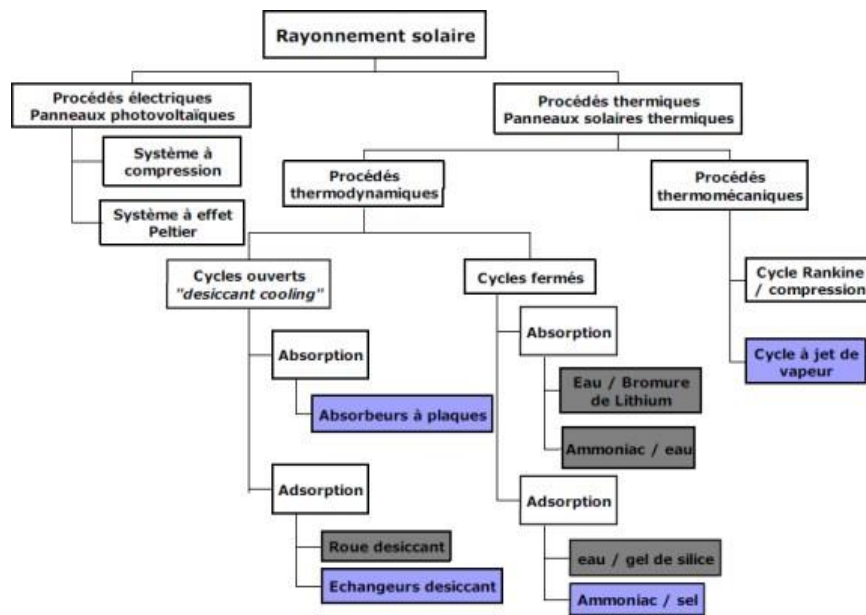


Figure II.1: Organigramme des différentes technologies de production de froid à partir de l'énergie solaire.

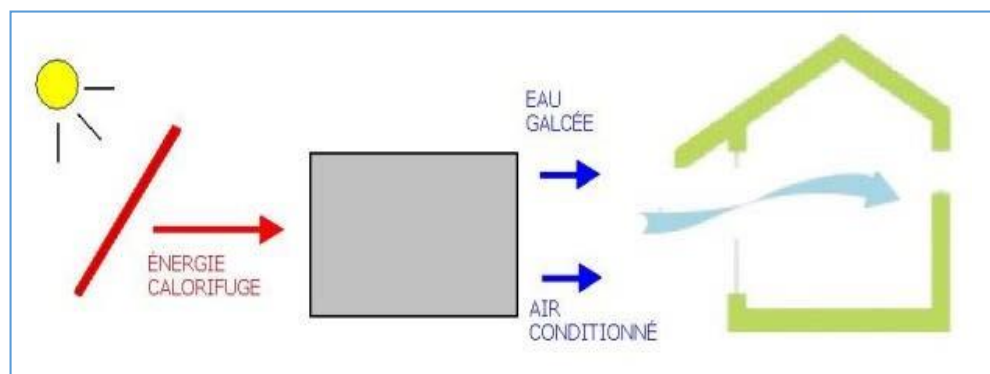


Figure II.2 : Schéma de la climatisation solaire.

II. 2. 1. TECHNIQUES BASEES SUR L'EMPLOI DE L'ELECTRICITE :

Les systèmes de réfrigération basés sur l'énergie peuvent être utilisés dans les technologies de production de réfrigération utilisant l'énergie solaire. L'énergie solaire est convertie en électricité en travaillant sur des capteurs photovoltaïques, et dans ces conditions, deux types de systèmes sont utilisés [26]:

- Systèmes de compression Figure (II.3) : Pour générer du froid, un cycle de compression conventionnel est utilisé. Dans le froid, l'approche traditionnelle est toujours utilisée.
- Systèmes à effet Peltier : L'effet Peltier, également connu sous le nom d'effet thermoélectrique, est un phénomène physique qui se produit lorsqu'un courant électrique traverse deux types différents de matériaux conducteurs au contact.

Ce phénomène empêche le développement d'une forte force froide et le rend donc impossible.

Ces deux systèmes sont freinés par l'utilisation de capteurs solaires à faible rendement nominal (de l'ordre de 12 %) et à coût élevé, ce qui empêche leur développement à l'heure actuelle.

La puissance spécifique d'un compresseur étant de l'ordre de 100 à 130 W/m², il nécessite une large surface de captage.

De plus, le stockage de l'électricité est à la fois coûteux et peu pratique. Lorsqu'il est associé à un système de compression de vapeur traditionnel, le principal avantage de l'utilisation de panneaux solaires pour la réfrigération est la construction simple et le rendement global élevé.

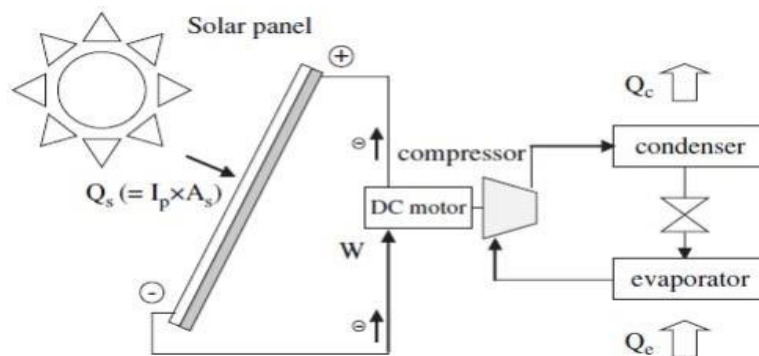


Figure II.3 : Schéma de principe d'un climatiseur solaire électrique de compression.

II. 2. 2. TECHNIQUE BASEE SUR UN PROCESSUS THERMOMECHANIQUE:

L'énergie solaire est utilisée comme source de chaleur dans une machine qui produit un travail mécanique, qui est ensuite utilisé pour produire du froid, à l'aide de capteurs solaires thermiques, pour paraphraser :

- Cycle de Rankine : La chaleur récupérée déplace un fluide qui à son tour entraîne une turbine qui génère de l'électricité, cette force peut être travaillée dans un cycle de compression classique.
- Cycle de jet de vapeur : Un jet de vapeur à haute vitesse est créé en utilisant la chaleur, ce jet génère une goutte dans les banlieues environnantes, ce qui permet à l'eau de s'évaporer à plus basse température dans l'évaporateur et de refroidir l'atmosphère, la vapeur est ensuite refroidie dans le condenseur avant de rejoindre le flux primaire « moteur ».

Ces technologies fonctionnant avec l'énergie solaire, et en particulier le cycle à jet de vapeur, sont encore en cours de recherche.

II. 2. 3. TECHNIQUE BASEE SUR LA SORPTION D'UN GAZ :

La sorption est le processus par lequel un matériau se lie ou s'intègre dans une autre substance dans un état physique différent.

Les seules techniques disponibles dans le commerce sont celles qui utilisent ce phénomène physique.

Plusieurs articles présentent l'état actuel de ces technologies.

A. LA MACHINE A ABSORPTION [24] :

Une machine à simple effet fonctionne de la même manière qu'un système à compression traditionnel, avec un fluide frigorigène qui se vaporise à basse température (production de froid) et se condense à des températures plus élevées (production de chaud) (rejet de chaleur).

Le compresseur thermochimique (l'absorbeur/ l'absorbeur) est compensé par le compresseur mécanique et utilise un réfrigérant/absorbant (saumure) en plus de la source de chaleur motrice.

Lorsque la température de la source froide est supérieure à 5°C, le couple eau/bromure de lithium est couramment utilisé en climatisation solaire.

La cristallisation de la solution doit être évitée avec un système (H₂O/LiBr) en gérant la température de refroidissement, la Figure (II.4).

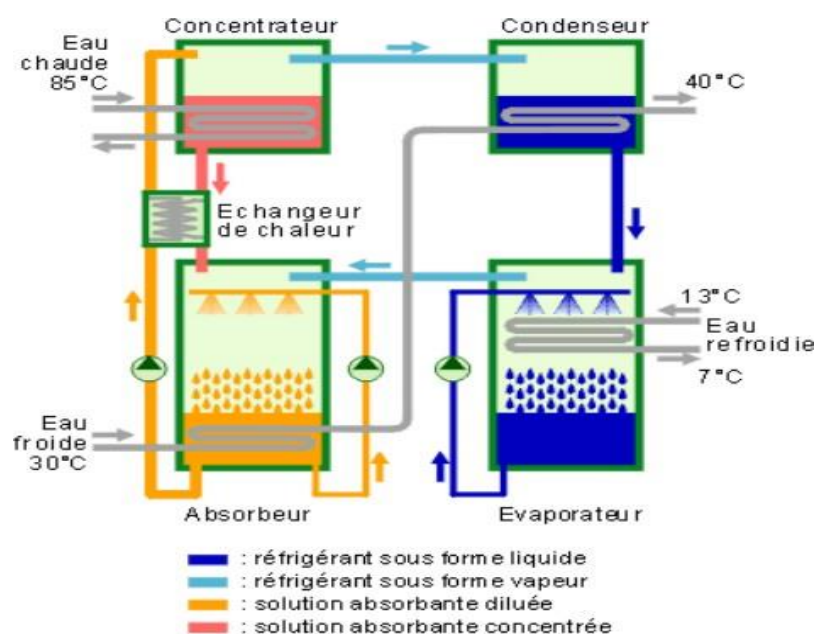


Figure II.4 : Schéma de fonctionnement d'une machine à absorption pour le couple Eau/Bromure de Lithium (LiBr).

La source chaude a une plage de température de 80 à 100 degrés Celsius. Le coefficient de performance thermique est d'environ 0,7 dans des conditions de fonctionnement idéales. L'efficacité des équipements d'absorption a été grandement améliorée. Ils ont conduit à des machines à double effet pouvant atteindre des valeurs de COP_{th} de 1 à 1,2 avec des températures de génération de l'ordre de 130°C à 160°C, c'est-à-dire des capteurs avec la concentration de rayonnement solaire suivante.

Ces machines à double effet à énergie solaire sont encore une application pratique et impressionnante en termes d'efficacité, mais les températures de fonctionnement sont marginales.

De nombreux constructeurs proposent désormais des machines à absorption simple effet avec des capacités allant de 15 KW à des centaines de KW.

