الجـــــــــــــــــمهـوريـــــة الجـــــــــــــزائـريـة الديمـــــــقـراطيـة الـشـــــــــعبيـة

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التـــــــــــــــــــــــــعـليـم العـــــــالي والبـــــــــــحث العـــــلـمـــي

Recherche Scientifique

جـــــــــــــــامعة أبي بكـــر بـلـقـايد – تـلمســـــــــــــــان –

Université Aboubakr Belkaïd – Tlemcen –
Faculté de TECHNOLOGIE

MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du **diplôme** de **MASTER**

En : Génie Mécanique

Spécialité : Energies renouvelables en mécanique

Par : DOUZI Badr Eddine et BARKA Ahmed Yassir

Sujet

Influence des couples binaires sur l installation a absorption ($LiBr/H_2O$ et NH_3/H_2O)

Soutenu publiquement, le 09 / 06 / 2024, devant le jury composé de :

K			
			K
K K			K

Année Universitaire : 2023-2024

Remerciements

Nous remercions **ALLAH** le tout-puissant de nous donner le courage, la volonté et la patience de mener à termine ce présent travail.

Je tiens à exprimer toute ma gratitude et mes sincères remerciements à notre directrice de mémoire, monsieur **BENRAMDANE Mohammed** pour son encadrement tout au long de ce travail. Ses conseils éclairés, son soutien constant et sa disponibilité ont été d'une grande aide.

Nous exprimons également notre gratitude envers le professeur **CHIKH Mohammed El-Amine**, co-directeur de notre mémoire, pour sa contribution précieuse à nos recherches et pour le partage généreux de ses connaissances et conseils.

Nous remercierons vivement :

- **Mme. SARI HASSOUNE Hind**, Enseignant en génie mécanique, Université de Tlemcen, qui a bien voulu accepter de présider le jury de soutenance.
- **Mme. OURRAD Soumia**, Enseignant en génie mécanique, Université de Tlemcen, pour avoir accepté de participer au jury de soutenance.

Nous tenons à remercier tous nos professeurs pour leurs orientations judicieuses et leur soutien.

Enfin, nous remercions nos camarades étudiants du master du département de Génie Mécanique de Abou Bakr Belkaïd - Tlemcen - Faculté de Technologie.

- Je dédie ce mémoire a tout ma famille, dont le soutien et ¼ - › Â • È ç Ø , © › Á › Â ã Á È Â Õ › Ø Á ¯ Ü • e ã ã › œ ã , Õ › ¯
- Mon père, ma mère et mes frères › ã Ü ê ç Ø soutien que vous me donnez tous ces années.
- Je dédie aussi ce travail à mon binôme Badro, pour son soutien et sa présence tout au long de ce long projet.
- Aussi mon Co-encadrant A Á ¯ Â › Õ È ç Ø ¼ › Ü È ç ã ¯ › Â › ã ma donner merci à lui.
- Je suis également reconnaissant envers mes amis proches pour leur présence et leurs conseils, qui ont rendu ce parcours plus agréable.
- Je dédie ce travail a tous mes collèges du promo 2023/2024

Yassir

- Je dédie ce mémoire à mes chers parents qui ont été toujours à
  Á › Ü • Ê ã œ Ü › ã Á - È Â ã ã È ç ¸ È ç Ø Ü Ü È ç ã › Â ç ã È
  • - œ ã ç • › Ü ’
- Â Ü ¯ © Â › • › Ø › • È Â Â , ¯ Ü Ü , Â • › • × ç - ¯ ¼ Ü ã Ø È ç ó › Â
  ma profonde gratitude pour ã È ç ã • › × ç - ¯ ¼ Ü È Â ãrts È Â Ü › Â
  et de moyens pour me voir réussir dans mes études.
- Je dédie aussi ce travail mon binôme Yassir pour le soutien et ça présence tout au long de ce long projet
- Aussi mon Co encadrent Amine pour soutien et laide qui ma donner merci A lui
- A toute ma famille Et A toutes mes amies
- Et à tous ceux qui aiment le bon travail et ne reculent pas devant les obstacles de la vie.

Badr Eddine

الملخص

خئد ئجد خئ خج ج ب تد ة ئ خ ئ ت ئ ر ئ ئ ث ئ :
$LiBr/H_2O$ NH_3/H_2O

ة د ج ب ئ ة ئ خ ئ رخ ئ ج NH_3/H_2O : .$LiBr/H_2O$ ئجد ة
خئ ئ ج ب ة ئ د EES ئ ة د ذ ئ خ ج ئ ئ ج ه ئ ذ ة ق خ ذ ب ئ ة .

ة خ ئ د ة ئ ة ئ ة ئ ة ت ئ ج ئ ج ب ت د ت د خ
ئ ة ئ ج ر ج ج خ ذ ج ه ئ ذ ب ئ د .

الكلمات المفتاحية: *ة ئ ة د ئ ة ئ ئ ئ خ ئ ر ث* *$H_2O/LiBr$ NH_3/H_2O*

Abstract

In this project, we have undertaken a modelling and simulation study of a single-acting B T S OS SH SB ONB I O I B SB T I OBS MT / BOE- S

Our project concerns the simulation of a single-acting absorption plant that operates with two OBS MT / BOE- S I TN MB OT E BT BSS E TOH I programme, focusing on the thermodynamic modelling of the various components of an absorption cycle.

At the conclusion of this dissertation, we have written a section on the various results obtained by the simulation and their interpretation. These results show that our machine operates correctly at room temperature.

Keywords: *Refrigeration machines, Absorption machine, Solar energy, Coefficient of*

.

Résumé

Dans ce projet, nous avons entrepris une étude de modélisation et de simulation d'une machine frigorifique à absorption simple effet qui fonctionne avec deux couples binaires : NH_3/H_2O et $LiBr/H_2O$

Notre projet porte sur la simulation d'une installation à absorption simple effet qui fonctionne avec deux couples binaires : NH_3/H_2O et $LiBr/H_2O$. L'étude de simulation a été réalisée à l'aide du programme EES, en se concentrant sur la modélisation thermodynamique des différents composants d'un cycle à absorption.

À la conclusion de ce mémoire, nous avons rédigé une section sur les différents résultats obtenus par la simulation et leur interprétation. Ces résultats montrent que notre machine fonctionne correctement à température ambiante.

Mots clés : *Machines frigorifiques, Machine à absorption, Energie solaire, Coefficient de performance, Couple binaire H2O/LiBr NH3/H2O*

Sommaire

Résumé

Nomenclature

Liste des figures

Liste des tableaux

Recherche bibliographique

Introduction Générale **1**

Chapitre 1 : Gisement Solaire

I.1. Introduction **3**

I.2. Energie solaire **3**

I.2.1. Soleil 3

I.2.2. Caractéristiques principales du soleil 4

I.2.3. Origine de l'énergie solaire 5

I.2.4. Structure du soleil 6

I.2.5. Origine de la vie 7

I.2.6. Climat et météorologie 7

I.3. Mouvements de la Terre autour du Soleil **8**

I.3.1. Révolution annuelle 9

I.3.2. Solstices et équinoxes 9

I.3.3. Rotation sur elle-même 9

I.3.4. Déclinaison 9

I.4. Calcul de la position du soleil **9**

I.4.1. 9

I.4.2. Latitude (φ) 9

I.4.3. 9

I.5. Trajectoire apparente du soleil **10**

I.5.1. Coordonnées équatoriales 10

I.5.1.1. 10

I.5.1.2. 11

I.5.2.	Coordonnées horizontales	12
I.5.2.1.	Angle de la	12
I.5.2.2.	Azimut ( )	13
I.6.	**Rayonnement solaire**	**13**
I.6.1.	Définition	13
I.6.2.	Composantes du rayonnement solaire	15
I.6.2.1.	Rayonnement direct	15
I.6.2.2.	Rayonnement diffus	16
I.6.2.3.	Rayonnement global	17
I.6.2.4.	Albédo du sol	17
I.7.	**Gisement solaire dans le monde**	**18**
I.8.	**Gisement solaire en Algérie**	**18**
I.9.	**Conclusion**	**20**

Chapitre II : Technologies de Réfrigération Solaire

II.1	**Introduction**	**21**
II.2	**Réfrigération solaire**	22
II.2.1	Panneaux solaires photovoltaïques	23
II.2.2	Panneaux solaires thermiques	23
II.3	**Etat de l'art des technologies de la réfrigération solaire**	**23**
II.3.1	Réfrigération électrique	23
II.3.2	Réfrigération thermique	24
II.3.3	Systèmes de sorption à cycles fermés	27
II.3.4	Cycles ouverts	28
II.4	**Déférant type des machines frigorifique solaire**	**29**
II.4.1	Absorption	29
II.4.2	Adsorption	31
II.5	**Machine à absorption solaire**	**31**
II.5.1	Rappel historique	31

II.5.2	Principe de fonctionnement de la machine frigorifique à absorption	33
II.5.3	Description des machines	34
II.6	**Fluides frigorigènes utiliser**	**35**
II.6.1	Rappel historique	37
II.6.2	Propriétés nécessaires du fluide frigorigène	39
II.6.3	Classification des fluides frigorigènes	40
II.6.4	Critères de choix	42
II.7	**Conclusion**	**45**

Chapitre III : Étude thermodynamique d'une installation à absorption

III.1	**Introduction**	**46**
III.2	**Cycle à simple effet avec échangeur de solution**	**46**
III.2.1	Modélisation de la machine frigorifique solaire à absorption	47
III.2.1.1	Analyse du générateur	47
III.2.1.2	Analyse de condenseur	48
III.2.1.3		49
III.2.1.4	Pompe de solution	50
III.2.1.5	Echangeur de solution (chaleur)	51
III.2.1.6	Coefficient de performance (COP)	52
III.3	**Couples binaires de travail**	**53**
III.3.1	NH3/H2O	53
III.3.1.1	Fonctionnement	53
III.3.1.2	Effet des paramètres de fonctionnement	54
III.3.1.3	Avantage du cycle (NH3/H2O)	55
III.3.1.4	Inconvénient du cycle (NH3/H2O)	55
III.3.2	H2O/LiBr	56
III.3.2.1	-LiBr	56
III.3.2.2	Fonctionnent	56
III.3.2.3	Avantages du cycle (H2O/LiBr)	57

III.3.2.4 Inconvénients du cycle (H2O/LiBr) 58

III.4 Conclusion 59

Chapitre IV : Simulation et résultats

IV.1 Introduction 60

IV.2 Présentation de lieu de l'implantation de l'installation 60

IV.2.1 Données géographiques 60

IV.2.2 Données métrologiques 61

IV.3 Simulation 61

IV.3.1 ESS (Energétique Equation Solver) 63

IV.4 Simulation d'une installation a absorption du couple binaire (H2O/LiBr et NH3/H2O) 64

IV.4.1 H_2O / LiBr 64

IV.4.1.1 Discussion de résultat 66

IV.4.2 NH_3/H_2O 67

IV.4.2.1 Discussion de résultat 69

IV.5 Conclusion 69

Conclusion Générale 70

Références

Liste des Figures

Figure I.1	Coupe schématique du soleil
Figure I.2	Dimension de différentes couches du soleil en km
Figure I.3	Spectre du rayonnement solaire
Figure I.4	Mouvement de la terre autour du soleil
Figure I.5	Longitudes et latitudes sur le globe
Figure I.6	
Figure I.7	
Figure I.8	Système de coordonnées horizontales pour le vecteur position S repéré par
Figure I.10	
Figure I.11	Répartition spectrale du rayonnement solaire
Figure I.12	Trois types de rayonnement solaire
Figure I.13	Pyrhéliomètre (mesure le rayonnement direct)
Figure I.14	-soleil
Figure I.15	Pyranomètre (modèle SR11)
Figure I.16	
Figure I.17	Ensoleillent moyen annuel dans le monde
Figure I.18	

Figure II.1	Organigramme des diverses familles de systèmes frigorifiques.
Figure II.2	Schéma de principe d'une machine à compression
Figure II.3	Cycle thermodynamique
Figure II.4	Cycle de Carnot

Figure II.5	
Figure II.6	Schéma de fonctionnement du cycle absorption simple effet
Figure II.7	Eau
Figure II.8	Ammoniac
Figure II.9	CO2
Figure II.10	Dioxyde de soufre (SO2)

Figure III 1	
Figure III 2	Schéma du générateur ou désorbeur
Figure III 3	Schéma du condenseur
Figure III 4	
Figure III 5	
Figure III 6	Schéma de la pompe de solution
Figure III 7	
Figure III 8	NH_3/H_2O
Figure III 9	absorption double effets avec une solution de $H_2O/LiBr$

Figure IV 1	Diagramme de Merkel
Figure IV 2	
Figure IV 3	Logiciel EES
Figure IV 4	Variation de coefficient de performance (COP) en fonction de Tm
Figure IV 5	Variation de coefficient de performance (COP) en fonction de Tg
Figure IV 6	Variation de coefficient de performance (COP) en fonction de Tev