Aujourd'hui, on assiste à de nombreux travaux de recherche et développement sur de petits dispositifs à absorption fonctionnant à l'énergie solaire et destinés au marché domestique.

B. LA MACHINE A ADSORPTION :

L'adsorption se produit lorsqu'un gaz ne se dépose pas dans un liquide mais plutôt sur une substance très poreuse, cette capacité des matériaux tels que les gels de silice ou les zéolithes est employée dans les machines pour réaliser le cycle de refroidissement en les couplant avec de la vapeur d'eau la figure (II.5).

L'utilisation de matériaux solides nécessite une action cyclique et discontinue, semblable à l'absorption.

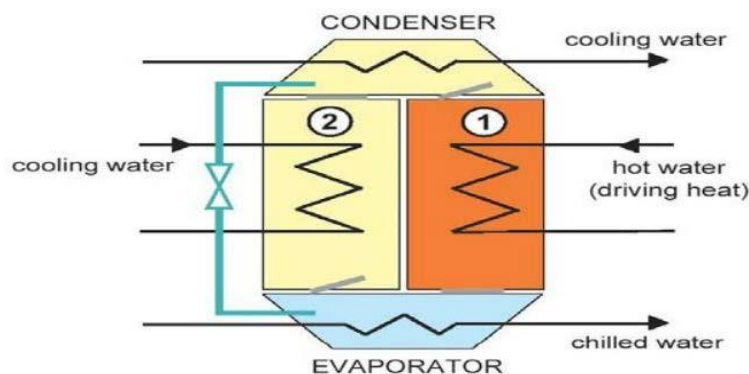


Figure II.5 : Schéma de groupe frigorifique à adsorption.

La source chaude chauffe alternativement deux masses de matériaux adsorbants pour désorbier la vapeur d'eau qui se condense alors dans le condenseur.

L'eau est ensuite évaporée dans l'évaporateur, ce qui entraîne la production de froid, la vapeur d'eau s'adsorbe alors sur le matériau adsorbant, relançant le cycle.

Les machines d'adsorption en sont encore à leurs balbutiements, se concentrant sur les applications de forte puissance à partir de 70 KW, environ 0,6 est le COP_{th}, des recherches sont actuellement en cours pour améliorer le caractère cyclique de ces matériaux, qui provoque de nombreuses instabilités, ainsi que leur compacité et leur densité de puissance.

II. 2. 4. LA DESSICCATION :

Les systèmes de refroidissement des sécheurs sont utilisés pour générer de l'air frais directement au lieu de refroidir l'eau dans une boucle de refroidissement comme dans les machines décrites ci-dessus.

Par conséquent, ils ne peuvent être utilisés que si la pièce est climatisée avec un appareil de traitement d'air (AHU).

Le refroidissement déshydratant est donc un cycle ouvert, dans lequel l'air aspiré dans un espace est refroidi principalement par l'utilisation de l'eau et de son potentiel de changement de phase, le flux d'air ventilé est déshydraté dans une roue déshydratante (roue composée d'une matrice circulaire en fibre de verre ou en aluminium sur laquelle est déposé le matériau

déshydratant) ou dans un lit dans lequel une solution déshydratante est vaporisée, puis refroidie dans un échangeur, et enfin humidifiée de manière adiabatique dans un laveur d'air pour maximiser l'effet de la chaleur latente de vaporisation de l'eau.



Figure II.6 : Schéma d'une machine à dessiccation.

Le COP_{th} est d'environ 0,5, le taux de renouvellement d'air limite la puissance de refroidissement, en conséquence, ce système doit être utilisé dans des bâtiments avec des exigences modestes ou pour des applications de refroidissement de base. La figure (II.15) montre les principaux composants du système.

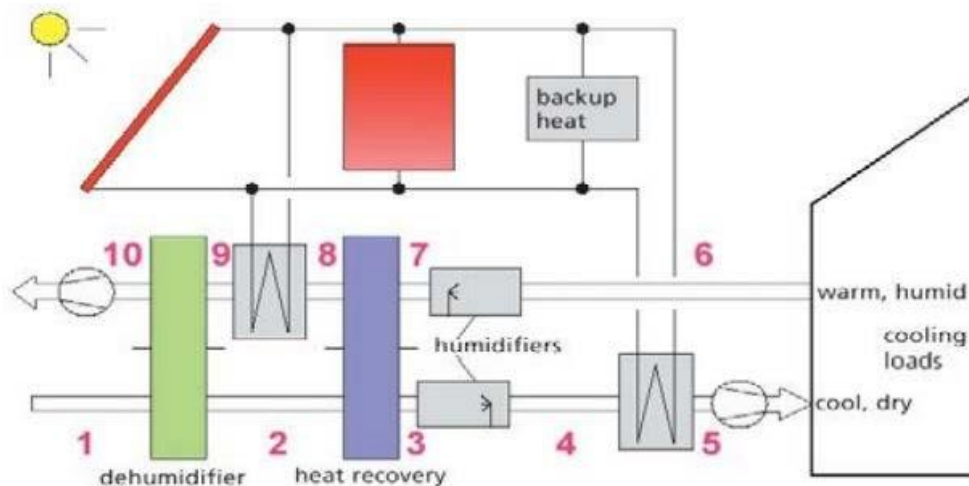


Figure II.7 : Schéma de principe d'un système à dessiccation.

La procédure de base pour la climatisation est la suivante : l'air entrant chaud et humide est déshumidifié après avoir traversé une roue déshydratante à rotation lente (1-2), du fait des phénomènes d'adsorption, l'air est d'abord refroidi via un échangeur de chaleur (roue métallique en nid d'abeille en rotation : (2-3), l'air est ensuite humidifié et donc refroidi dans un humidificateur (3-4), permettant au degré d'humidité et de température nécessaires pour l'air neuf à régler.

L'air de retour de la pièce est humidifié jusqu'à ce qu'il atteigne son point de saturation (6-7), de sorte que l'échangeur de chaleur puisse bénéficier d'une grande quantité de refroidissement (7-8).

Enfin, la roue déshydratante doit être régénérée (9-10), ce qui nécessite l'application de chaleur à un niveau de température relativement modéré (50° à 75°C), permettant la poursuite du processus de déshumidification.

II. 2. 5. TRIGENERATION THERMO-SOLAIRE :

Dans le système de production d'énergie solaire combiné, nous pouvons utiliser des systèmes de climatisation solaire, qui est un système hybride qui permet une triple génération intégrée. Il existe trois technologies distinctes pour produire de l'électricité, de la chaleur et du froid à la fois en utilisant l'énergie solaire, en plus de la cogénération avec des moteurs à combustion fossile, des refroidisseurs solaires et des refroidisseurs à absorption.

L'énergie thermique d'un champ solaire combine l'énergie récupérée par cogénération avec une forte réduction de l'énergie primaire nécessaire (fuel) et des émissions de polluants ; cet avantage est utilisé pour le chauffage en hiver et le traitement en été (réalisé, comme mentionné, par un équipement de réfrigération à absorption), la figure(II.8) représente le schéma principal d'une centrale hybride thermo-solaire de trigénération.

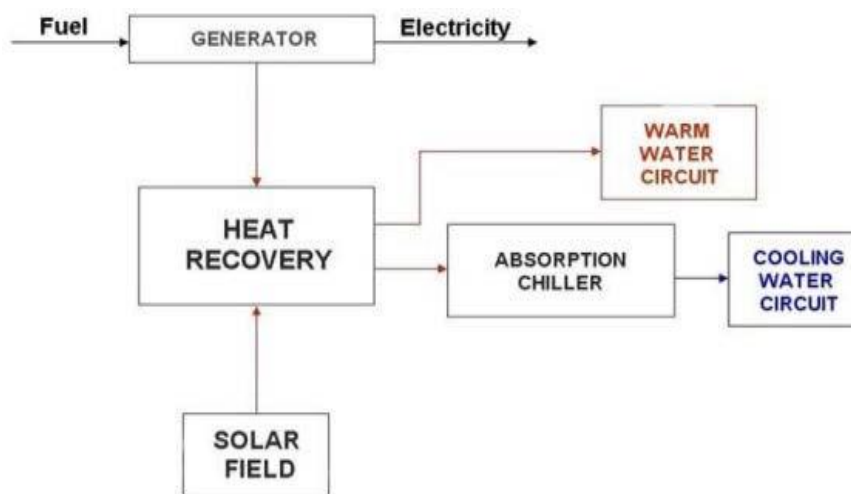


Figure II.8: Arrangement de général d'une usine thermo-solaire hybride de trigénération.

Dans le cas du fonctionnement d'une usine de trigénération, la demande de chauffage et de refroidissement est souvent très élevée à divers moments de l'année, et la chaleur récupérée à partir de l'huile de lubrification, des chemises d'eau et des gaz d'échappement des moteurs est insuffisante pour couvrir la demande, ainsi, l'intégration de l'énergie thermique est nécessaire, cela peut être accompli avec un liquide chauffé par le rayonnement solaire et directement capturé par des concentrateurs solaires paraboliques ou des collecteurs plats à haute température.

Pour alimenter le circuit d'eau chaude, la chaleur obtenue est utilisée qui alimente un refroidisseur à absorption pour produire de l'eau glacée (climatisation été) ou chauffer les unités terminales (hiver).

II. 3. DESCRIPTION DU SYSTEME SOLAIRE:

Le rayonnement solaire fournit l'énergie thermique nécessaire au fonctionnement de ces systèmes, l'énergie solaire est collectée à l'aide d'un champ de capteurs, sa surface va de quelques mètres carrés pour les petites installations à 2700 m² de capteurs pour la plus grande centrale de refroidissement solaire de Grèce (activité SARANTIS) [27].

La captation de l'énergie solaire est pratiquée depuis l'Antiquité, les miroirs ont été utilisés comme les premiers dispositifs primitifs, concentrant les faisceaux lumineux sur un four.

Les capteurs solaires thermiques sont un type d'échangeur de chaleur qui convertit l'énergie solaire en chaleur, puis la transfère à un fluide caloporteur, la chaleur ainsi récupérée est soit valorisée immédiatement, soit stockée dans un accumulateur de chaleur.