Figure IV 7	Variation de coefficient de performance (COP) en fonction de Tm
Figure IV 8	Variation de coefficient de performance (COP) en fonction de Tg
Figure IV 9	Variation de coefficient de performance (COP) en fonction de Tev

Liste des Tableaux

Tableau I.1	Caractéristiques principales du soleil
Tableau I.2	Gisement solaire en Algérie

Tableau II.1	Cycles et les principes du réfrigérant

Tableau IV.1	Caractéristiques de quelques zones du pays
Tableau IV.2	Température ambiante moyenne mensuelle en °C

Nomenclatures

Nomenclatures	Désignations	Unités
ASA	Agence Spatiale Allemande	/
BTU	British Thermal Units	/
c	Célérité de la lumière dans le vide	$m.s^{-1}$
HT	Dioxyde de carbone	/
COP	Coefficient de performance	/
CFC	Chlorofluorocarbures	/
DEC	Dessiccant Evaporative Cooling	/
EES	Engineering equation solver	/
Ei	Energie du photon	J
Ex	J f f f	
h	Constante de Planck	J.s
HCFC	Hydrochlorofluorocarbures	/
h	Enthalpie	KJ/Kg
H1	Enthalpie	KJ/Kg
H2	Enthalpie	KJ/Kg
H3	Enthalpie	KJ/Kg
H4	Enthalpie	KJ/Kg
GA	Groupes à absorption	/
GWP	Global Warming Potential	/
LiBr	Bromure de Lithium	/
m	Débit massique	Kg/s

NH_3	Ammoniac	/
ODP	Ozone Depletion Potential	/
PFC	Perfluorocarbures	/
P	Pression	bar
PV	Panneau photovoltaïque	/
Q	Quantité de chaleur	J
Q_f	Transfert thermique avec la source froide	J
Q_{ch}	Transfert thermique avec la source chaude	J
Qg	Quantité de chaleur fournit au générateur	J
Qc	Quantité de chaleur cédée par le condenseur	J
Qe	Quantité de chaleur f f f f 3	J
Qa	Quantité de chaleur f f 3	J
R11	Trichlorofluoromethane	/
R32	Difluoromethane	/
R125	Pentafluoroéthane	/
R134a	Tétrafluoroéthane	/
R410A	Hydrofluorocarbures	/
R22	Chlorodifluorométhane	/
R600a	Isobutane	/
R404A	Zéotropique fluoroéthanes	/
R410A	Hydro fluoro carbones	/
R407C	Calorie fluor	/
SO2	Dioxyde de soufre	/
T_m	Température ambiante	°C

Ta	Température absorbeur	°C
Te	Température évaporateur	°C
Tc	Température condenseur	°C
Tg	Température de la source froide	°C
T_f	Température de la source chaude	°C
TEWI	Total Equivalent Warming Impact	/
TSV	Temps solaire vrai donné par Capderou	heure
W	Travail	J
WC	Travail de compresseur	J
Wp	Travail de la pompe	J
N	Fréquence du photon	Hz
	volume spécifique	m^3/kg
X	Concentration massique	Kg/m^3

Terme LATIN & GREC

Symboles Grec	**Désignations**	**Unité**
φ	Latitude	rad
γ	Longitude L	rad
	Altitude	m
ω	Angle horaire	rad
δ	Déclinaison solaire	rad
γ	Angle de la hauteur du soleil	rad
θ	Angle zénithal	rad
	Azimut	rad

λ	Q f f f	m
ν	Fréquence du photon	Hz

Introduction Générale

Introduction générale

La dépendance aux énergies fossiles, telles que le pétrole et le charbon, reste préoccupante dans les secteurs industriels et domestiques. Cependant, la raréfaction de ces ressources naturelles nous pousse à explorer des alternatives plus durables. Les éne

considérables, réduisant les émissions de gaz à effet de serre et minimisant les problèmes liés à

relever les défis actuels.

ressources énergétiques plus compétitives. Les coûts énergétiques, qui étaient autrefois un obstacle, sont désormais mieux maîtrisés grâce à des avancées technologiq
énergies renouvelables. Ces dernières deviennent progressivement plus concurrentielles par [a]

énergétiques des sociétés industrialisées ne cessent de croître. Par ailleurs, les pays en

cette étude bibliographique, il est constaté que la plupart des travaux dans le domaine de la

principe de la thermodynamique. Ce princi
et les performances des systèmes thermiques tels que les cycles de réfrigération par absorption. [b]

En effet, la production de froid peut être réalisée par deux principaux systèmes : la compression

simple effe ou $LiBr/H_2O$) grâce à des simulations numériques sous différentes conditions. [c]

Le but principal de notre travail est de faire une simulation d'un système de rafraichissement solaire par absorption utilisant les deux mélange NH_3/H_2O et aussi $LiBr/H_2O$ en utilisant le premier principe de la thermodynamique.

Note travail et repartie sur 4 chapitres qui sont repartie de la façon suivante :

Le premier chapitre de notre

notions et définitions astronomiques fréquemment utilisées dans le domaine solaire.

Le deuxième chapitre on a parlé sur état
(réfrigération électrique et réfrigération thermique) et aussi sont principe de fonctionnement et ces composent en suit les déférant type des machines frigorifique solaire (absorption et adsorption) et

cycle

Le troisième chapitre et basé sur notre sujet é
absorption on a parlé sur la modélisation de la machine frigorifique solaire à absorption et aussi

ainsi que la relation de coefficient de performance (COP) en fonction du bilan.

Le quatrième chapitre constituant a la simulation des bilans
absorption couple binaire NH_3-H_2O et LiBr-H_2O avec discussion des résultats.

Recherche bibliographique

Recherche bibliographique

Au XVIe siècle, les Indiens du Pérou creusaient des glacières dans le sol avant l'arrivée des Européens. Ce système de fosses a été adopté dans toute l'Europe à partir du XVIIe siècle. Des commerçants vendaient de la glace provenant des montagnes. À la cour du Roi Soleil, l'évaporation de l'éther était utilisée pour refroidir des crèmes de fruits. En 1755, l'Écossais William Cullen parvint à produire un peu de glace en utilisant la vapeur d'eau sous cloche à vide.

Les glacières de cette époque étaient des structures rudimentaires, souvent de simples excavations aménagées dans la terre ou des grottes. La glace ou la neige y était enfouie et entourée de matériau isolant, probablement de la paille. Au XVIIe siècle, le commerce de la glace à grande échelle se développa en France et en Espagne. Le nombre de glacières augmenta, et leur conception varia selon les régions, en fonction des critères climatiques et géologiques. Par exemple, dans l'Europe septentrionale, on utilisait des cuves hors du sol en bois, tandis que dans le pourtour méditerranéen, on construisait des fosses maçonnées.

Ces glacières, bien que modestes à l'origine, devinrent des éléments esthétiques dans les jardins. Au XVIIIe siècle, elles furent intégrées aux jardins réguliers et se transformèrent en « fabriques » pittoresques dans les jardins irréguliers. Plus tard, au XIXe siècle, les glacières commerciales supplantèrent les glacières privées pour des raisons économiques. Ces usines à glace, grâce à l'industrialisation de la production et à l'importation de glace, pouvaient stocker des quantités immenses, atteignant parfois plus de dix mille tonnes. [H.1]

Au XIXe siècle, l'utilisation de glacières était répandue. Ces meubles isothermes contenaient des blocs de glace qui étaient périodiquement renouvelés. Avant l'ère industrielle, la commercialisation de la glace permettait aux plus fortunés de disposer de produits conservés ou consommés à basse température. Ces glacières étaient essentielles pour préserver la fraîcheur des aliments et des boissons, offrant ainsi un luxe apprécié par ceux qui pouvaient se le permettre.

- En 1805, un prototype de machine frigorifique à compression d'éther fut présenté à Philadelphie par Oliver Evans. La nouveauté essentielle résidait dans l'introduction d'un processus en cycle fermé.
- En 1824, le seul livre de Sadi Carnot parut. Il exposa les deux principes de la thermodynamique de façon très simple. C'est de lui que nous vient le cycle de Carnot.

- En 1844, l'Américain John Gorrie appliqua le principe de la détente d'air sur sa machine frigorifique à air, un concept déjà connu au XVIIIe siècle.
- En 1850, John Gorrie obtint un brevet anglais pour sa machine frigorifique à air. Curieusement, son invention fit scandale aux États-Unis, où certains l'accusaient de vouloir concurrencer Dieu en produisant de la glace à n'importe quel moment de l'année. Finalement, en 1851, il obtint son brevet.
- En 1854-1856, l'inventeur australien James Harrison utilisa le principe de la compression de vapeur pour produire en Australie le premier réfrigérateur pratique au monde.
- En 1858, Charles Tellier fabriqua une machine frigorifique à circulation de gaz ammoniac liquéfié.
- En 1859, le français Ferdinand Carré, frère d'Edmond, fit breveter une machine frigorifique à absorption. Dans ce système, le fluide, après avoir produit du froid, est absorbé par une autre substance plutôt que d'être aspiré par un compresseur. C'est la première machine frigorifique à absorption.
- En 1865, Charles Tellier construisit une machine à compression mécanique à gaz liquéfié et l'installa dans la fabrique du maître-chocolatier Menier.
- En 1872, David Boyle, un Américain d'origine écossaise, obtint le premier brevet pour un compresseur utilisant l'ammoniac. Cette machine réfrigérante à compresseur à ammoniac marqua une étape importante dans l'histoire de la réfrigération.
- En 1876, le navire Frigorifique, équipé d'une machine Tellier, quitta Rouen et rapporta à Buenos Aires de la viande déshydratée et réfrigérée en bon état de conservation après 105 jours de mer. Cette prouesse démontra l'efficacité des systèmes de réfrigération pour la préservation des aliments sur de longues distances.

- 1939 : Apparition du premier réfrigérateur à deux températures, permettant de conserver des aliments congelés dans l'un des compartiments.
- 1944 : La machine frigorifique à absorption est mise au point par la société suisse Sibir.
- 1997 : La technique de refroidissement d'atomes par laser vaut le prix Nobel de physique 1997 à Claude Cohen-Tannoudji, Steven Chu et William D. Phillips.
- En 1998, la société Daewoo a introduit un réfrigérateur-congélateur innovant équipé d'une porte à cristaux liquides. Ce modèle, surnommé le « miroir magique », offre l'avantage de révéler le contenu par une simple pression sur un bouton. Cette transparence temporaire de la porte permet de réaliser des économies d'énergie en évitant toute déperdition de froid.
- En 1999, un prototype de réfrigération solaire à adsorption a été créé. Plusieurs réfrigérateurs solaires de ce type sont actuellement utilisés en Afrique. Ces systèmes exploitent l'énergie solaire pour maintenir les aliments au frais, offrant une solution durable et écologique dans les régions où l'accès à l'électricité est limité.

Au XXIe siècle, les réfrigérateurs sont devenus un élément essentiel de nos foyers. En 2002, 99 % des foyers français étaient équipés de réfrigérateurs, faisant de cet appareil le plus répandu dans les ménages. Grâce à ces innovations, nous pouvons conserver nos aliments plus longtemps et profiter d'une meilleure qualité de vie. [H.2]

L'extension de ces recherches ont aboutie jusqu'à l'Algérie, exactement à Ouargla, Les travaux menés par T. Guérit et A. Dobbi portent sur l'analyse et la simulation thermodynamique d'une machine à absorption à simple étage (H2O-LiBr), couplée à l'énergie solaire. Voici un résumé des aspects clés de leurs études :

- T. Guérit a utilisé la méthode PHIBAR-F-CHART pour déterminer la fraction solaire annuelle. Les résultats ont été comparés avec ceux de la région de Constantine. Cette approche permet d'évaluer l'efficacité de la machine à absorption dans des conditions spécifiques d'ensoleillement.
- Dobbi s'est concentré sur la climatisation solaire en utilisant un système à absorption. Son étude a couvert plusieurs aspects, notamment :
- La captation solaire pour fournir la chaleur nécessaire.
- La conception d'une machine frigorifique solaire à absorption utilisant le couple H2O-LiBr.

- L’élaboration de modèles de calcul du flux thermique pour évaluer les performances du système.
- L’étude du milieu à conditionner, c’est-à-dire l’environnement où la climatisation sera utilisée. [H.3]

CHAPITRE I

Gisement solaire

Chapitre I

Gisement Solaire

I.1. Introduction

disponible en un lieu, nous pouvons mieux appréhender les phénomènes climatiques majeurs régis

connaissance nous aide également à évaluer la taille et le fonctionnement des systèmes énergétiques solaires. [1]

Dans ce chapitre nous allons tout d'abord mettre le point sur quelques notions astronomiques

sur le rayonnement solaire. Ainsi, les différentes composantes du rayonnement solaire.

I.2. Energie solaire

I.2.1. Soleil

Le soleil, astre solaire qui trône au centre de notre système, irradie la Terre de sa lumière. En effet, il faut

sommation énergétique

Les déserts terrestres, ces vastes étendues arides, sont les privilégiés de cette générosité solaire.

ssance que nous offre notre étoile bienveillante.

énergie. Après avoir parcouru cette distance, le rayonnement solaire atteint la surface terrestre. Ce rayonnement peut

$5800k$. [2]

simple sphère gazeuse. Imaginez un diamètre colossal de $14 \times 10^5 km$! Sa masse, quant à elle, $2 \times 10^{30} kg^2$. Voilà une étoile qui ne fait pas dans la demi-mesure.

Mais que cache-t-

mélange mystérieux de plus de 100 éléments. Imaginez ce ballet atomique, cette danse cosmique au sein de notre astre bien-aimé.

Une étoile qui brille pour nous, et dont la composition fascinante nous rappelle que nous sommes tous des enfants des étoiles.[3]

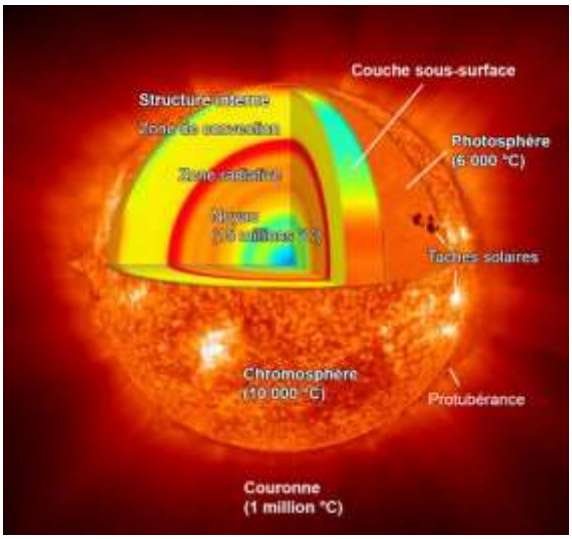

Figure I.1 Coupe schématique du soleil

I.2.2. Caractéristiques principales du soleil

L'étoile qui forme le centre du système solaire et qui est la plus proche de la terre est le soleil. Grâce au soleil, notre planète peut fournir de l'énergie sous forme de lumière et de chaleur. C'est cette étoile qui produit les différentes conditions climatiques, courants océaniques et saisons de l'année. En d'autres termes, c'est précisément parce que le soleil fournit les conditions de base nécessaires à l'existence de la vie. Les caractéristiques du soleil sont uniques et ses performances sont très intéressantes.[4] Le Soleil est une boule de gaz chaud composée principalement

connaissons sur Terre. Le (Tableau I.1) représenté Les caractéristiques principales du soleil [5]

Tableau I.1 : Caractéristiques principales du soleil

Caractéristique	**Valeur**
Masse	$1{,}989 \times 10^{30}$kg
Diamètre	$1{,}392 \times 10^{9}$kg
Masse volumique Moyenne	$1410 kg/m^3$
Puissance rayonnée	$3{,}83 \times 10^{26}$w
Température superficielle	$5770k$
Vitesse de déplacement	$216 km\ s^{-1}$

I.2.3. Origine de l'énergie solaire

Le soleil puise son énergie des réactions thermonucléaires qui se produisent en permanence dans son noyau, où la température atteint 15 millions de degrés. En raison des températures et des tat gazeux ou sous forme de plasma. La couche externe du soleil, appelée photosphère et visible depuis la Terre, présente une $5800k$. Les réactions thermonucléaires qui se produisent dans le noyau du soleil transforment chaque seconde une quantité colossale de matière en énergie,

$$4\,{}_1^1H \rightarrow {}_3^4He + 2\beta + 26{,}7Mev \qquad \text{(I.1)}$$

seulement 34 % dans la partie centrale. Cette transformation permanente a commencé il y a environ olatilisées et désintégrées lors de gigantesques explosions nucléaires. Le processus en jeu est bien compris grâce à la célèbre $E = mc^2$, qui montre que toute disparition de masse (m) entraîne une

$4.28 \times 10^9 kg/s$, ce qui équivaut à une

$3{,}85 \times 10^{20} MW$.

Sur le plan énergétique, un réacteur de centrale nucléaire produit généralement $1000MW$. Le soleil fournit donc une puissance équivalente à celle de 4×10^{17}réacteurs nucléaires, un chiffre véritablement astronomique. Cependant, seule une petite partie de cette puissance est reçue par la

deux milliards de fois mo

respectable, environ $1{,}9 \times 10^{11} MW$. Le système Terre-atmosphère réfléchit environ 30% de

transformés en chaleur. [6]

I.2.4. Structure du soleil

La structure du Soleil peut être divisée en plusieurs couches concentriques. Voici les quatre zones distinctes :

- ***Noyau :***
  en permanence. La température y atteint 15 millions de degrés. Ces réactions transforment chaque seconde une quantité colossale de matière en énergie.
- ***Photosphère :***

  K. Elle émet la majeure partie de la lumière solaire que nous percevons.
- ***Chromosphère :*** Située au-dessus de la photosphère, elle est moins visible mais émet une

  éruptions solaires.
- ***Couronne :*** -delà de
  la photosphère. Elle est extrêmement chaude et émet principalement des rayonnements ultraviolets. La couronne est visible lors des éclipses totales de soleil. [7]

Sa structure est schématisée dans la figure (I. 2)

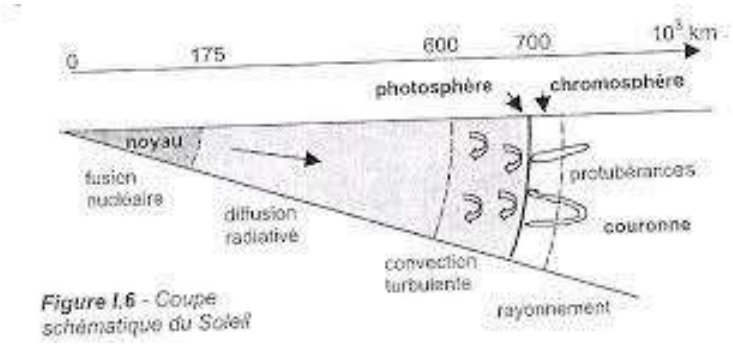

Figure I.2 : Dimension de différentes couches du soleil en km

considérable. Ces réactions sont rendues possibles grâce à des caractéristiques cruciales du noyau solaire : une densité extrêmement élevée (environ $10kg/m^3$), une température gigantesque de 15 millions de degrés Celsius et une pression colossale de $2 \times 10^{11} bars$
du centre, la densité diminue, et cette distance de 175 km correspond au quart du rayon du soleil.

-unes de ses contributions majeures :

I.2.5. Origine de la vie

I.2.6. Climat et météorologie

courants océaniques et influence les vents. Les variations saisonnières sont également dues à leil.

L
soutenant la vie et régulant notre environnement. [8]

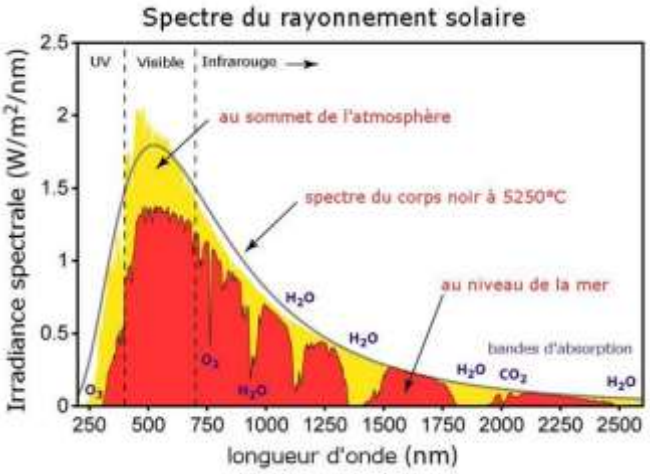

Figure I.3 : Spectre du rayonnement solaire[8]

I.3. Mouvements de la Terre autour du soleil

La Terre effectue une révolution autour du Soleil dans un plan appelé « écliptique ». Cette orbite elliptique dure environ 365,25 jours, ce qui définit notre année. Pendant cette révolution, la Terre tourne sur elle-même, ce qui crée nos jours et nos nuits ((Figure I.2). Pendant cette révolution

- 23,5°

[9]

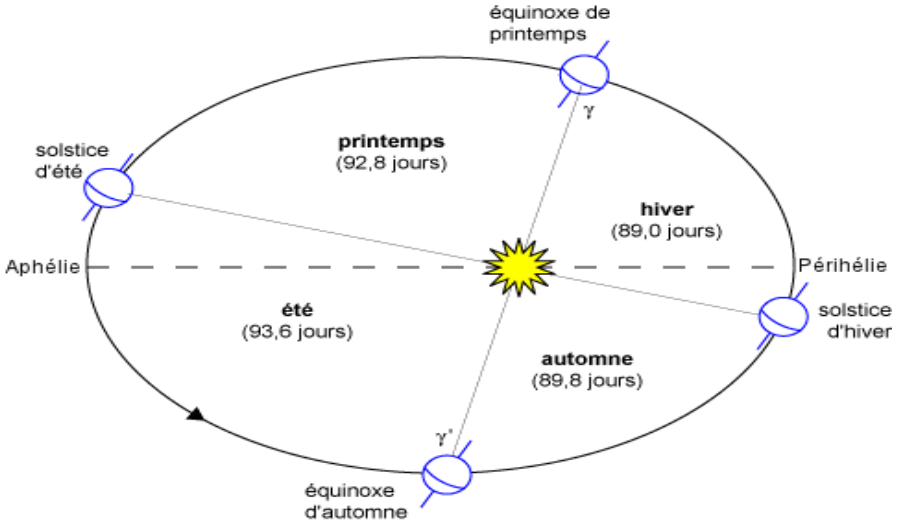

Figure I.4 : Mouvement de la terre autour du soleil

Le mouvement de la Terre autour du Soleil est fascinant et essentiel pour notre existence. Voici quelques éléments clés :

I.3.1. Révolution annuelle

Ce voyage annuel couvre environ un milliard de kilomètres. Du point de vue du pôle Nord, la Terre suit son orbite dans le sens antihoraire.

I.3.2. Solstices et équinoxes

Aux solstices, la Terre est plus proche du Soleil (147 millions de km au

I.3.3. Rotation sur elle-même

La Terre tourne sur elle-même en environ 24 heures, créant ainsi nos jours et nos nuits. Son axe

I.4. Calcul de la position du soleil

Chaque point sur la surface de la Terre peut être repéré par deux coordonnées appelées coordonnées terrestres :

I.4.1. Longitude L (ou γ)

La longitude mesure la distance est-ouest par rapport au méridien de Greenwich. Elle varie de $-180°$ à $+180°$.

I.4.2. Latitude (φ)

La latitude mesure la distance nord- -90° (pôle Sud) à $+90°$ (pôle Nord).

I.4.3. ltitude (z)

théorique, telle que le niveau moyen de la mer. Cette hauteur est généralement exprimée en mètres ou en pieds au-dessus du niveau de la mer. **[10]**

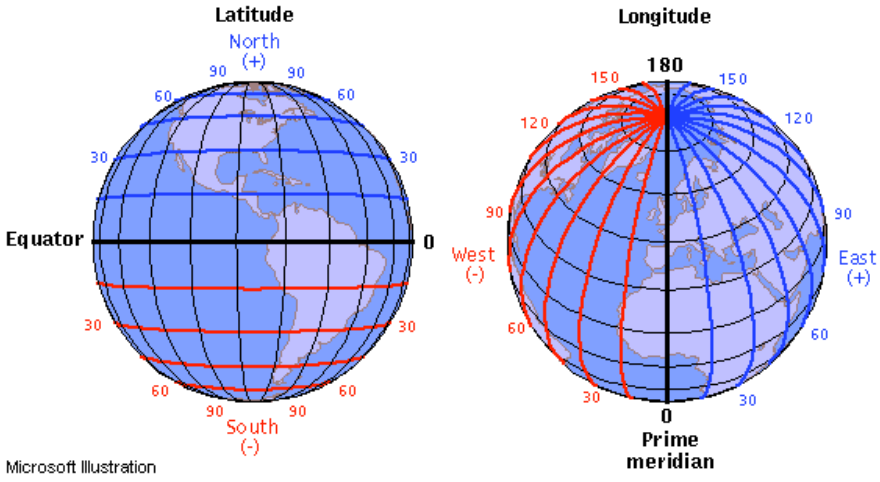

Figure I.5 Longitudes et latitudes sur le globe **[11]**

I.5. Trajectoire apparente du soleil

La position du soleil dans la voûte céleste est repérée à tout instant de la journée par deux systèmes de coordonnées :

I.5.1. Coordonnées équatoriales [12]

I.5.1.1. D a

précédent « Mouvement de la Terre autour du Soleil ».