II. 3. 1. LES CAPTEURS SOLAIRES:

Les capteurs fixes et les capteurs solaires suiveurs, qui utilisent un dispositif motorisé pour suivre la trajectoire du soleil, sont les deux types de capteurs solaires, des températures élevées sont produites par ces derniers, qui ne sont pas prises en compte par la technologie actuelle de climatisation solaire.

Les capteurs solaires se distinguent par leur efficacité qui se définit comme le rapport entre l'énergie solaire captée à la surface du capteur et l'énergie délivrée au fluide.

En fonction de la température extérieure, ainsi que de la température moyenne du fluide responsable du transfert de chaleur, et sans oublier également le rayonnement solaire au sol, toutes les choses que nous avons mentionnées sont responsables de leur efficacité.

Les capteurs solaires fixes sont constitués d'un absorbeur qui, en raison de sa capacité d'absorption élevée et de sa faible émissivité, est responsable du stockage de la plus grande quantité d'énergie solaire.

De plus, la présence de verre entre l'air extérieur et l'absorbeur laisse passer pratiquement toute la lumière de courte longueur d'onde alors que les grandes longueurs d'onde émises par l'absorbeur ont une perméabilité de 0 %.

De ce fait, le verre génère un effet de serre tout en évitant simultanément les pertes par convection, il existe quatre types distincts d'effets de capteurs solaires fixes :

- **LES CAPTEURS A AIR :**

Ils sont utilisés pour le chauffage direct de l'air, souvent pour le préchauffage de l'air frais, ils sont utilisés lorsque la température prévue n'est pas particulièrement élevée (70°C), car l'efficacité diminue considérablement à mesure que la température de l'air de refroidissement augmente, l'avantage de ce capteur est son faible coût ainsi que sa facilité d'installation.

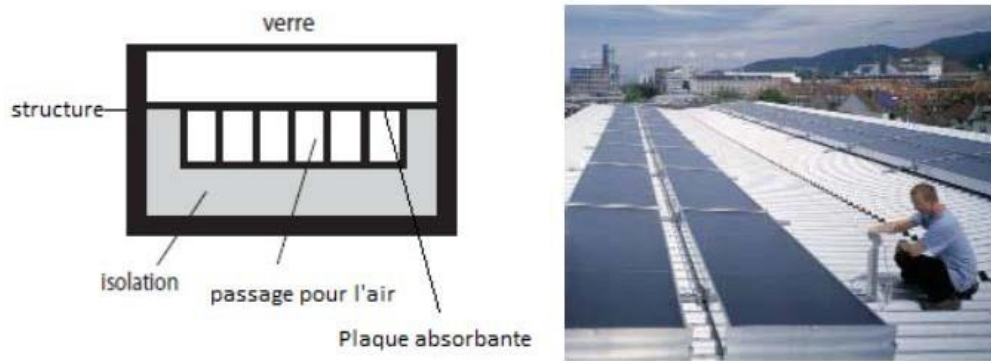


Figure II.9 : Vue générale d'un capteur à air [28].

Le premier objectif est toujours d'améliorer le coefficient d'échange de chaleur, et les ailettes de l'absorbeur en sont les premières responsables, et ces capteurs sont très adaptés pour fonctionner dans le système de refroidissement par absorption.

- LES CAPTEURS PLANS :

Ces capteurs donnent la température du fluide chargé de transférer cette chaleur (généralement ce fluide est préparé à partir d'eau et de glycol).

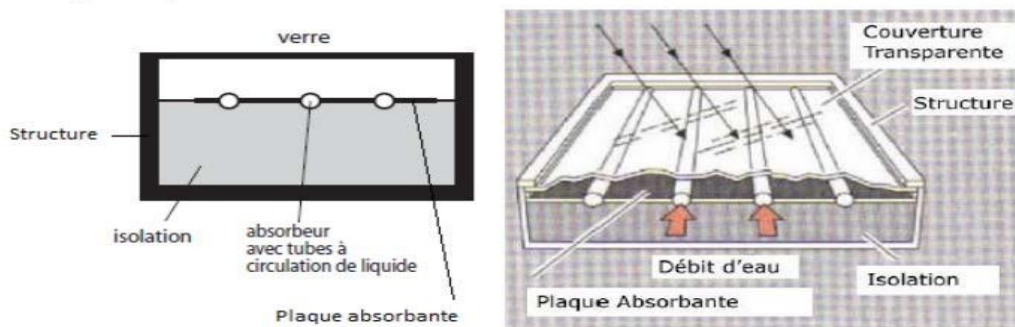


Figure II.10: Vue générale d'un capteur plan et sa coupe verticale [28].

Il se compose d'un absorbant sélectif en plus d'une plaque de verre fabriquée avec des technologies de pointe pour maintenir une bonne efficacité lors de l'utilisation à des températures actuelles de l'ordre de 100 degrés Celsius, il est généralement utilisé pour produire de l'eau chaude dans les maisons.

- LES CAPTEURS A CONCENTRATION FIXES :

Ces capteurs sont considérés comme appartenant aux capteurs plats, mais ils s'en différencient en plaçant un réflecteur devant l'absorbant pour focaliser les rayons du soleil sur celui-ci, ces capteurs sont considérés comme très efficaces lorsque les rayons solaires sont forts, mais ils diminuent cette efficacité lorsque les rayons solaires diminuent, et ces capteurs sont généralement utilisés pour produire de la chaleur.

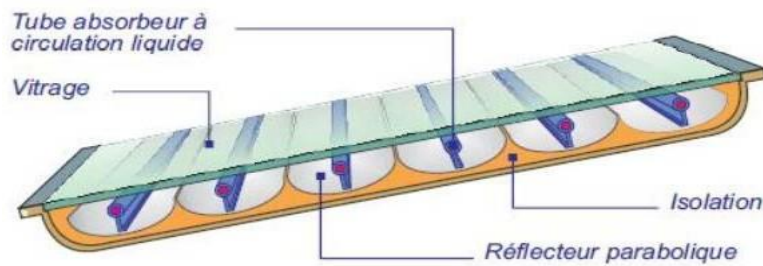


Figure II.11: Vue générale d'un capteur CPC [28].

- **LES CAPTEURS SOUS VIDE :**

Il y a une différence dans la conception de ces capteurs car ils ont un groupe de tubes de verre avec de grands vides, ce qui réduit le taux d'échanges de charge entre le verre et l'absorbeur (situé à l'intérieur du tube).

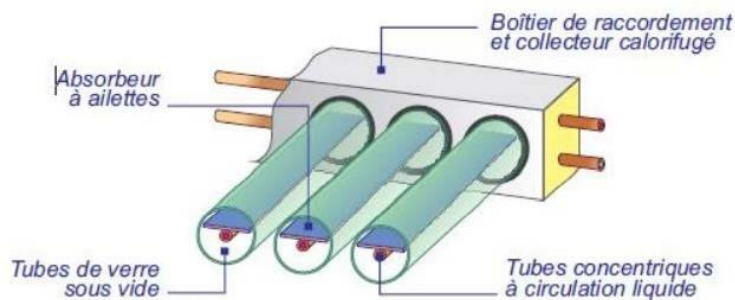


Figure II.12: Vue générale d'un capteur sous vide [28].

Il existe de nombreux capteurs de vide, notamment :

- **Circulation Capteur directe :** Le fluide caloporteur traverse tour à tour chaque tube pour être chauffé. La théorie est simple, mais la fabrication est compliquée en raison des liaisons verre/métal nécessaires à la circulation du fluide caloporteur.
- **Capteur caloduc :** Dans un condenseur, le liquide à l'intérieur du tube est vaporisé et condensé, cédant l'énergie de condensation à un fluide caloporteur circulant au sommet des tubes, étant donné que le circuit du tube et le circuit de champ du capteur ne sont pas couplés, cette conception permet un remplacement rapide du tube.
- **Capteur « Sydney » :** Ils sont fabriqués à partir de deux tubes de verre, l'un dans l'autre, et un vide est formé entre eux après dépôt d'un absorbeur sélectif concentrique sur la paroi externe du tube intérieur, un tube de cuivre creux en forme de U est ensuite inséré entre les deux tubes, permettant un échange de chaleur directement ou via un caloduc.

II. 3. 2. DIFFERENTES GESTIONS DE L'APPOINT ET DU STOCKAGE :

Du fait que la boucle principale, côté capteurs solaires, est constituée d'un mélange glycol et ne peut être combinée avec la boucle secondaire, qui comprend également la quantité d'eau pour le stockage, les circuits d'eau de la boucle solaire sont séparés en deux.

L'échange de chaleur se fait donc grâce à un échangeur noyé dans le ballon de stockage.

Une sauvegarde alimentée par l'énergie achetée est souvent nécessaire.

Cet appoint est activé via un échangeur (ou une broche électrique en cas d'appoint électrique) implanté en partie haute de la cuve, après quoi une sonde vérifie la température de soutirage et active l'appoint, une autre option consiste à se maquiller après le tirage.

Un capteur mesure la température en sortie de ballon, et ordonne le fonctionnement de l'appoint qui porte le fluide à la température souhaitée grâce à un échangeur de chaleur secondaire, ces différentes configurations sont récapitulées à la figure(II.13).

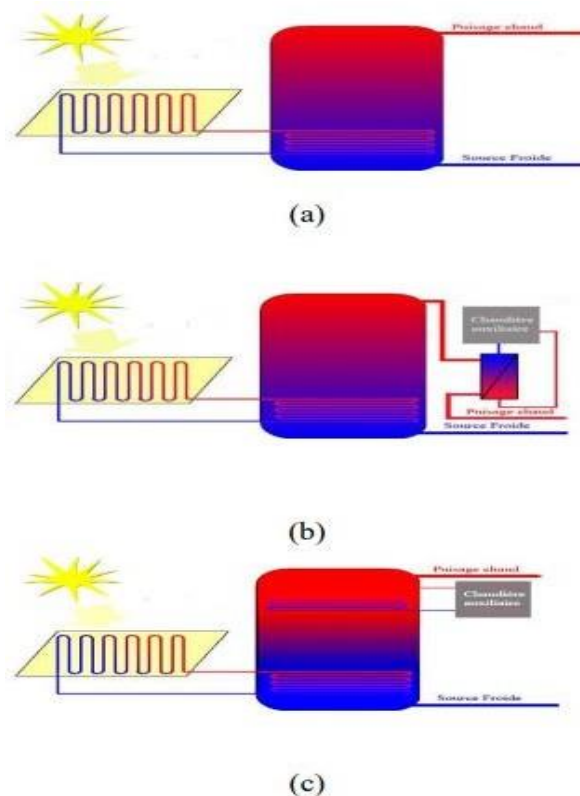


Figure II.13: Différents schémas de circuits solaire (a) sans appoint (b) avec appoint intégré au stockage (c) avec appoints intégrés en série.

Pour compenser le manque d'ensoleillement, la Solution (a) nécessite beaucoup d'espace de rangement car elle est sans maquillage, de plus, contrairement à la climatisation, elle ne fait que rafraîchir le lieu, et ne garantit pas la stabilité de la température, le maquillage est appliqué différemment dans les solutions (b) et (c).

Pour faciliter la demande de disponibilité en réduisant sa capacité maximale, la solution (C) doit être élaborée, cependant, chauffer tout le volume de stockage augmente la température de la boucle initiale, ce qui réduit l'efficacité du collecteur, à solution B évite cela, mais la chaudière et l'échangeur de chaleur doivent être de taille adéquate.

II. 5 .AVANTAGE DE LA CLIMATISATION SOLAIRE :

Les systèmes de refroidissement solaire ont l'avantage d'éliminer certains des inconvénients de la climatisation conventionnelle : la consommation d'électricité peut être jusqu'à 20 fois inférieure à un système à pression conventionnel, et le réfrigérant est sûr à utiliser car il est composé d'eau, de sel et de solutions saines. Ce qui évite la pollution du compresseur.

Ils peuvent fonctionner seuls ou avec des systèmes de climatisation conventionnels, visant à réduire la consommation d'énergie et les émissions de dioxyde de carbone.

La machine de climatisation peut être utilisée au milieu du désert, là où il n'y a pas de courant électrique, ce qui permet à tous les travailleurs du désert, bédouins et nomades de conserver plus facilement leur nourriture et de ne pas la gâcher.

II.6. GAZ UTILISÉS DANS LES SYSTÈMES DE REFROIDISSEMENT:

II.6.1. DEFINITION:

Les systèmes de réfrigération dépendaient dans leur principe de fonctionnement à la fin du dix-neuvième siècle jusqu'en 1929 de notre ère de gaz toxiques tels que l'ammoniac (formule chimique : NH_3), le chlorure de méthyle (formule chimique : CH_3Cl) et le dioxyde de soufre (formule chimique : SO_2) comme réfrigérants, et en raison de la survenance de nombreux accidents mortels dus à la fuite de composé de chlorure de méthyle des réfrigérateurs, les experts ont commencé à rechercher un gaz moins dangereux que les gaz utilisés à cette époque, jusqu'à ce que Thomas Midgley Jr., avec l'aide de Charles Franklin Kettering en 1928 après JC, a découvert le fréon comme alternative aux gaz toxiques utilisés comme réfrigérants, le fréon est défini comme un gaz incolore, inodore et ininflammable ou corrosif.

La consommation d'électricité a augmenté avec le problème de la pollution de l'environnement en raison de l'utilisation continue des sources de réfrigération traditionnelles à vapeur sous pression au cours des dernières décennies, le remplacement de la nouvelle technologie de réfrigération utilisant l'énergie solaire thermique est devenu un sujet brûlant, le système d'adsorption pour la réfrigération est une alternative intéressante à cette fin, et en conséquence, elle a été abordée dans cette recherche, sur l'exploitation de l'énergie solaire thermique dans le processus de refroidissement, comme le système de refroidissement solaire

à adsorption dépend de la technologie d'adsorption de méthanol sur du charbon actif pour convertir l'énergie solaire en refroidissement, car cette technologie se caractérise par la simplicité de fabrication et l'absence de pollution de l'environnement.

II.6.2. DÉFINITION DU MÉTHANOL:

Le méthanol (CH_3OH), communément appelé alcool méthylique, alcool de bois et bois, est un composé d'alcool et l'un des alcools les plus simples. Il est constitué d'un groupe méthyle (CH_3), qui contient un atome de carbone, relié à un groupe hydroxyle (OH). L'alcool est maintenant fabriqué en mélangeant du monoxyde de carbone et de l'hydrogène en présence d'un catalyseur, car il était à l'origine issu de la distillation du bois.

II.6.3. PROPRIÉTÉS DU MÉTHANOL :

Le méthanol a les propriétés suivantes:

- Formule moléculaire : CH_3OH .
- masse molaire : 32.042.
- Propriétés physiques : Liquide - incolore avec une légère odeur alcoolique caractéristique.
- température d'ébullition : 64.7°C .
- Point de fusion : -97.8°C .
- Solubilité : Homogène à l'eau, soluble dans l'éthanol et l'acétone.

II.6.4. DÉFINITION DE LA SILICE :

Le gel de silice est un matériau granuleux, brillant et poreux qui est une forme de dioxyde de silicium créé artificiellement à partir de silicate de sodium, le gel de silice est dur et résistant, il est plus solide que le gel de silice domestique courant et ses formes de gélatine ou d'agar, c'est un minéral naturel qui est purifié, traité et converti en une forme autre que des granulés ou des billes, en raison de sa sécheresse, il a une taille moyenne de pores de 2,4 nanomètres et a une forte affinité pour les molécules d'eau, et le gel de silice est plus courant dans la vie quotidienne vers les petites billes.

II.6.5. PROPRIÉTÉS DE LA SILICE :

- Formule moléculaire : SiO_2
- masse molaire : 60.08 g/mol
- Densité : 2.20 grammes par centimètre cube
- point de fusion : 3110 Fahrenheit
- point d'ébullition : 4046 Fahrenheit

II.6.6. PROPRIÉTÉS DE LA ZÉOLITHE :

La zéolite est un type de pierre de silicate d'aluminium, un groupe de composés principalement de silicates hydratés et d'aluminates. Les métaux alcalins et les métaux alcalino-terreux sont des particules solides qui existent sous la forme d'une poudre blanche et peuvent changer de couleur si l'ion positif est remplacé par l'un des éléments de transition. Il a une porosité élevée et est largement utilisé dans les procédés d'adsorption chimique.

II.6.7. PROPRIÉTÉS DE LA ZÉOLITHE :

- Il a une grande vitesse d'absorption des vapeurs, des gaz et de l'eau. Filtration puissante résultant de vides à haute porosité, ainsi qu'à faible densité.
- Il contrôle les quantités d'oxygène gazeux naturel et chimique bio-dissous
- Il contrôle le niveau d'alcalis dans tous les médiums.

II.6.8. CONCLUSION :

La climatisation solaire, quelle que soit la technologie utilisée (absorption, absorption ou refroidissement par sécheur), permet d'utiliser une énergie durable (renouvelable) et gratuite. Il offre la possibilité d'un conditionnement hygiénique.

Les réfrigérants utilisés sont totalement respectueux de l'environnement (contrairement aux systèmes liquides conventionnels), il a également l'avantage de pouvoir apporter de la fraîcheur lorsque le soleil brille et qu'il fait beaucoup plus chaud que les autres.

Ces technologies actuellement utilisées sont plus efficaces et plus silencieuses que les systèmes de refroidissement conventionnels, et ont une durée de vie plus longue que les systèmes conventionnels, car ces technologies durent environ 25 ans, alors que les systèmes conventionnels ont entre 10 et 15 ans. Cependant, ils sont encore en cours de modernisation et sont plus chers que les systèmes conventionnels. A partir de là, nous aborderons dans le troisième chapitre une étude de la thermodynamique du cycle de refroidissement dans l'espace

CHAPITRE III :
ETUDE THERMODYNAMIQUE DU
CYCLE FRIGORIFIQUE A ADSORPTION

CHAPITRE III: Etude thermodynamique du cycle frigorifique à adsorption

III.1 Introduction

L'étude et l'analyse du cycle de base de Clapeyron lié à la machine de refroidissement par absorption est essentielle dans le cadre du processus d'amélioration. Pour ce faire, nous avons développé un modèle numérique basé sur l'équation d'état du modèle spécial. D'une part, c'était Dubinin et Radushkevich [29], et d'autre part, il y a des considérations visant à assurer l'optimisation, telle que les réglages de couple adsorbant/adsorbat sélectionnés.

Les équations sont dérivées de données expérimentales publiées. Le code de calcul développé permet de mieux comprendre l'influence de différents paramètres sur la quantité de liquide de refroidissement produite dans l'évaporateur, le coefficient thermique des performances de la machine et la quantité de masse de condensat qui circule dans la machine.

III.2 Synthèse des travaux sur les machines frigorifique à adsorption :

De nombreuses investigations théoriques et pratiques ont été menées sur la modélisation du cycle de base de la machine frigorifique à adsorption. Cacciola et Restuccia [30] ont créé un modèle complet d'une pompe à chaleur à adsorption qui fonctionne en présence d'eau, conditions climatiques du sud de l'Europe, puis a comparé les deux ensembles de données, Charbon actif/Méthanol, zéolithe 13x/eau et zéolithe 4A/eau Critoph [31] a mis au point pour comparer les performances de différentes machines réfrigération par adsorption, créez un modèle couples adsorbant/adsorbat. Chekirou [32] a créé un modèle d'adsorption pour une machine frigorifique qui montre comment différents paramètres affectent l'efficacité de la machine. Miyazakia [33] a conçu un équipement de production d'eau glacée avec deux refroidisseurs. Éléments de sorption afin d'étudier l'effet de la variation du temps de cycle sur la performance par un groupe.

Wang [34] a utilisé une simulation informatique pour tester la fonctionnalité d'une nouvelle conception. Une installation de production d'eau glacée avec deux lits de sorption à récupération de masse et la chaleur pour étudier l'impact de la modification des paramètres de fonctionnement sur le performance par un groupe Wang [35] a utilisé une simulation informatique pour modéliser le fonctionnement d'un nouveau groupe de personnes. La génération d'eau refroidie à l'aide de deux lits de sorption et de récupération de masse avec une source chaleur qui peut être contrôlée. Wang et ses collègues [36] ont examiné les performances de deux groupes de production d'eau gelée avec des températures de génération basses. Akahira [37] a mené une étude expérimentale d'une unité de production d'eau glacée pour déterminer l'impact de la récupération de masse sur les performances du groupe. Wang [38] a étudié l'effet de la récupération de masse et de chaleur sur les performances d'une unité de production d'eau glacée dans un cadre expérimental.