-23,45° à +23,45° :

1. Équinoxe de printemps (21 mars) : $\delta = 0°$
2. $\delta = +23{,}45°$
3. $\delta = 0°$
4. $\delta = -23{,}45°$

peuvent se calculer

par les relations [13] :

$$\delta = 23{,}45 \times \sin[\frac{360}{365(284+n)}] \qquad \text{(I.2)}$$

Où :

$$\delta = 23{,}45 \times \sin[\frac{360}{365(284+n)}]$$

n

I.6

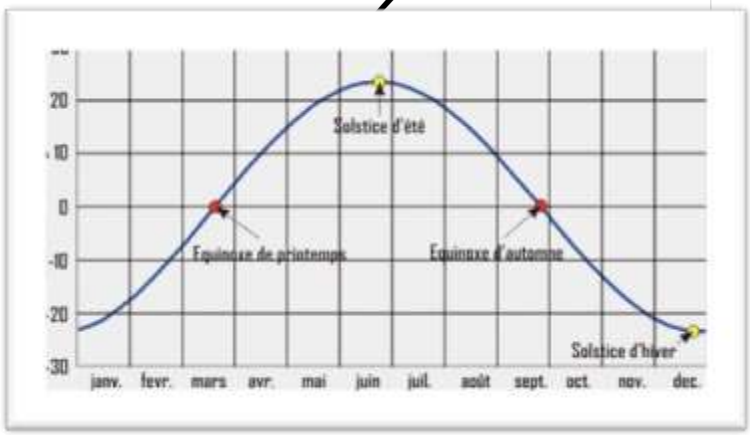

Figure I.6

I.5.1.2. A e c f c f'

moment où le soleil traverse le méridien du lieu zénith. Cet angle est formé entre la position projetée du soleil sur le plan équatorial à un instant donné et sa position projetée sur ce même plan

: [14]

$$\omega = 15\,(TSV - 12) \qquad \text{(I.3)}$$

$$TSV = 12 + \omega / 15 \qquad \text{(I.4)}$$

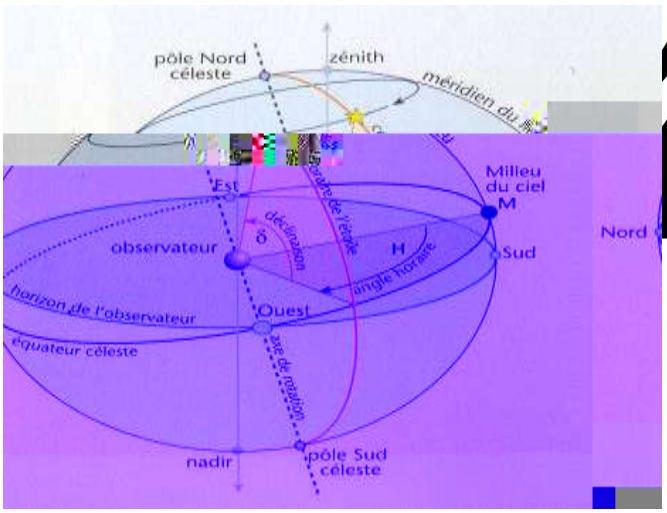

Figure I.7 Angle

I.5.2. Coordonnées horizontales

Le soleil est repéré par les grandeurs suivantes :

I.5.2.1. Angle bc f c c s (hs)

angle qui sépare l astre du plan horizontal voir figure I.8 [9]. varie de 0° à 90° vers le zénith et de 0° $vers$ − 90° vers le nadir : [16]

$$\sin\gamma = \sin\theta \sin\delta + \cos\theta \cos\delta \cos\omega \qquad \text{(I.5)}$$

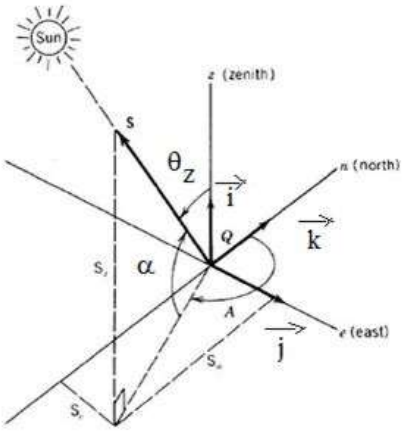

Figure I.8 Système de coordonnées horizontales pour le vecteur position S repéré par les coordonnées a,

I.5.2.2. Azimut ( )

direction Nord [9]. L azimut est l angle entre le plan vertical contenant le rayon solaire et la direction sud. Il se compte de 0° à 360° à partir du sud dans le sens rétrograde. La relation qui azimut est donnée ci-dessous [18] :

$$\cos(\Psi) = \frac{\sin\gamma \sin\theta - \sin\delta}{\cos\gamma \cos\theta} \qquad \text{(I.6)}$$

I.6. Rayonnement solaire

6.1. Définition

$(0{,}2\ \mu m)$ $(2{,}5\ \mu m)$. Pour caractériser le spectre solaire en

$1350\ W/m^2$ (AM0)

I.10.

partie du spectre lumineux provenant du soleil, en particulier les ultraviolets dangereux pour la santé.

Le rayonnement solaire direct reçu au niveau du sol (à $90°\ d'inclinaison$) atteint environ $1000\ W/m^2$ (AM1) en raison de cette absorption atmosphérique.

θ

par le rayonnement solaire atteignant le sol avec un angle de 48° avoisine les 833 W/m² (AM1,5).

Pour déterminer le rayonnement global reçu au sol, il faut ajouter à ce dernier le rayonnement diffus. Le rayonnement diffus concerne tout le rayonnement dont la trajectoire entre le soleil et le qui est dispersé ou réfléchi par

En considérant ces éléments, on obtient une référence du spectre global notée AM 1,5 avec une puissance de $1000\ W/m^2$, comme illustré dans la figure 9 correspondant à nos latitudes. [19]

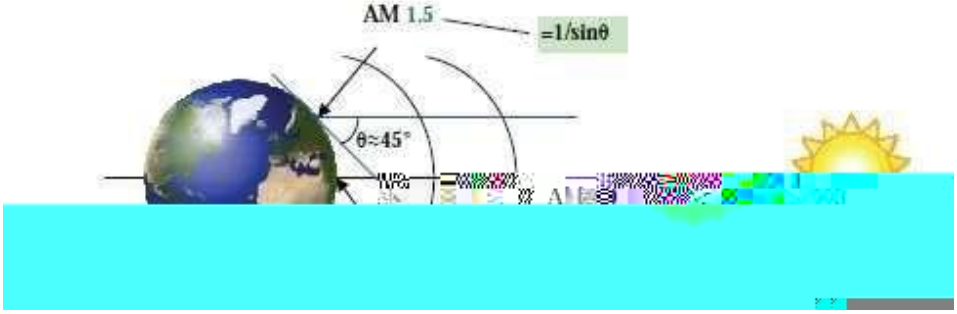

Figure I.10 [19]

photoélectrique. Il a découvert que certains matériaux pouvaient émettre un faible courant pprofondi cette recherche et a

relation suivante :

$$E = h\,.\,\nu = h.\,c/\,\lambda \qquad \text{(I.8)}$$

Où :

Où h est la constante de Planck, c la vitesse de la lumière et λ

Einstein le prix Nobel en 1905.

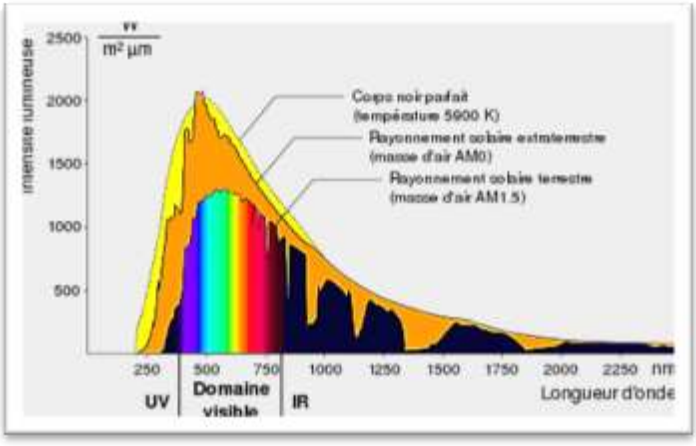

Figure I.11 Répartition spectrale du rayonnement solaire

I.6.2. Composantes du rayonnement solaire

-

  $(W/m^2$

-

  Elle est exprimée en watt-heure par mètre carré (Wh/m^2)

Au sol, on distingue trois composantes :

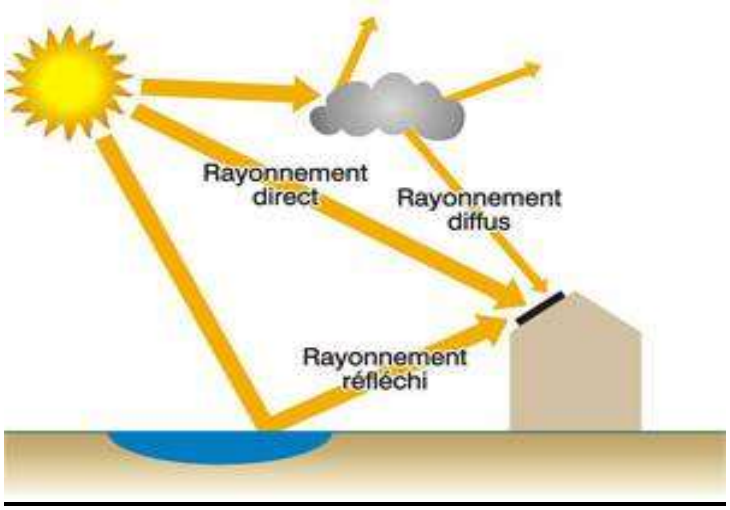

Figure I.12 Trois types de rayonnement solaire

I.6.2.1. Rayonnement direct

Le rayonnement direct est un flux de lumière émis par le Soleil qui se propage en ligne droite parallèle, et sa

rayonnement direct atteint la Terre sans être altéré. En revanche, si le ciel est nuageux, les rayons directs entrent en collision avec les nuages et sont diffusés dans toutes les directions. [20]

I.13), appareil dont la surface sensible est toujours disposée perpendiculairement aux rayons solaires

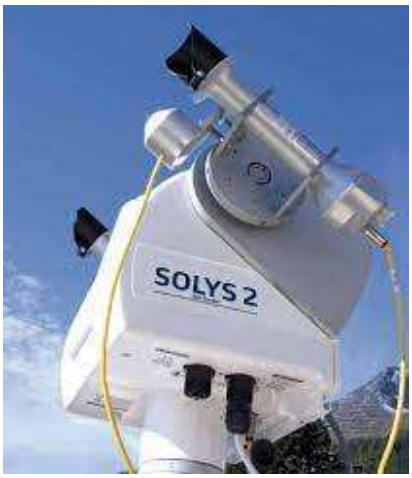

Figure I.13 : Pyrhéliomètre (mesure le rayonnement direct)

I.6.2.2. Rayonnement diffus

Le rayonnement diffus est un rayonnement solaire indirect, induit par la dispersion de la lumière dans les nuages et les particules atmosphériques. Contrairement au rayonnement direct, le rayonnement diffus est altéré par les obstacles atmosphériques et se répand dans toutes les directions. Il est donc moins concentré et uniforme que le rayonnement direct. [20]

-soleil (anneau métallique cachant le disque solaire) (figure I.14)

Figure I.14 -soleil

I.6.2.3 Rayonnement global

aussi comme le rayonnement reçu sur une surface horizontale provenant du soleil et de la totalité de la voûte céleste, on le mesure avec un pyranomètre Figure (I.15) [20]

Figure I.15 : Pyranomètre (modèle SR11)

I.6.2.4. Albédo du sol

rayonnement diffusé ou

comprendre comment la surface terrestre interagit avec le rayonnement solaire et influence le climat global.

processus environnementaux. [11]

Figure I.16 : Albédomètre

I.7. Gisement solaire dans le monde

La situation géographique de notre planète nous offre un gisement solaire abondant. Cette

a production

électricité est devenue une solution de plus en plus courante et durable. [21]

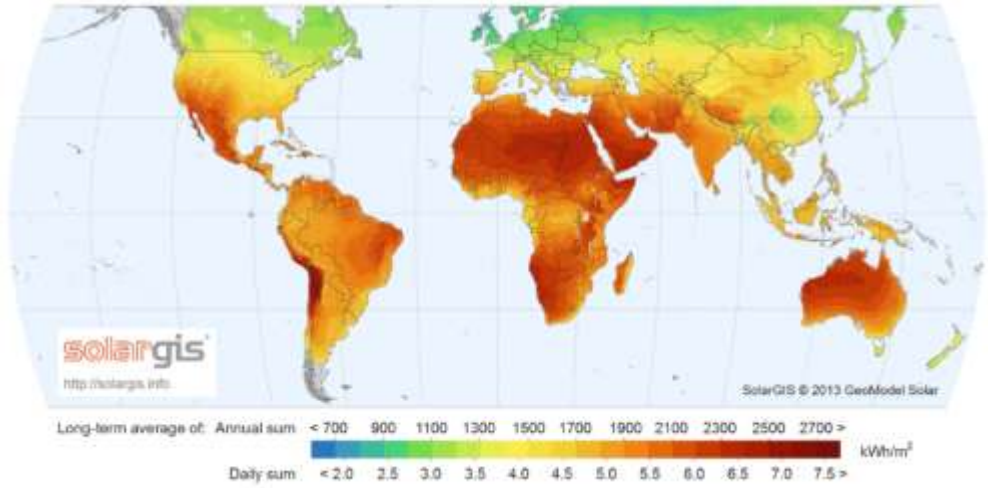

Figure I.17 Ensoleillent moyen annuel dans le monde [21]

I.8 Gisement solaire en Algérie

système énergétique solaire et faire un dimensionnement le plus exact possible compte tenu de la demande à satisfaire. [21]

énergétiques et la sécurité publique. [21]

De par sa situation géographique, l'Algérie dispose d'un des gisements solaires les plus élevés au monde comme le montre la figure (I.14).

La durée d'insolation sur la quasi-totalité du territoire national dépasse les 2000 heures annuellement et peut atteindre les 3900 heures (hauts plateaux et Sahara). L'énergie reçue quotidiennement sur une surface horizontale de 1 m2est de l'ordre de 5 KWh sur la majeure partie du territoire national, soit près de 1700 $KWh/m2/an$ au Nord et 2263 $kwh/m2/an$ au Sud du pays, ce gisement solaire dépasse les 5 milliards de GWh. [21]

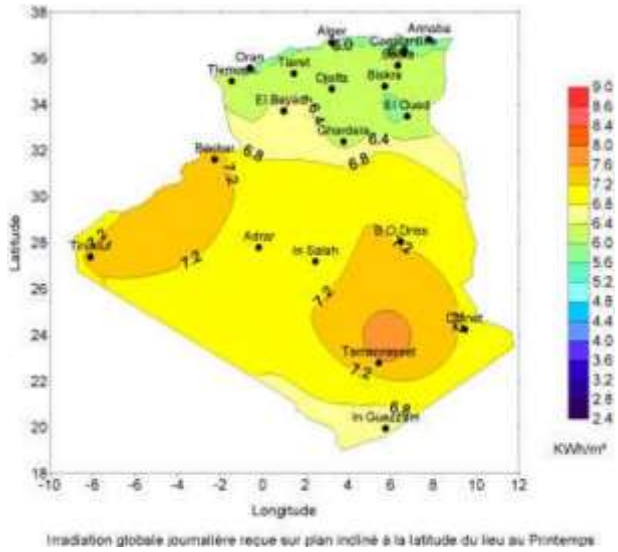

Figure I.18

est estimé à 169 000 TWh/an pour le solaire thermique et 13,9 TWh/an pour le solaire photovoltaïque. Pour vous donner une idée, le potentiel solaire algérien équivaut à la découverte de 10 grands gisements de gaz naturel à Hassi Rmel. La répartition de ce potentiel solaire par région climatique à travers le territoire algérien est présentée dans le tableau (I,5), en fonction de

1]

Tableau (I.2) : Gisement solaire en Algérie [22]

Régions	Région côtier	Hauts plateaux	Sahara
Superficie (%)	4	10	86
Durée moyenne b c c c c (Heures/ans)	2650	3000	3500
Energie moyen reçue (KWh/m^2/an)	1700	1900	2650

I.9. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons abordé les notions essentielles concernant le gisement solaire. Celles-ci incluent les coordonnées terrestres, le mouvement du soleil et les différentes composantes

couches nuageuses.

pour la mise en place de systèmes de

prochain chapitre, nous présenterons les différents appareils et instruments nécessaires pour réaliser ces mesures.

CHAPITRE II

Technologies de Réfrigération Solaire

Chapitre II
Technologies de Réfrigération Solaire

II.1 Introduction

Un tiers de la production alimentaire mondiale est perdu chaque année, en partie à cause du manque d'infrastructures fiables d'alimentation en électricité dans les zones rurales des pays du Sud. Cela empêche les habitants d'utiliser des technologies de réfrigération appropriées.

Le refroidissement, essentiel pour la conservation des aliments, repose souvent sur l'utilisation de réfrigérants. Cependant, ces réfrigérants ont un impact sur le réchauffement climatique et appauvrissent la couche d'ozone, entraînant des problèmes environnementaux majeurs. De plus, les équipements de réfrigération inefficaces et les fuites contribuent fortement aux émissions. Les émissions directes proviennent des rejets de réfrigérant lors de fuites ou d'entretien.

Pour réduire ces émissions, une solution consiste à adopter des technologies basées sur des réfrigérants naturels, une approche appelée refroidissement écologique. Les réfrigérants naturels, tels que l'ammoniac, le dioxyde de carbone (CO_2) et les hydrocarbures (comme le propane ou l'isobutane), sont fabriqués industriellement mais se trouvent également dans la nature. Ils offrent une alternative plus durable et respectueuse de l'environnement.

Quant aux émissions indirectes, elles représentent les deux tiers des émissions totales et sont liées à la consommation d'énergie. Pour les réduire, il est essentiel d'améliorer l'efficacité énergétique et d'utiliser des énergies renouvelables. Dans les régions hors réseau, des solutions d'énergie propre destinées au refroidissement peuvent jouer un rôle crucial dans l'atténuation du changement climatique [1]

La figure I.1 présente un organigramme des différentes familles de machines frigorifiques, illustrant les diverses technologies et leurs caractéristiques

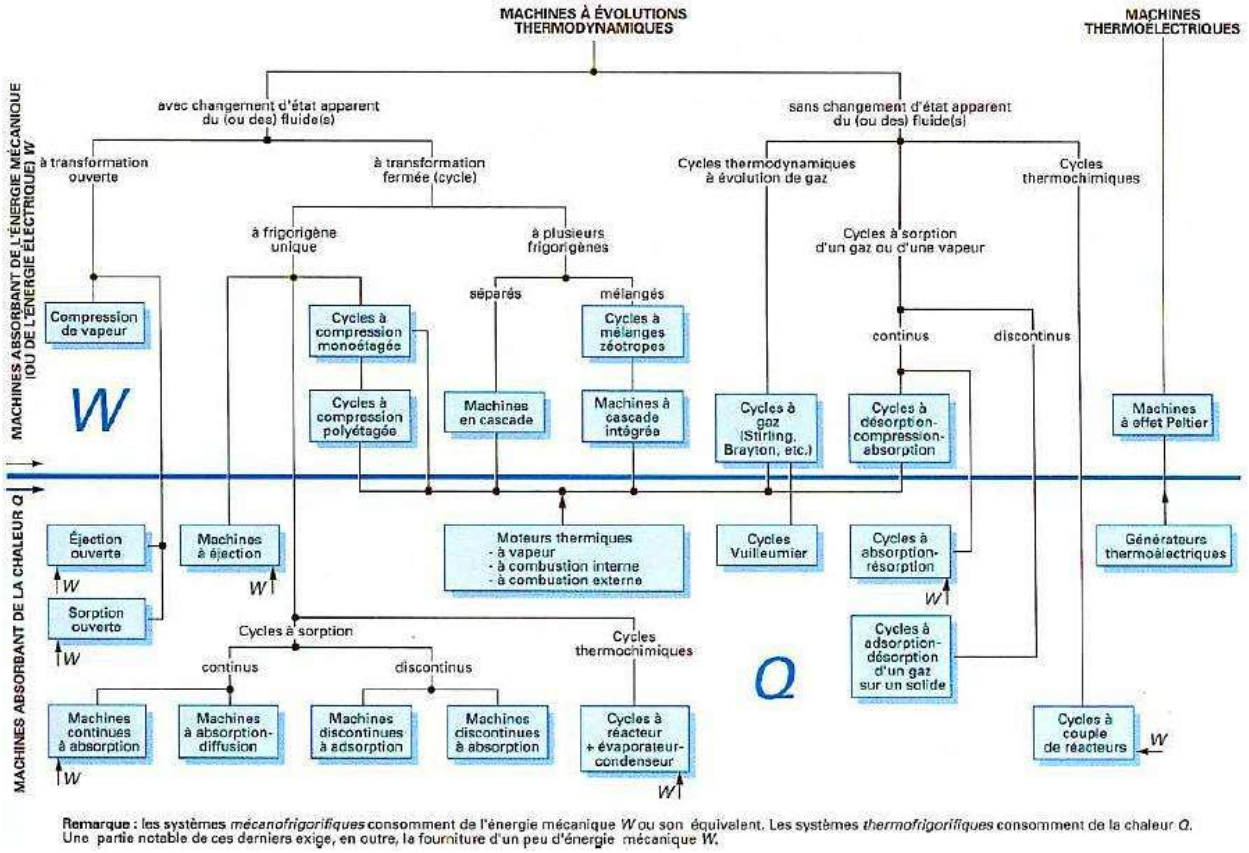

Figure II.1 : Organigramme des diverses familles de systèmes frigorifiques.

II.2 Réfrigération solaire

Le soleil représente une ressource d'énergie abondante et pratiquement inépuisable. Traditionnellement, nous l'utilisons pour le chauffage et la production d'électricité. Cependant, une application moins répandue consiste à générer du froid en utilisant l'énergie solaire. Cette technologie est appelée « climatisation solaire » ou « froid solaire ». Elle permet de refroidir des espaces en utilisant la puissance du soleil. C'est une approche écologique et prometteuse pour la climatisation.

Effectivement, l'idée de produire du froid à partir de la chaleur et des rayonnements solaires peut sembler surprenante. En général, la chaleur se déplace spontanément du « chaud » vers le « froid ». Cependant, au fil des décennies, des méthodes novatrices ont été mises au point pour générer

du froid en utilisant l'énergie solaire. Cette technologie, appelée « climatisation solaire » ou « froid solaire », permet de refroidir des espaces lorsque le soleil brille intensément et que la chaleur est accablante. C'est une approche écologique et prometteuse pour la climatisation.

En effet, ces méthodes exploitent soit des panneaux solaires photovoltaïques, soit des panneaux solaires thermiques.

II.2.1 Panneaux solaires photovoltaïques

Dans ce premier cas, l'objectif est de produire de l'électricité en utilisant des cellules photovoltaïques. Cette électricité alimente ensuite un système frigorifique classique. Cependant, cette méthode présente des rendements de fonctionnement relativement faibles.

II.2.2 Panneaux solaires thermiques

Dans le second cas, la chaleur directement fournie par le soleil est captée par des panneaux solaires thermiques. Cette chaleur est ensuite utilisée pour produire du froid. Le rendement est nettement meilleur dans cette approche.

Il existe trois méthodes principales pour convertir l'énergie solaire en froid :

- Conversion en énergie mécanique couplée avec un climatiseur à compression : Cette méthode transforme l'énergie solaire thermique en énergie mécanique, qui est ensuite utilisée pour alimenter un climatiseur classique.
- Utilisation de l'énergie solaire thermique pour alimenter un climatiseur à évaporation (DEC) : Le climatiseur à évaporation utilise l'énergie solaire thermique pour refroidir l'air. Il est également connu sous le nom de Dessiccant Evaporative Cooling (DEC).
- Alimentation d'une machine à froid à sorption (absorption ou adsorption) : Cette méthode exploite l'énergie solaire thermique pour alimenter une machine à froid spécifique, basée sur les principes d'absorption ou d'adsorption

II.3 Etat de l'art des technologies de la réfrigération solaire

II.3.1 Réfrigération électrique

Il est vrai qu'il existe plusieurs méthodes pour produire du froid à partir de l'énergie électrique. Lorsque cette énergie électrique provient d'un champ de panneaux photovoltaïques (PV), on parle de système de rafraîchissement solaire. Pour optimiser l'efficacité de ces systèmes, il est essentiel d'avoir un coefficient de performance élevé. Les systèmes de rafraîchissement solaire les plus

couramment envisagés utilisent des cycles thermodynamiques di thermes à compression mécanique de vapeur. Cependant, d'autres dispositifs sont également possibles, tels que les cycles de Stirling, l'effet Peltier, le refroidissement thermo acoustique ou magnétique. L'un des systèmes de rafraîchissement solaire les plus prometteurs est le système à absorption. Dans ce type de système, l'énergie solaire est captée par des capteurs solaires thermiques, puis utilisée pour chauffer un fluide réfrigérant. Ce fluide réfrigérant est ensuite utilisé pour refroidir l'air dans un bâtiment. Un exemple courant est l'utilisation d'une solution de bromure de lithium/eau dans un système à absorption. En résumé, les systèmes de rafraîchissement solaire offrent un double avantage : ils réduisent la pollution et diminuent les coûts liés aux combustibles. Ils sont donc une solution prometteuse pour l'avenir, en particulier dans le contexte actuel de préoccupations environnementales et d'efficacité énergétique.