III. 3. Etude thermodynamique du cycle de base

III. 3.1. Détermination des températures de seuil du cycle:

Lorsque les deux points critiques (seuils) d'une machine frigorifique à adsorption sont déterminés et caractérisés, le cycle thermodynamique de la machine est complet (T_{s1} et T_{s2}). Cependant, nous avons simplement besoin de la température seuil de désorption T_{s1} pour calculer le coefficient de performance thermique. T_{s2} , en revanche, est meilleur pour les calculs de performances des pompes à chaleur.

La température seuil de désorption T_{s1} correspond à l'apparition de la première goutte de liquide dans le condenseur et est définie comme la température à laquelle débute le phénomène de désorption. La température seuil d'adsorption T_{s2} est relative à l'évaporation de la première goutte de liquide dans l'évaporateur et est définie comme la température à laquelle débute le phénomène d'adsorption.

Il faut tenir compte dès l'hypothèse à deux isoptères lors des phases [32] pour établir les corrélations analytiques entre T_{s1} et T_{s2} et la température de condensation et d'évaporation, on obtient:

$$m(T_a, P_e) = m(T_{s1}, P_c) \quad (III.1)$$

$$m(T_g, P_c) = m(T_{s2}, P_e) \quad (III.2)$$

Il faut résoudre l'équation pour trouver la température T_{s1} (III-1). Nous donnons des valeurs à la température T_{s1} dans l'intervalle $[T_a, T_{s1_max}]$, où T_{s1_max} est la valeur maximale de T_{s1} (choisi arbitrairement), et nous comparons les valeurs de masse adsorbée calculées à $m(T_a, P_e)$ jusqu'à obtenir la valeur de T_{s1} correspondant à $m(T_a, P_e) = m(T_{s1}, P_c)$. En utilisant la même technique que précédemment, on peut résoudre l'équation (III-2) pour obtenir le seuil de la température d'adsorption T_{s2} . L'organigramme présenté à la Figure III-1 permet de calculer le seuil des températures.

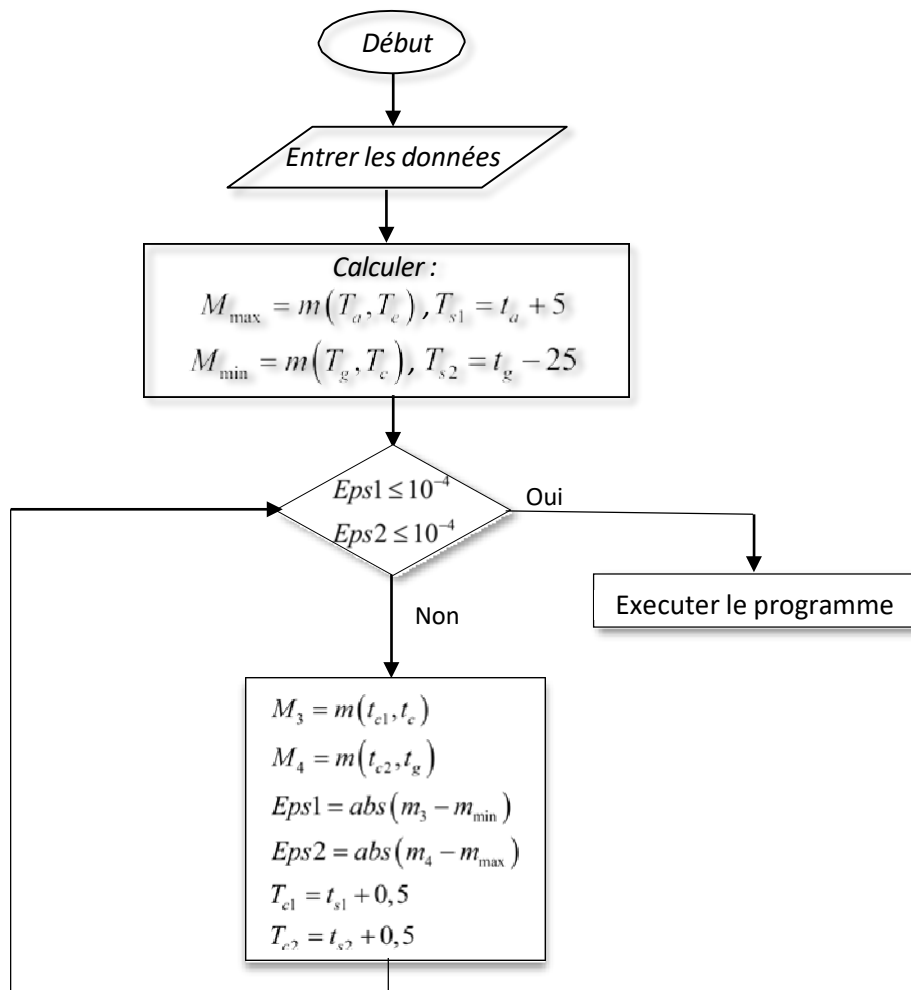


Fig. III. 1: Organigramme de calcul le seuil des températures.

III. 3.2. Coefficient de performance thermique (COP)

Cette section présente une recherche statique utilisant des équations d'état (adsorbant/adsorbat) à l'équilibre thermodynamique. Il ignore la cinétique d'adsorption ainsi que les variations de température ou de pression dues au transfert de chaleur et de masse (c'est-à-dire que la température, la pression et la masse adsorbée sont toutes considérées comme uniformes) et suppose que la condensation et l'évaporation se produisent à une température constante. En conséquence, l'effet des pertes de chaleur liées au chauffage de l'adsorbeur est ignoré.

$$COP_{th} = \frac{Q_f}{Q_c} \quad (III.3)$$

D'où :

Q_f : La production frigorifique ou la quantité de froid produite à l'évaporateur en (kJ)

Q_c : La quantité de chaleur fournie à l'adsorbeur en (kJ)

Le COP_{th} est dérivé dans cette section ; est un COP thermodynamique, ce qui signifie qu'il ne tient pas compte de l'adsorbant, de l'adsorbat et des composants métalliques des équilibres de l'adsorbeur. Le COP réel d'un tel cycle, en revanche, considère les bilans thermiques sur l'adsorbeur ainsi que les autres composants de la machine frigorifique à adsorption (condenseur et évaporateur). Les quantités de chaleur introduites dans le cycle seront déterminées immédiatement à l'aide de la relation (D-R).

a- Expression de la production frigorifique Q_f :

La quantité de froid produite à l'évaporateur Q_f est donnée par la relation suivante [32] :

$$Q_f = m_a \Delta m \left[L(T_e) - \int_{T_e}^{T_c} C_{pL}(T) dT \right] \quad (III.4)$$

La chaleur absorbée pour l'évaporation du réfrigérant à la température d'évaporation T_e est représentée par le premier terme de cette équation.

La chaleur sensible nécessaire pour déplacer le condensat de sa température de condensation à la température d'évaporation T_e est représentée par le second terme.

Où:

La chaleur latente d'évaporation et la chaleur spécifique de l'adsorbat à l'état liquide sont représentées respectivement par : $L(T)$ et $C_p(T)$.

La masse de l'adsorbant solide dans l'adsorbeur est m en (kg). La masse cyclée de l'adsorbat est donnée par l'expression suivante [32] :

$$\Delta m = m_{\max} - m_{\min} = m(T_a, P_e) - m(T_g, P_c) \quad (III.5)$$

Avec :

$m_{\max}$: est la masse adsorbée déterminée à l'aide du modèle Dubinin-Radushkevich pour la température d'adsorption et la pression d'évaporation. La masse adsorbée $m_{\min}$ est calculée à l'aide du modèle Dubinin-Radushkevich et correspond à la température de régénération T_g et à la pression de condensation P_c .

b- Expression de Q_c :

L'adsorbeur reçoit l'énergie de la source chaude, dont une partie sert à chauffer les parties métalliques de l'adsorbeur, dont une partie sert à chauffer l'adsorbant et l'adsorbat, et le reste sert à la désorption.

$$Q_c = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_{des} \quad (III.6)$$

Les chaleurs sensibles Q_1 , Q_2 et Q_3 sont utilisées pour chauffer l'adsorbant, les pièces métalliques de l'adsorbeur et l'adsorbat, respectivement.

Q_{des} est la masse de l'adsorbat désorbé multipliée par la chaleur nécessaire à la désorption.

c- Chaleur sensible de l'adsorbant Q_1 :

La chaleur nécessaire pour élever la température de l'adsorbant solide de T_a à T_{gg} est donnée par l'expression suivante [32] :

$$Q_1 = m_1 \int_{T_a}^{T_g} C_{p_{ads}}(T) dT = m_a \cdot C_{p_{ads}} (T_g - T_a) \quad (III.7)$$

D'où :

m_a : est la masse de l'adsorbant solide contenue dans l'adsorbeur en (kg).

$C_{p_{ads}}$: est la chaleur spécifique de l'adsorbant en (kJ/kg.K)

d- Chaleur sensible des parties métalliques Q_2 :

La quantité de chaleur nécessaire pour élever la température des sections métalliques de l'adsorbeur de T_a à T_{gg} , Q_2 peut être calculée par la relation suivante [32] :

$$Q_2 = m_g \int_{T_a}^{T_g} C_{p_w}(T) dT = m_g \cdot C_{p_w} (T_g - T_a) \quad (III.8)$$

D'où :

m_g : est la masse des parties métalliques de l'adsorbeur en (kg).