- Le principe de fonctionnement :

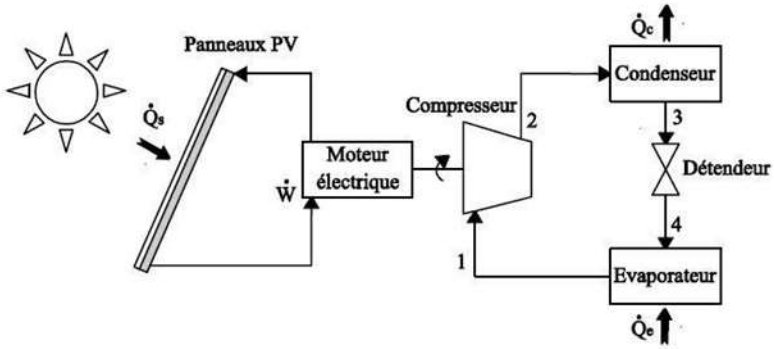

Figure II.2 Schéma de principe d'une machine à compression

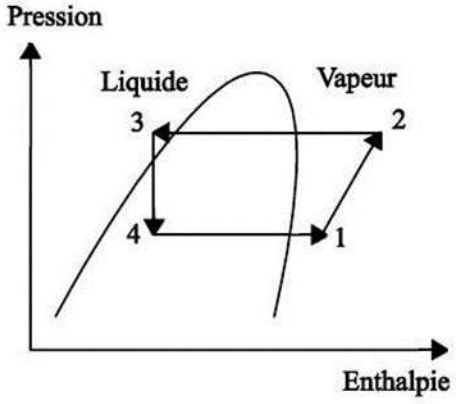

Figure II.3 Cycle thermodynamique

Les Figures I.1 et I.2 illustrent le schéma de principe du couplage des panneaux photovoltaïques (PV) à une machine frigorifique classique utilisant la compression de vapeur. Voici une description du cycle thermodynamique correspondant :

1. Alimentation électrique par les panneaux PV :

- Le champ de panneaux PV fournit de l'électricité au moteur électrique du compresseur de la machine frigorifique.
- Le compresseur est chargé de comprimer une vapeur provenant de l'évaporateur (1) à une pression et une température élevée.

2. Condensation :

   - La vapeur comprimée arrive dans le condenseur (2).
   - Au condenseur, la vapeur cède de la chaleur à la source chaude (l'environnement extérieur) en se condensant.
   - Le fluide frigorigène devient liquide à haute pression.

3. Détente isenthalpique :

- Le fluide frigorigène liquide à haute pression subit une détente isenthalpique, ce qui fait chuter sa pression et sa température.
- Il se transforme en un mélange de liquide et de vapeur (3).

4. Évaporation :

   - Le fluide frigorigène entre ensuite dans l'évaporateur à une température plus basse que la source froide (le milieu à rafraîchir).
   - À l'évaporateur (1), il s'évapore en captant la chaleur de cette source froide.

5. Cycle complet :

   - À la sortie de l'évaporateur, le fluide frigorigène est de nouveau à l'état vapeur.
   - Il est aspiré par le compresseur pour un nouveau cycle.

Ce système permet de produire du froid en utilisant l'énergie solaire captée par les panneaux PV. Le rendement global dépend du coefficient de performance du système de compression de vapeur

et de l'efficacité des panneaux solaires. Le choix du fluide frigorigène et la conception du système sont également essentiels pour optimiser les performances.[4]

II.3.2 Réfrigération thermique

Le cycle de Carnot est un concept fondamental en thermodynamique. Il s'agit d'un cycle théorique qui permet de définir la limite maximale d'efficacité pour un moteur thermique fonctionnant entre deux sources de chaleur à températures constantes.

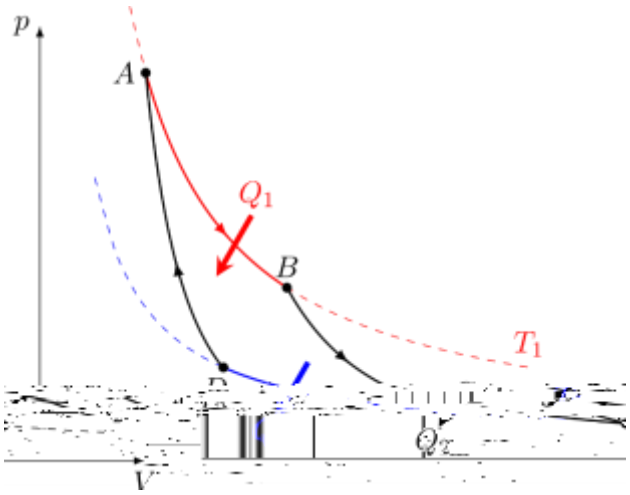

Figure II.4 Cycle de Carnot

Voici quelques points clés concernant le cycle de Carnot :

1. Quatre Processus Réversibles :
   - Le cycle de Carnot est constitué de quatre transformations réversibles :
     a. Compression isotherme réversible (C→D) : Le gaz se comprime à température constante au contact de la source chaude.
     b. Compression adiabatique réversible (D→A) : Le gaz se comprime sans échange de chaleur.
     c. Détente isotherme réversible (A→B) : Le gaz se détend à température constante au contact de la source froide.
     d. Détente adiabatique réversible (B→C) : Le gaz se détend sans échange de chaleur.
   - Ces processus sont représentés dans un diagramme de Clapeyron.[5]

2. Efficacité Maximale :
    - Le cycle de Carnot est le plus efficace pour obtenir du travail à partir de deux sources de chaleur à températures constantes.
    - Lorsqu'il fonctionne comme un moteur, il suit le sens des aiguilles d'une montre dans le diagramme de Clapeyron.
    - Le cycle inverse (parcouru dans le sens inverse des aiguilles d'une montre) est le moyen le plus efficace de transférer de l'énergie thermique d'une source froide à une source chaude grâce à un travail.[6]
3. Équation de Clausius-Carnot :

Pour une transformation réversible, l'égalité de Clausius-Carnot s'applique :

$$T_f Q_f = T_c Q_c$$

Où :

- Q_f : est le transfert thermique avec la source froide (en joules).
- Q_c : est le transfert thermique avec la source chaude (en joules).
- T_c : est la température de la source froide (constante en kelvins).
- T_f : est la température de la source chaude (constante en kelvins).[7]

4. Machine Frigorifique de Carnot :
    - La machine frigorifique de Carnot fonctionne à l'envers du cycle de Carnot.
    - Elle extrait de la chaleur du réservoir thermique froid pour la céder au réservoir thermique chaud.

En résumé, le cycle de Carnot est un modèle idéal qui définit les limites théoriques de l'efficacité des moteurs thermiques et des machines frigorifiques. Il a été formulé par Sadi Carnot en 1824 et a ouvert la voie à la formulation du second principe de la thermodynamique

II.3.3 Systèmes de sorption à cycles fermés

- Ces systèmes produisent de l'eau glacée à l'aide de machines à sorption.
- L'eau glacée ainsi obtenue est ensuite utilisée pour le refroidissement ou la déshumidification de l'air.
- Contrairement à la climatisation électrique traditionnelle, qui compresse un fluide pour produire du froid, les machines à sorption utilisent une compression thermique.

- Le fluide frigorigène dans ces systèmes est généralement de l'eau mélangée à un second composant (liquide ou solide poreux).
- Si le second composant est un liquide, on parle de machine à absorption. Si c'est un solide poreux, on parle de machine à adsorption.[8]
- Machines à absorption (systèmes fermés)
- La substance absorbante dans ces machines est généralement le bromure de lithium (LiBr), tandis que le fluide réfrigérant est de l'eau.
- Le couple ammoniac/eau peut également être utilisé.
- Ces machines peuvent refroidir de l'eau jusqu'à environ 7°C.
- La température de l'eau utilisée pour la décomposition de l'eau et de l'absorbant doit être comprise entre 80 et 120°C.
- Machines à adsorption (systèmes fermés)
- Le gel de silicium est souvent utilisé comme adsorbant dans ces machines.
- La machine à adsorption est composée de deux compartiments. [8]

II.3.4 Cycles ouverts

- Les machines à cycle ouvert sont en contact direct avec l'atmosphère et agissent directement sur l'air.
- Elles produisent directement de l'air froid, sans utiliser d'eau glacée comme dans les cycles fermés.
- Dans ces systèmes, l'eau est toujours utilisée comme réfrigérant.
- La technologie la plus courante pour les cycles ouverts est basée sur les roues à dessiccation en rotation.
- La dessiccation par procédé liquide est également disponible, mais elle est limitée en termes de solutions disponibles.[9]

Tableau 2.1: Cycles et les principes du réfrigérant [9]

			l'air	
	d'eau		l'air	
	–	–	–	
	–	–		
	–	–	–	–

II.4 Déférant type des machines frigorifique solaire

II.4.1 Absorption

Pour ce type de système, l'aspiration de la vapeur de frigorigène se produit via un liquide absorbant qui présente une forte affinité pour ce fluide. La vapeur est absorbée dans tout le volume du liquide absorbant, comme illustré dans la figure II.5.c. L'évaporateur est connecté à l'absorbeur, à l'intérieur duquel une solution absorbante appauvrie en frigorigène est continuellement

pulvérisée pour augmenter la surface de contact avec la vapeur de frigorigène. Le liquide absorbe la vapeur du fluide frigorigène, entraînant l'aspiration d'une nouvelle masse de frigorigène provenant de l'évaporateur.

La solution enrichie en frigorigène (également appelée solution riche) quitte l'absorbeur et est dirigée vers un autre point de la machine. Par chauffage, on procède à l'extraction du frigorigène fixé. Les systèmes à absorption appartiennent donc à la catégorie des systèmes frigorifiques au moins trithermes. L'absorption du frigorigène par la solution absorbante est exothermique, ce qui nécessite l'utilisation d'un échangeur de chaleur pour refroidir la solution absorbante. Les systèmes à absorption ont été les premières machines frigorifiques industriellement opérationnelles. Cependant, le développement des systèmes à compression les a confinés à des applications spécifiques. Selon l'architecture utilisée, les machines à absorption se distinguent :

- Il existe des systèmes continus dont la production de froid est ininterrompue. Cependant, l'utilisation de pompes pour la circulation des solutions absorbantes entraîne une consommation d'énergie mécanique. Selon leur architecture, on peut les classer comme suit :
  - Systèmes mono-étagés à générateur simple effet.
  - Systèmes mono-étagés à générateur double effet.
  - Systèmes poly-étagés.

La famille des systèmes à absorption continus représente la partie la plus importante des systèmes thermo-frigorifiques intégrés actuellement utilisés.

- Il existe des systèmes intermittents qui permettent d'éviter l'utilisation de pompes pour la circulation. Cependant, cette famille est très peu courante.
- Il existe des systèmes continus à absorption-diffusion qui, dans leur circuit interne, utilisent un gaz supplémentaire en plus du couple frigorigène-absorbant. Ce gaz n'intervient pas dans le processus de production du froid, mais sa présence compense la différence de pression du frigorigène entre les parties froides et chaudes de la machine. Ainsi, un circuit pratiquement isobare est réalisé. Dans ce cas, la pompe de circulation des solutions n'a qu'à surmonter de faibles différences de pression de nature hydrostatique. [10]

II.4.2 Adsorption

La fixation de la vapeur de frigorigène sur la surface d'un solide, appelé adsorbant, est un processus essentiel dans les systèmes frigorifiques. L'adsorption s'accompagne d'un dégagement de chaleur, en particulier lorsque la formation d'un composé chimique intervient. Dans ces systèmes, l'adsorbeur est connecté à l'évaporateur du système frigorifique et doit comporter un échangeur interne de refroidissement. Cependant, la quantité de frigorigène adsorbée est limitée par la capacité d'adsorption de l'adsorbant.

Contrairement aux autres systèmes qui assurent une production continue de froid, les systèmes à adsorption fonctionnent de manière intermittente. L'extraction du frigorigène adsorbé se fait par chauffage, ce qui les classe dans la catégorie des systèmes au moins trithermes. Cependant, en pratique, ils sont peu utilisés.

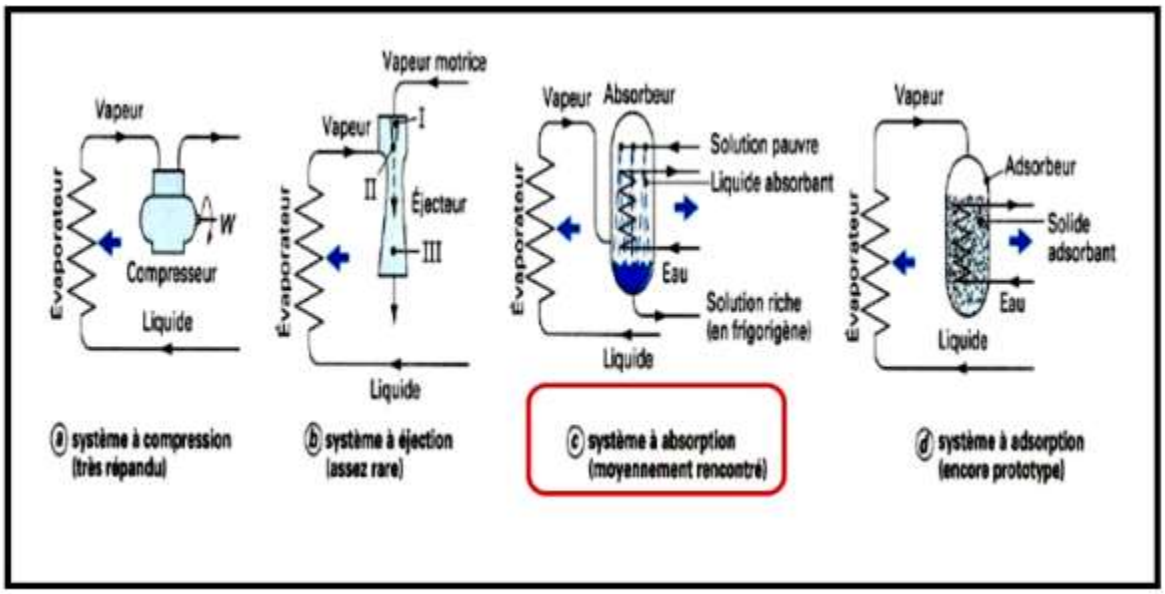

Figure II.5 : Machines frigorifiques utilisant la vaporisation d'un frigorigène[10].

II.5 Machine à absorption solaire

II.5.1 Rappel historique

En 1877, Narine a créé la première machine frigorifique en utilisant un mélange d'eau et d'acide sulfurique dans un laboratoire fonctionnant en continu. Cette avancée a marqué le début des recherches sur la production de froid. Cependant, l'utilisation de ce mélange a été abandonnée à partir de 1920 en raison de problèmes de corrosion et de toxicité.

L’idée de produire du froid à l’aide de systèmes à absorption a émergé dans les années 1859-1860 grâce à Ferdinand Carré, qui a déposé le brevet de la première machine frigorifique à absorption fonctionnant avec le couple ammoniac (frigorigène) et eau (absorbant). Cette avancée s’appuie sur la découverte de Joseph Priestley, qui avait observé en 1784 la forte affinité entre ces deux fluides. Le brevet de Carré prévoyait deux types de machines pour la production de glace : une à faible puissance et à fonctionnement intermittent, et une autre plus puissante à cycle continu.

À partir de 1880, la société Linde, également connue sous le nom de Linde's Ice Machine Company, a développé en Europe la première installation de compression de vapeur. Cette avancée a relégué la machine à absorption au second plan, la faisant perdre de son importance. Cependant, au début des années 1920, une véritable renaissance a eu lieu grâce aux améliorations apportées par des pionniers tels que Altenkich, Merkele, Bosniakovic et Niebergall dans le domaine pratique et théorique. Ils ont continué à utiliser le mélange eau-ammoniac pour leurs machines frigorifiques.

Dans les années 1940, aux États-Unis, la machine à absorption utilisant le couple eau-bromure de lithium a vu le jour. Dans ce système, l'eau joue le rôle de frigorigène, et cette technologie s'est largement répandue dans le domaine de la climatisation. Cependant, dans les années 1950, le marché des systèmes à absorption a décliné en raison du développement de machines à compression dotées d'une architecture plus simple et offrant de meilleures performances énergétiques. À partir des années 1960, une industrie japonaise de climatiseurs a émergé. Initialement, ces machines étaient toutes de type à compression, actionnées par un moteur électrique. Cependant, les climatiseurs à absorption, fonctionnant avec la solution eau-bromure de lithium et alimentés par la combustion de gaz, ont également connu un développement rapide. En 1964, un climatiseur à deux étages, conçu au Japon, a été commercialisé.

Dans les années 1970, la production et la commercialisation des groupes à absorption à gaz ont commencé à surpasser celles des machines à absorption. Ces groupes à absorption, également appelés GA, sont des systèmes de production d'eau glacée monobloc refroidis par l'air. Ils sont alimentés par la combustion du gaz naturel ou du propane. Actuellement, en raison de la conscience écologique croissante, l'utilisation des énergies renouvelables est devenue de plus en plus courante et attractive. Cela a créé un cadre propice à la renaissance et au développement des pompes à chaleur, dépassant les défauts techniques qui avaient entravé la première génération dans

les années 80. Par conséquent, les machines à absorption se révèlent être des systèmes fiables et économiques, sans impact négatif sur l'environnement. [11]

II.5.2 Principe de fonctionnement de la machine frigorifique à absorption

La réfrigération par absorption repose sur un cycle thermique qui exploite les différences d'affinité entre deux substances en fonction de leurs conditions thermodynamiques telles que la pression, la température et la concentration. L'absorption se produit entre deux fluides (liquide-liquide ou liquide-vapeur). Dans ce système, le fluide de travail est une solution contenant à la fois un réfrigérant et un absorbant, qui ont une forte affinité l'un pour l'autre.

Voici comment fonctionne le processus de réfrigération par absorption :

- La solution saline, à faible concentration d'absorbant, est chauffée dans le désorbeur (ou générateur) grâce à la chaleur motrice. L'eau est libérée sous forme gazeuse et se condense dans le condenseur, ce qui concentre la solution saline.
- Le réfrigérant s'évapore dans l'évaporateur et est ensuite absorbé par la solution concentrée dans l'absorbeur.
- L'absorption est un phénomène exothermique, mais elle est défavorisée à haute température. Pour évacuer la chaleur générée dans l'absorbeur et le condenseur, on utilise généralement un dispositif tel qu'une tour de refroidissement humide.
- Un échangeur de chaleur entre l'absorbeur et le débourbeur permet de préchauffer la solution froide venant de l'absorbeur et de refroidir la solution en sortie du générateur.
- Le cycle de la machine à absorption repose sur le principe que la température d'ébullition d'un mélange est plus élevée que celle d'un liquide pur.

En résumé, la réfrigération par absorption offre une alternative fiable et économique, sans impact négatif sur l'environnement, en utilisant des paires de fluides qui ont une forte affinité l'un pour l’autre. [12]

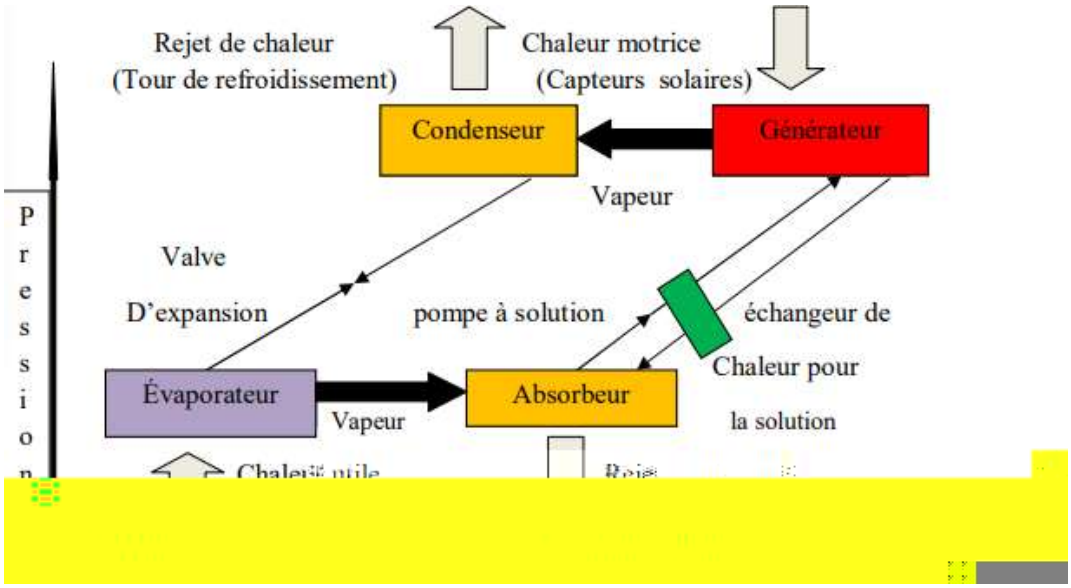

Figure II.6 : Schéma de fonctionnement du cycle absorption simple effet

II.5.3 Description des machines

Ce sont les machines les plus répandues. La compression thermique est obtenue en utilisant un couple réfrigérant/liquide absorbant, et une source de chaleur (par l'énergie solaire) qui remplace la consommation électrique du compresseur mécanique.

La plupart des systèmes utilisent une pompe à solution, très faiblement consommation d'électricité.

Les machines à absorption comportent quatre éléments essentiels et des éléments intermédiaires et une source de production de chaleur suivante :

Les éléments essentiels dans la machine à absorption sont [12] :

- Désorbeur, qui a pour rôle de vaporiser le fluide caloporteur.
- Condenseur, qui a pour rôle de condenser le fluide caloporteur en état vapeur à l'état liquide.
- Détendeur, qui a pour rôle de diminuer la température et la pression du fluide.
- Evaporateur, qui sert à échanger de la chaleur entre l'air chaud et le fluide s'évaporant, en créant du froid.
- Pompe de solution, pour remonte la solution riche en fluide frigorigène vers la zone haute pression (désorbeur).

- Absorbeur, qui sert à absorber le réfrigérant et d'une pompe, qui sert ramener le couple réfrigérant/absorbant dans le désorbeur.

III.6. Fluides frigorigènes utiliser

Le cycle de compression de vapeur est un élément clé des systèmes de réfrigération. Il se compose de quatre composants essentiels : le compresseur, le condenseur, le détendeur (ou clapet d'étranglement) et l'évaporateur. Voyons de plus près le rôle de chacun de ces organes : .[13]

a. Compresseur

Le réfrigérant, généralement du R134a, entre dans le compresseur sous forme de vapeur à basse pression.

Le compresseur comprime le gaz de manière adiabatique (c'est-à-dire sans échange de chaleur avec l'environnement), augmentant sa pression et sa température.

L'énergie interne (température) du réfrigérant augmente, mais l'entropie reste inchangée.

Le travail requis pour le compresseur est donné par l'équation :

$$WC=H2-H1 \qquad (II.1)$$

b. Condenseur

La vapeur surchauffée circule à travers des serpentins ou des tubes dans le condenseur.

Le réfrigérant se condense, libérant de la chaleur à l'environnement plus frais.

La chaleur nette rejetée est donnée par l'équation :

$$Qre=H3-H2 \qquad (II.2)$$

Détendeur (ou clapet d'étranglement):

Le réfrigérant à l'état 3 pénètre dans le détendeur et se dilate à la pression de l'évaporateur.

Ce processus est modélisé comme un processus isenthalpique, où l'enthalpie reste constante :

$$H4=H3 \qquad (II.3)$$

La brusque diminution de la pression entraîne une évaporation instantanée, absorbant la chaleur latente du liquide adjacent (phénomène d'auto-réfrigération).

c. Évaporateur

Le réfrigérant froid et partiellement vaporisé continue à travers les serpentins ou les tubes de l'unité de l'évaporateur.