C_{p_w} : est la chaleur spécifique des parties métalliques de l'adsorbeur en (kJ/kg.°C).

e- Chaleur sensible de l'adsorbat Q_3 :

La chaleur nécessaire pour chauffer l'adsorbat de T_a à T_g Q_3 est donné par les expressions suivantes [32]:

$$Q_3 = \int_{T_a}^{T_g} m(T) C_{p_{ads}}(T) dT = m_a \cdot m_{\max} \int_{T_a}^{T_{s1}} C_{p_{ads}}(T) dT + m_a \int_{T_{s1}}^{T_g} m(T) C_{p_{ads}}(T) dT \quad (III.9)$$

La masse adsorbée $m(T)$ est estimée à l'aide du modèle Dubinin-Radushkevich à température T et pression de condensation P_c .

f- Chaleur de désorption Q_{des} :

La chaleur de désorption a lieu lorsque les températures T_{s1} et T_g correspondent respectivement aux points 2 et 3 ; la chaleur de désorption est apportée par l'expression

suivante [30] :

$$Q_{des} = m_a \int_{m_{\max}}^{m_{\min}} \Delta H_{ads}(m) dm \quad (III.10)$$

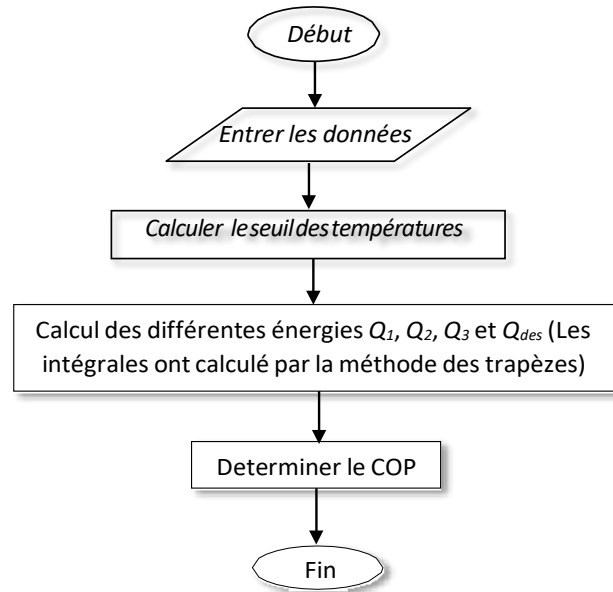


Fig. III. 2 : Organigramme de calcul des performances thermiques du cycle frigorifique.

III.3 Conclusion :

le cycle de Clapeyron de base lié au système de réfrigération à absorption est étudié et analysé, pour ce faire, nous avons développé un modèle numérique basé sur l'équation d'état du modèle de Dubinin et Radushkévich et sur un certain nombre de facteurs liés à l'optimisation, dont les propriétés des couples mixtes / mixtes, que nous avons incorporés dans le modèle à l'aide d'équations issues d'expériences, données publiées dans la littérature, À l'aide du code généré par ordinateur, il peut déterminer comment divers facteurs affectent la quantité de réfrigérant générée dans l'évaporateur, le coefficient thermique de la performance de l'appareil et la quantité de masse recyclée à partir de l'adsorbant.

CHAPITRE IV:

Résultats et Discussions

CHAPITRE IV: Résultats et Discussions

IV.1 Introduction

Dans notre expérience, nous avons abordé le choix des meilleurs types de gaz utilisés pour l'expédition des appareils de refroidissement en termes de poids léger et d'un faible pourcentage de graisse, et la vitesse de sa transformation d'un état à un autre, et c'est un très important parce que dans le cycle du gaz, il passe en deux étapes, une fois c'est un liquide chaud et dans la deuxième étape c'est un gaz froid. Le gaz était bon et pur et a donné le meilleur refroidissement

IV.2 Conditions initiales dans le tableau

Les caractéristiques les fluides à 20 C°

	ρ	CP	$\diamond$	$\diamond$
METHANOL	1.31kg/m	35.53 j/mol.k	0.034 w/m.k	1.7 D
SILICE	2.334 kg/m	33.5 j/mol.k	0.058 w/m.k	1.3 D
ZOULITHE	2.3 kg/m	23.73 j/mol.k	0.042 W/M.K	2.3 D

Le Valeur Initial

QF	105	110	115	120	125	130	135	140	145	
T-cond	35	36	37	38	39	40	41	42	43	
T-gem	40	60	80	100	110	120	130	140	150	160
U	2	3	4	5	6	7	8	9	10	

IV.3 Influence de la variation de la température d'évaporation

La température d'évaporation est variée dans cette section, tandis que les températures de condensation et de génération sont fixes, afin d'étudier l'effet de la température d'évaporation sur le coefficient de performance, la quantité de production de réfrigération et la quantité de masse cyclée.

La variation de la production frigorifique Q_f en fonction de la température d'évaporation est représentée sur la fig. IV . 1. On peut voir qu'à mesure que la température d'évaporation augmente, la production de réfrigération augmente également, le couplage gel de silice/eau produisant le plus. La pression de saturation $P_s (T_e)$ augmente à mesure que la température d'évaporation augmente,

ce qui fait également augmenter la masse d'eau $m [T_a, P_s (T_e)]$. En conséquence, la masse cyclée et la production de réfrigération augmenteront toutes les deux.

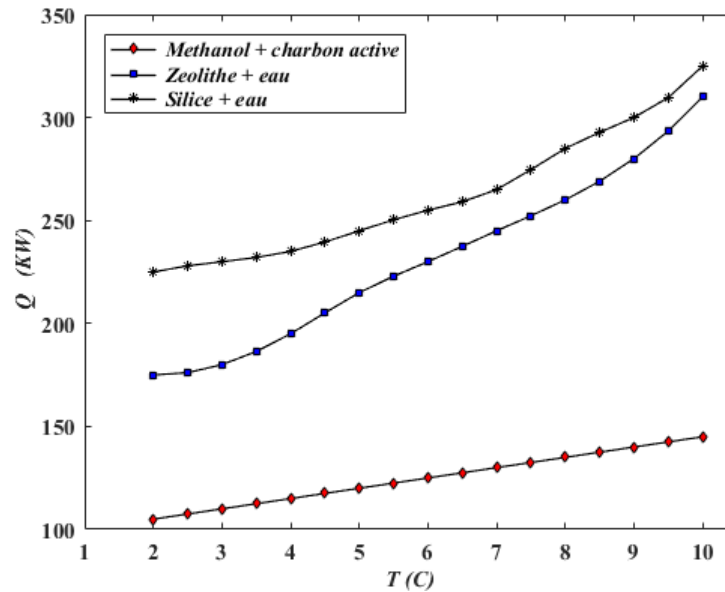


Fig. VI.1: Evolution de la production frigorifique Q_f en fonction de la température d'évaporation.

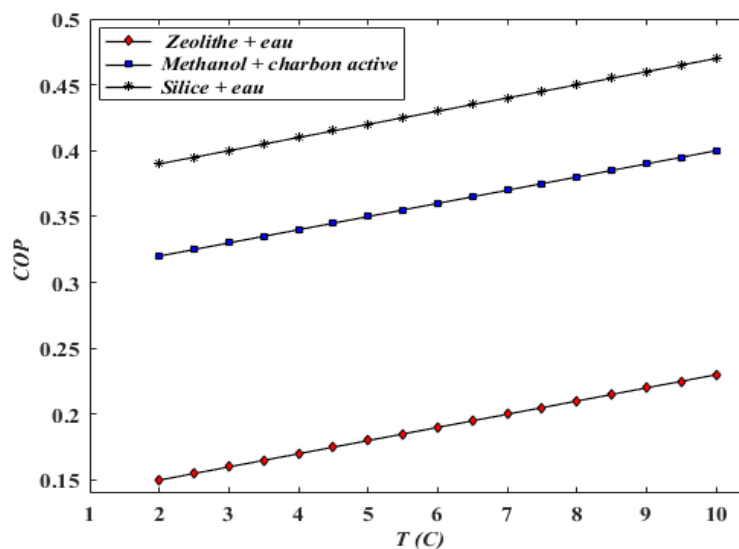


Fig. VI.2: Variation du coefficient de performance en fonction de la température d'évaporation.

Le coefficient de performance en fonction de la température d'évaporation est représenté sur la Fig. VI.2. On constate que lorsque la température d'évaporation augmente, le coefficient de performance augmente également, le couplage Charbon actif/Méthanol ayant le coefficient le plus élevé. La pression de saturation $P_s(T_e)$ augmente avec la température d'évaporation, entraînant une augmentation de la masse d'eau $m[T_a, P_s(T_e)]$, impliquant une augmentation de la masse cyclée et de la production de froid, ce qui augmente le coefficient de performance.

La fluctuation de la masse cyclée en fonction de la température d'évaporation est représentée sur la fig. VI.3. On peut montrer que lorsque la température d'évaporation augmente, la masse cyclée augmente également, le couple charbon actif/méthanol ayant la masse cyclée la plus élevée.

Lorsque la température d'évaporation T_e augmente, la pression de saturation P_s augmente également. En conséquence, la masse adsorbée $m[T_a, P_s(T_e)]$ augmente, ce qui signifie que la masse de cyclée augmente également. Le diagramme de Clapeyron peut être utilisé pour examiner l'effet qualitatif de l'augmentation de T_e .

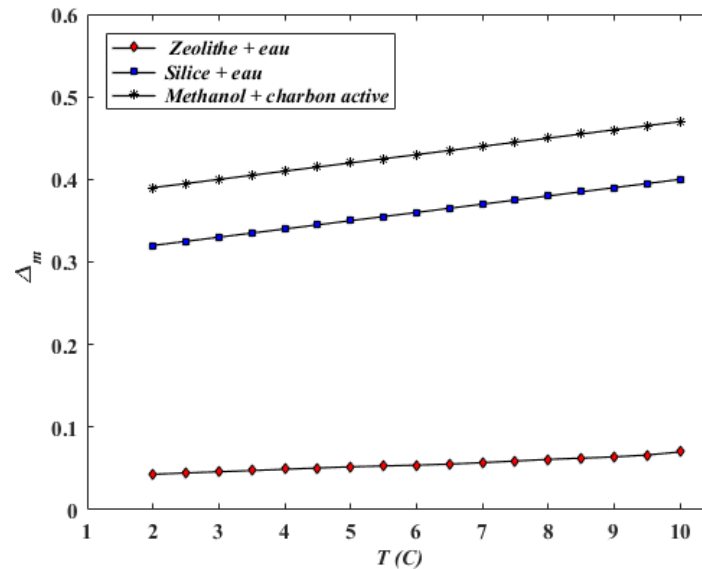


Fig.VI.3: Evolution de la masse cyclée en fonction de la température d'évaporation.

VI.4 Influence de la variation de la température de condensation

La température de condensation est modifiable dans cette section, tandis que les températures d'évaporation et de génération sont fixes, afin d'étudier l'effet de la température de condensation sur le coefficient de performance, la production de refroidissement et la quantité de masse cyclable.

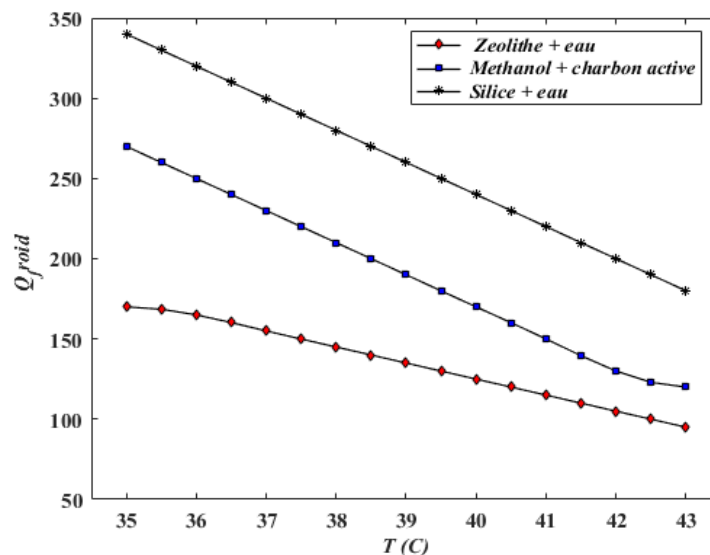


Fig.VI.4: Variation de la production frigorifique en fonction de la température de condensation.

La production de froid varie en fonction de la température de condensation, comme le montre la Fig. VI.4. La production de refroidissement diminue lorsque la température de condensation

augmente, et le couple gel de silice/eau a la production de refroidissement la plus élevée. La pression de saturation augmente lorsque la température de condensation augmente. En conséquence, la masse de cyclage est réduite et la production de réfrigération est abaissée.

Le coefficient de la performance varie en fonction de la température de condensation, comme le montre la Fig. VI.5. On remarque sur cette figure que le coefficient de performance diminue à mesure que la température de condensation augmente, et le couple gel de silice/eau au coefficient de performance le plus élevé. La masse d'eau $m[T_g, P_s(T_c)]$ diminue lorsque la température de condensation augmente, impliquant une augmentation de la pression de saturation $P_s(T_c)$. En conséquence, la masse cyclée diminue, ce qui entraîne une production de réfrigération plus faible et un coefficient de performance de la machine de réfrigération plus faible.

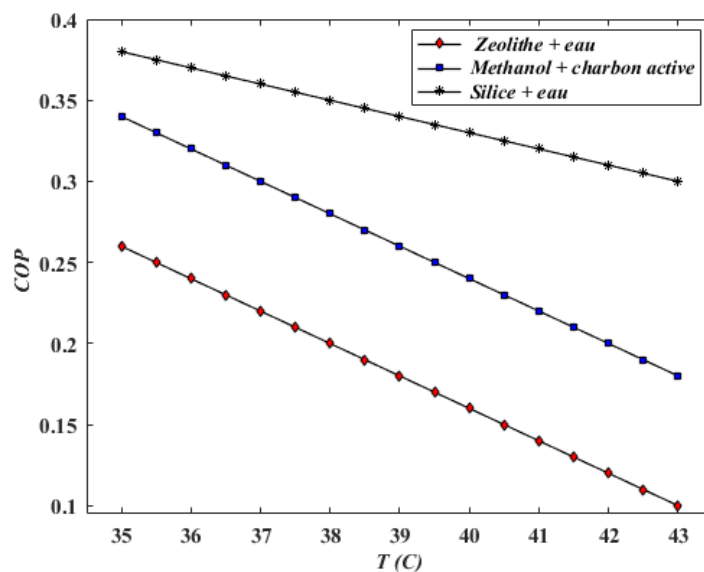


Fig. VI.5: Variation du coefficient de performance en fonction de la température de condensation.

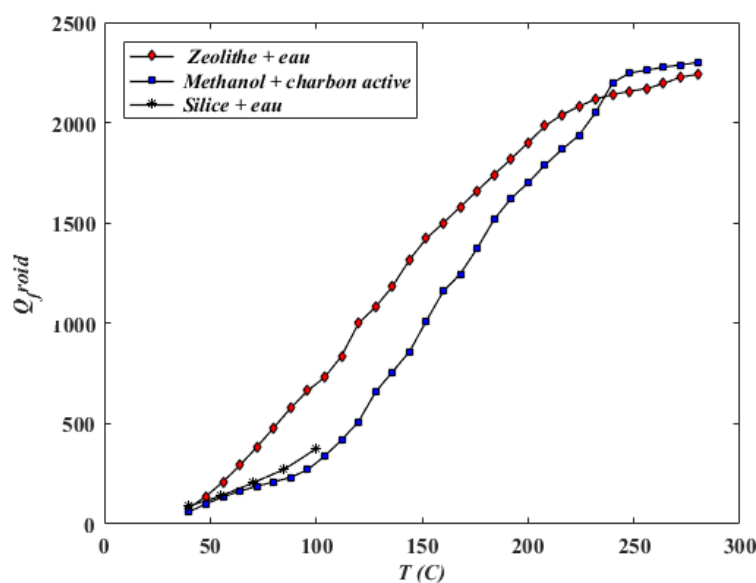


Fig. VI.6: Evolution de la production frigorifique en fonction des hautes températures de génération.

La masse cyclée diminue lorsque la température de condensation augmente, et le couple charbon actif/méthanol a la masse cyclée la plus élevée. La masse d'eau $m[T_g, P_s(T_c)]$ diminue lorsque la température de condensation augmente, impliquant une augmentation de la pression de saturation $P_s(T_c)$.

La fluctuation de la production de froid en fonction des hautes températures de génération est représentée sur la Fig. VI.6. On remarque que lorsque la température de génération augmente, la production de froid augmente aussi. Avec des températures de génération comprises entre 90°C et 280°C, le couple Gel de silice/Eau produit le plus de réfrigération, alors qu'au-dessus de 250°C, le couple zéolite/eau 13x en produit le plus. La masse minimale $m_{\min}[T_g, T_c]$ diminue lorsque la température de génération augmente, impliquant une augmentation de la masse cyclée et par conséquent, une augmentation de la quantité de froid produit à l'évaporateur.

La variation du coefficient de performance thermique en fonction de la température de génération est représentée sur la Fig. VI.7. On observe que lorsque la température de génération augmente, le coefficient de performance thermique augmente jusqu'à un maximum et diminue ensuite. Avec des températures de génération allant de 75°C à 280°C, le couple Gel de silice/Eau a le coefficient de performance le plus élevé.

Le couple Zéolite/Eau a la valeur de coefficient de performance la plus élevée au-dessus de 280°C. La masse minimale $m_{\min}[T_g, T_c]$ diminue lorsque la température de génération augmente aussi, impliquant une augmentation de la masse cyclée et par conséquent, une augmentation de la quantité de froid produit à l'évaporateur, et le COP du système est enregistré.

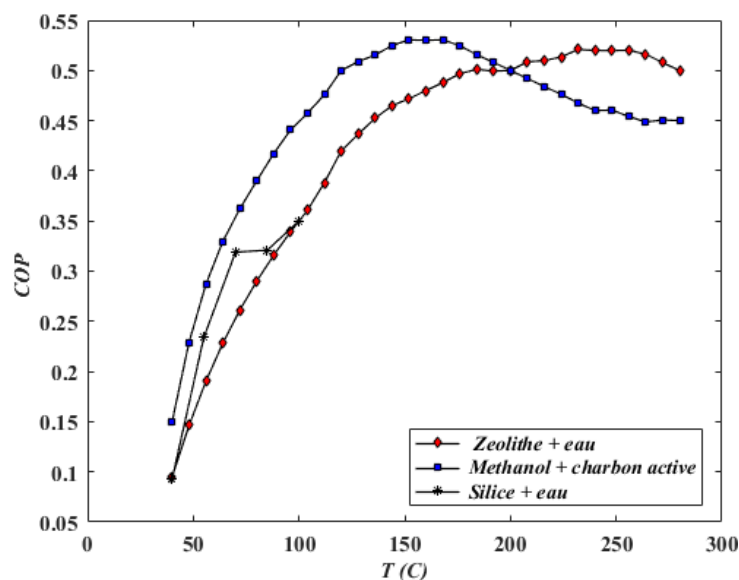


Fig. VI.7: Variation du coefficient de performance thermique en fonction de la température de génération.

VI.5 Conclusion

Les trois couples étudiés au phénomène adsorbant/adsorbat les plus courants ont été comparés dans ce chapitre dans des conditions de travail identiques. La combinaison de gel de silice et d'eau est la meilleure pour l'adsorption du froid à basse température (capteurs solaires à eau plane). L'association gel de silice/eau est plus performante zéolithe /eau en termes de propriétés thermo-physiques (forte chaleur latente de vaporisation de l'adsorbat et taux d'adsorption élevé).

Les combinaisons Charbon actif/Méthanol et Gel de silice/Eau ont des résultats très identiques, Bien que la zéolithe soit l'adsorbant le plus populaire au monde (en raison de son coût inférieur par rapport au gel de silice), l'influence de la température de la source chaude nous amène à utiliser le Charbon actif/Méthanol comme adsorbant dans de nombreuses circonstances.

Conclusion générale

Conclusion générale

La climatisation solaire, quelle que soit la technologie utilisée (absorption, absorption ou refroidissement par sécheur), permet d'utiliser une énergie durable (renouvelable) et gratuite. Il offre la possibilité d'un conditionnement hygiénique.

Les réfrigérants utilisés sont totalement respectueux de l'environnement (contrairement aux systèmes liquides conventionnels), il a également l'avantage de pouvoir apporter de la fraîcheur lorsque le soleil brille et qu'il fait beaucoup plus chaud que les autres.

Ces technologies actuellement utilisées sont plus efficaces et plus silencieuses que les systèmes de refroidissement conventionnels, et ont une durée de vie plus longue que les systèmes conventionnels, car ces technologies durent environ 25 ans, alors que les systèmes conventionnels ont entre 10 et 15 ans. Cependant, ils sont encore en cours de modernisation et sont plus chers que les systèmes conventionnels. A partir de là, nous aborderons dans le troisième chapitre une étude de la thermodynamique du cycle de refroidissement dans l'espace

le cycle de Clapeyron de base lié au système de réfrigération à absorption est étudié et analysé, pour ce faire, nous avons développé un modèle numérique basé sur l'équation d'état du modèle de Dubinin et Radushkévich et sur un certain nombre de facteurs liés à l'optimisation, dont les propriétés des couples mixtes / mixtes, que nous avons incorporés dans le modèle à l'aide d'équations issues d'expériences, données publiées dans la littérature, À l'aide du code généré par ordinateur, il peut déterminer comment divers facteurs affectent la quantité de réfrigérant générée dans l'évaporateur, le coefficient thermique de la performance de l'appareil et la quantité de masse recyclée à partir de l'adsorbant

Les trois couples étudiés au phénomène adsorbant/adsorbat les plus courants ont été comparés dans ce chapitre dans des conditions de travail identiques. La combinaison de gel de silice et d'eau est la meilleure pour l'adsorption du froid à basse température (capteurs solaires à eau plane). L'association gel de silice/eau est plus performante zéolithe /eau en termes de propriétés thermo-physiques (forte chaleur latente de vaporisation de l'adsorbat et taux d'adsorption élevé).

Les combinaisons Charbon actif/Méthanol et Gel de silice/Eau ont des résultats très identiques, Bien que la zéolithe soit l'adsorbant le plus populaire au monde (en raison de son coût inférieur par rapport au gel de silice), l'influence de la température de la source chaude nous amène à utiliser le Charbon actif/Méthanol comme adsorbant dans de nombreuses circonstances.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- [1] F. Calise, Analyse thermoéconomique et optimisation des systèmes de chauffage et de refroidissement solaires à haut rendement pour différents bâtiments et climats scolaires italiens Energy and Buildings (2010).
- [2] M. Qu, H. Yin, D.H. Archer, Un système de refroidissement et de chauffage solaire thermique pour un bâtiment : analyse de performance expérimentale et basée sur un modèle et conception de l'énergie solaire (2010).
- [3] A. González-Gil , M. Izquierdo , J.D. Marcos , E. Palacios , Évaluation expérimentale d'un prototype d'absorption d'eau au bromure de lithium refroidi par air direct pour la climatisation solaire (2011).
- [4] Driss Stitou , Nathalie Mazet, Sylvain Mauran , Etude expérimentale d'un procédé de stockage thermochimique solide/gaz pour la climatisation solaire (2011).
- [5] Y.L. Yin, Z.P. Song, Y. Li, R.Z. Wang, X.Q. Zhai , Étude expérimentale d'un système de refroidissement à absorption solaire de type mini sous différents modes de refroidissement (2012).
- [6] S. Rosiek, F.J. Batlles , Énergie géothermique peu profonde appliquée à un système de climatisation à assistance solaire dans le sud de l'Espagne : expérience de deux ans (2012).
- [7] Ali M. Banioune , Gang Liu, M.G. Rasul, M.M.K. Comparaison Khan
étude des technologies de refroidissement solaire pour un bâtiment institutionnel en zone subtropicale, Queensland, Australie (2013).
- [8] Jan Wrobel , Pablo Sanabria Walter, Gerhard Schmitz , Performance d'un système de climatisation à assistance solaire à différents endroits (2013).
- [9] KF. Fong, C.K. Lee, Avancement des performances de la climatisation solaire grâce à la conception de systèmes intégrés pour le bâtiment (2014).
- [10] Kamel Rabhi, Chaouki Ali, Rached Nciri, Habib Ben Bacha, Nouvelle conception et simulation d'un système de climatisation solaire avec déshumidification par dessicant et réfrigération par adsorption (2015).
- [11] M. A. I. El-Shaarawi et A. A. Al-Ugla, Conceptions de stockage hybrides pour le fonctionnement continu de la climatisation à absorption d'eau LiBr à énergie solaire (2016).

Références bibliographiques

- [12] S.T. Ge, Y.J. Dai, R.Z. Wang, Étude des performances du système de climatisation à échangeur de chaleur à revêtement déshydratant en hiver (2016).
- [13] Yunlong Ma, Suvash C. Saha, Wendy Miller et Lisa Guan, Comparaison de différents systèmes de climatisation à assistance solaire pour les immeubles de bureaux australiens (2017).
- [14] A.E. Kabeel, A. Khalil, S.S. Elsayed, A.M. Alatyar, Enquête théorique sur les caractéristiques de stockage d'énergie d'un système de climatisation à dessicant liquide solaire en Égypte (2018).
- [15] Dan Zhong, Tao Wen, XiaohuiShe, Yi Chen, Meng Wang, Hongxing Yang & Yimo Luo Développement et application d'un modèle dynamique pour un système de climatisation à dessicant liquide à assistance solaire (2019).
- [16] YuehongBi ,Lifeng Qin , Jimeng Guo , Hongyan Li , GaoliZang Analyse des performances d'un système de climatisation solaire basé sur le collecteur solaire parabolique développé de manière indépendante (2020).
- [17] DilawerAli ,WattanaRatismith Un capteur solaire à auge semi-circulaire pour système de climatisation utilisant un refroidisseur à absorption $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O}$ à effet unique (2021).
- [18] T. Bouhal, Z. Aqachmar, T. Kousksou, T. El Rhafiki, A. Jamil, Y. Zeraouli Bilan énergétique et économique d'un procédé de climatisation solaire pour exigences de confort thermique (2020).
- [19] W. K. Alani, J. Zheng, M.A. Fayad, Lei Lei Améliorer les économies de carburant et la réduction des émissions des véhicules légers par une nouvelle conception de la climatisation fonctionnant à l'énergie solaire (2022).
- [20] Haoshan Ren, Yongjun Sun, Ahmed K. Albdoor, V.V. Tyagi, AK Pandey, Zhenjun Ma Amélioration de la flexibilité énergétique d'une maison à consommation énergétique nette zéro à l'aide d'un système de climatisation à énergie solaire avec stockage d'énergie thermique et gestion de la demande (2021).
- [21] Guoliang Li, Youhua Han, Ming Li, Xi Luo, Yongfeng Xu, Yunfeng Wang, Ying Zhang Étude sur les caractéristiques correspondantes de la perturbation photovoltaïque et du compresseur de réfrigération dans le système de climatisation solaire photovoltaïque à entraînement direct (2021).

Références bibliographiques

- [22] M. Anoop Kumar, Devendrakumar Patel Évaluation des performances et analyse thermodynamique d'un système de climatisation solaire hybride (2021).
- [23] SaeedAlqaed, JawedMustafa ,FahadAwjahAlmehmadi L'effet de l'utilisation de matériaux à changement de phase dans un mur solaire sur le nombre de fois de climatisation par heure pendant le jour et la nuit dans différentes épaisseurs du mur solaire (2022).
- [24] M Rémi CHELAN, la climatisation solaire, mémoire de fin d'étude d'Ingénierie du bâtiment, Ecole Nationale d'Ingénieurs De Saint-Etienne, 2004
- [25] Olivier Drücke, « L'énergie Solaire Thermique pour Applications de Froid et de Chaleur Industrielle »,2011.
- [26] D.S. Kima, C.A. Infante Ferreira, "Solar refrigeration options, a state of the art review, State of the Art ",international journal of refrigeration 31(2008)3–15.
- [27] Michael Krause, "State of the art Survey on new solarcoolingdevelopments (Solar Air-Conditioning andRefrigeration)", October 2010.
- [28] Mr Thibaut Vitte, «Généralités et état de l'art à propos de la climatisation solaire », Thèse en Génie civil, Institut National des sciences Appliquées de Lyon.
- [29] .Y. Teng, R. Z. Wang and J. Y. Wu, "Study of the fundamentals of adsorption systems", Applied Thermal Engineering Vol. 17(4), pp. 327-338. (1997) ,
- [30] .G. Cacciola , G. Restuccia, "Reversible adsorption heat pump: a thermodynamic model" , International Journal of Refrigeration. Vol 18, No. 2, pp. 100 -106. (1995) ,
- [31] .R.E. Critoph, "Performance limitation of adsorption cycle for solar cooling", Solar Energy, Vol. , pp.1-16. (1988) ,
- [32] W. Chekirou, "étude et analyse d'une machine frigorifique solaire à adsorption". Thèse de doctorat, Université Mentouri – Constantine, Département de physique, (2008).
- [33] .T. Miyazaki, A. Akisawa, B.B. Saha, I.I. El-Sharkawy, A. Chakraborty, "A new cycle time allocation for enhancing the performance of two-bed adsorption chillers", International Journal of Refrigeration, Vol. 32, pp. 846 – 853. (2009) ,
- [34] .D.C. Wang, Z.Z. Xia, J.Y. Wu, R.Z. Wang, H. Zhai, W.D. Dou, "Study of a novel silica gel–water adsorption chiller. Part I. Design and performance prediction", International Journal of Refrigeration, Vol.28, pp.1073–1083. (2005) ,

Références bibliographiques

- [35] J. Di, J.Y. Wu, Z.Z. Xia, R.Z. Wang, “Theoretical and experimental study on characteristics of a novel silica gel/water chiller under the conditions of variable heat source temperature”, *International Journal of Refrigeration*, Vol. 30, pp. 515-526. (2007) ,
- [36] Z.Z. Xia , R.Z. Wang, D.C. Wang, Y.L. Liu, J.Y. Wu, C.J. Chen, “Development and comparison of two-bed silica gel–water adsorption chillers driven by low-grade heat source”, *International Journal of Thermal Sciences*, Vol. 48, pp.1017–1025. (2009).
- [37] [A. Akahira, K.C. Amanul Alam, Y. Hamamoto, A. Akisawa, T. Kashiwagi, “Experimental investigation of mass recovery adsorption refrigeration cycle”, *International Journal of Refrigeration*, Vol. 28, pp. 565–572. (2005) ,
- [38] Z.S. Lu, R.Z. Wang, “Performance improvement by mass-heat recovery of an innovative adsorption air-conditioner driven by 50-80°C hot water”, *Applied Thermal Engineering*, Vol. 55, pp.113-120, (2013).