En résumé, le cycle de compression de vapeur permet au fluide frigorigène de changer d'état (liquide à vapeur et vice versa) pour absorber et rejeter la chaleur, assurant ainsi le refroidissement de l'espace désiré « parfait » devra présenter les qualités suivantes :

Les caractéristiques d'un fluide frigorigène idéal pour les systèmes de réfrigération sont essentielles pour assurer un fonctionnement optimal. Voici une reformulation des exigences pour un fluide frigorigène « parfait » :

Les fluides frigorigènes utilisés dans les systèmes de réfrigération et de climatisation doivent répondre à plusieurs critères pour assurer un fonctionnement efficace et sûr. Voici les caractéristiques essentielles recherchées dans un fluide frigorigène :

1. Chaleur latente de vaporisation élevée : Le fluide doit absorber et libérer une grande quantité de chaleur lorsqu'il passe de l'état liquide à l'état gazeux (vaporisation) et vice versa.
2. Point d'ébullition bas : Le fluide doit avoir un point d'ébullition suffisamment bas sous pression atmosphérique, adapté aux conditions de fonctionnement souhaitées (température d'évaporation). Cela permet d'assurer une évaporation efficace dans l'évaporateur.
3. Faible rapport de compression : Le rapport entre les pressions de refoulement et d'aspiration doit être bas. Cela facilite le travail du compresseur et réduit les contraintes sur le système.
4. Faible volume massique de la vapeur saturée : Un fluide avec un faible volume massique permet d'utiliser des compresseurs et des tuyauteries de dimensions réduites.
5. Température critique élevée : La température critique est la température au-dessus de laquelle le fluide ne peut plus exister sous forme liquide, quelle que soit la pression. Un fluide avec une température critique élevée est préférable.
6. Compatibilité avec le lubrifiant : Le fluide ne doit pas réagir négativement avec le lubrifiant utilisé dans le système.
7. Stabilité chimique : Le fluide doit rester stable dans les conditions de fonctionnement de la machine frigorifique.

8. Compatibilité avec les métaux et les joints : Le fluide ne doit pas attaquer les métaux du circuit (par exemple, l'ammoniac attaque le cuivre) ni endommager les joints.

En cas de fuite, le fluide frigorigène doit également présenter les qualités suivantes :

9. Non inflammable et non explosif en mélange avec l'air.
10. Innocuité pour la santé des personnes.
11. Absence d'effet sur les denrées alimentaires stockées.
12. Odeur faible ou inexistante.
13. Facilité de détection des fuites par méthode visuelle.
14. Aucune affinité avec les constituants de l'atmosphère.
15. Coût abordable et disponibilité facile.

Il est important de noter qu'aucun fluide frigorigène ne possède toutes ces qualités de manière optimale. Le choix du fluide dépend des priorités spécifiques du système et des contraintes environnementales. Certains fluides couramment utilisés incluent le R134a, le R410A et l'ammoniac (NH_3).[14]

II.6.1 Rappel historique

L'histoire des fluides frigorigènes est fascinante et a connu plusieurs étapes importantes. Voici un bref rappel historique :[15]

1. **Eau** :

2. **Ammoniac** : En 1876, Carl von Linde a introduit l'ammoniac comme fluide frigorigène.

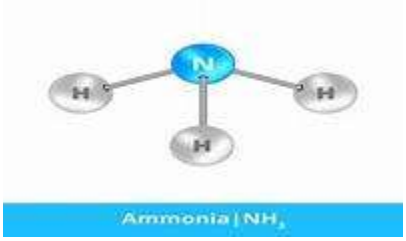

Figure II.8 Ammoniac

3. **Hydrocarbures** : Au début du XXe siècle, les hydrocarbures ont été utilisés à des fins de réfrigération.

4. **Dioxyde de carbone (CO2)** : Le CO2 a également été utilisé, notamment dans la marine.

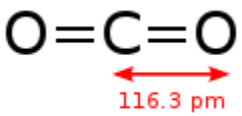

Figure II.9 CO2

5. **Dioxyde de soufre (SO2)** : Malheureusement, ces composés présentaient des inconvénients, car ils étaient soit toxiques, soit inflammables.

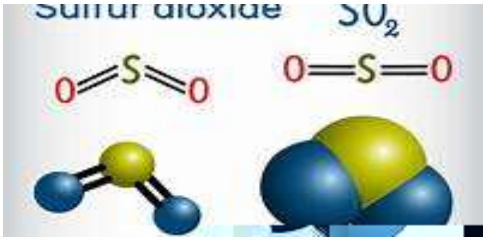

Figure II.10 Dioxyde de soufre (SO2)

6. **Dérivés chlorofluorés** : À partir des années 1930, les dérivés chlorofluorés du méthane et de l'éthane ont été largement utilisés. Cependant, leur impact sur l'environnement a conduit à leur remplacement ultérieur.

d'ozone, de nombreux pays ont progressivement abandonné l'utilisation des Fréons au profit de réfrigérants plus respectueux de l'environnement.[16]

Les différentes catégories de fluide frigorigène :

On distingue parmi les gaz réfrigérants différentes catégories de molécules :

- les chlorofluorocarbures (CFC) ;
- les hydrochlorofluorocarbures (HCFC) ;
- les hydrofluorocarbures (HFC) ;
- les perfluorocarbures (PFC) ou hydrocarbures perfluorés ;
- les hydrocarbures ou composés organiques ne faisant pas partie des catégories précédemment citées ;
- Les composés inorganiques comme l'ammoniac.[17]

II.6.3. Classification des fluides frigorigènes

La classification des fluides frigorigènes repose sur deux caractères alphanumériques, par exemple A2. Voici les détails :

1. **Toxicité :**
    - Groupe A : Aucune preuve de toxicité pour des concentrations inférieures ou égales à 400 ppm.
    - Groupe B : Preuves de toxicité pour des concentrations inférieures à 400 ppm.
2. **Inflammabilité :**
    - Groupe 1 : Le fluide frigorigène ne permet pas la propagation de la flamme dans l'air à 21°C et 101 kPa.
    - Groupe 2 : Le fluide frigorigène a une limite inférieure d'inflammabilité supérieure à 0,10 kg/m³ à 21°C et 101 kPa, avec une chaleur de combustion inférieure à 19 kJ/kg.
    - Groupe 3 : Le fluide frigorigène est hautement inflammable, avec une limite inférieure d'inflammabilité inférieure ou égale à 0,10 kg/m³ à 21°C et 101 kPa, et une chaleur de combustion supérieure ou égale à 19 kJ/kg.

Le Fréon est le nom commercial de plusieurs gaz réfrigérants fabriqués par la société DuPont de Nemours. Cependant, en raison de leurs effets néfastes sur la couche d'ozone, de nombreux pays ont progressivement abandonné l'utilisation des Fréons au profit de réfrigérants plus respectueux de l'environnement. [18]

Les fluides frigorigènes sont utilisés dans les systèmes de réfrigération et de climatisation pour transférer la chaleur. Voici une classification des fluides frigorigènes en fonction de leur composition et de leurs propriétés :

II.6.3.1 Fluides frigorigènes purs

Ce sont des substances chimiquement pures, sans mélange. Ils sont généralement constitués d'un seul composé.

Exemples de fluides frigorigènes purs :

1. R22 (chlorodifluorométhane)
2. R134a (1,1,1,2-tétrafluoroéthane)
3. R600a (isobutane)
4. R717 (ammoniac). [19]

II.6.3.2 Mélanges de fluides

- Ces fluides sont des combinaisons de plusieurs composés frigorigènes.
- Ils sont souvent utilisés pour obtenir des propriétés spécifiques, comme des températures de condensation ou d'évaporation particulières.
- Exemples de mélanges de fluides frigorigènes :
    1. R404A (mélange de R125, R143a et R134a)
    2. R410A (mélange de R32 et R125)
    3. R407C (mélange de R32, R125 et R134a). [20]

II.6.3.3 Nomenclature des réfrigérants

La nomenclature des fluides frigorigènes suit des règles spécifiques, régies par la norme 34-1992 de l'ANSI/ASHRAE et approuvée par l'Union internationale de chimie pure et appliquée

(IUPAC). Chaque fluide frigorigène est identifié par un code composé de la lettre R (ou parfois le mot Fréon), suivi d'un code numérique de 2 à 5 chiffres. Ce code est dérivé de la structure moléculaire du fluide.

Voici quelques exemples de fluides frigorigènes et leurs codes associés :

1. R-134a (1,1,1,2-tétrafluoroéthane) : Utilisé dans les systèmes de climatisation et de réfrigération.
2. R-410A : Un mélange d'hydrofluorocarbures utilisé comme réfrigérant.
3. R-22 (chlorodifluorométhane) : Anciennement utilisé, mais progressivement remplacé en raison de son impact sur l'environnement.
4. R-404A : Un mélange zéotropique fluoroéthanes : R143a (1,1,1-trifluoroéthane) (52 %), de R125 (pentafluoroéthane) (44 %) et de R134a (1,1,1,2-tétrafluoroéthane) (4 %), qui se comporte comme un fluide quasi-azéotropique, de type HFC.[21]

II.6.4. Critères de choix

Le choix d'un fluide frigorigène est crucial pour les installations de réfrigération, de climatisation et de pompes à chaleur. Voici les critères à prendre en compte lors de la sélection d'un fluide frigorigène :

- Chaleur latente de vaporisation très élevée.
- Point d'ébullition, sous pression atmosphérique, suffisamment bas compte tenu des conditions de fonctionnement désirées (température d'évaporation).
- Faible rapport de compression, c'est-à-dire faible rapport entre les pressions de refoulement et d'aspiration.
- Faible volume massique de la vapeur saturée, rendant possible l'utilisation d'un compresseur et de tuyauteries de dimensions réduites.
- Température critique très élevée.
- Pas d'action sur le lubrifiant employé conjointement avec le fluide.
- Composition chimique stable dans les conditions de fonctionnement de la machine frigorifique.
- Pas d'action sur les métaux composant le circuit (ainsi par exemple l'ammoniac attaque le cuivre). Pas d'action sure les joints.

- Non inflammable et non explosif en mélange avec l'air.
- Sans effet sur la santé du personnel.
- Sans action sur les denrées à conserver.
- Sans odeur ou n'ayant qu'une faible odeur non désagréable.
- Fuites faciles à détecter et à localiser par méthode visuelle.
- Pas d'affinité pour les constituants de l'atmosphère.
- Être d'un coût peu élevé et d'un approvisionnement facile.
- Pas d'action sur la couche d'ozone.

II.6.4.1. Critères environnementaux

Les critères environnementaux sont essentiels lors du choix d'un fluide frigorigène. Voici des explications sur l'ODP (Ozone Depletion Potential) et le GWP (Global Warming Potential) :

II.6.4.1.1 ODP (Ozone Depletion Potential)

- L'ODP mesure la capacité d'une molécule de réfrigérant à détruire la couche d'ozone.
- Il est défini par rapport à l'impact du R11, qui sert de fluide de référence (ODP R11 = 1).
- Plus la valeur d'un fluide est réduite, moins son potentiel d'appauvrissement de la couche d'ozone est élevé.
- Cette valeur dépend de facteurs tels que la durée de vie atmosphérique et la présence de chlore ou de brome dans la molécule.

II.6.4.1.2. GWP (Global Warming Potential)

- Le GWP exprime le potentiel de réchauffement d'un gaz à effet de serre par rapport au dioxyde de carbone (CO_2).
- Il dépend de deux paramètres :
- La durée de présence atmosphérique (DPA) de la substance concernée.
- Ses caractéristiques radiatives.
- Le GWP absolu s'exprime en Watt/an/°C/ppm.
- En général, les industriels utilisent un GWP relatif par rapport au GWP du CO_2 Fix 1.

II.6.4.1.3. TEWI (Total Equivalent Warming Impact)

- Le TEWI prend en compte ces éléments.
- Il permet de calculer les différentes contributions, notamment celles liées à la consommation d'énergie et aux émissions de fluide frigorigène.
- Selon l'application, la contribution prédominante peut varier.

$$TEWI = (GWP \times mi \times (1 - dr)) + [(GWP \times mi \times de) + (E \times bt \times tt)] \times nt \qquad \text{(II.4)}$$

Avec :

TEWI : Total Equivalent Warming Impact (Effet de serre équivalent total)

GWP : kg de CO2 produit pendant la durée de vie de l'équipement mi : charge initiale de fluide frigorigène (kg)

- dr : efficacité de récupération lors de la mise au rebut (kg de fluide récupéré/charge Initiale)

- de : taux d'émission annuel (kg de fluide émis/kg de charge initiale)

- E : consommation journalière d'électricité (kWh / 24 h)

- bt : émission de CO2 par kWh d'énergie électrique produite (kg CO2/kWh)

- tt : nombre de jours de fonctionnement annuel (jours/an)

- nt : durée de vie de l'installation (an)

Permet de calculer les différentes contributions, Selon les applications, la contribution provenant de la consommation d'énergie peut être prépondérante ou, au contraire, la contribution provenant des émissions de fluide frigorigène est équivalente.

II.6.4.2. Critères thermodynamiques

- La température d'évaporation doit être supérieure autant que possible à la température d'ébullition.
- La température de condensation doit toujours être bien inférieure à la température critique du fluide frigorigène.
- La pression de condensation ne doit pas dépasser 20 à 25 bars.
- La pression d'évaporation ne doit pas être trop basse.
- Le taux de compression doit rester limité pour assurer une efficacité optimale du compresseur.
- La quantité de froid produite dépend de la pression d'aspiration.

II.6.4.3 Critères de sécurité

- Toxicité : Le fluide ne doit pas être toxique pour l'homme, même à faible concentration.
- Ininflammabilité : Il doit être non inflammable.
- Action sur les denrées : Il ne doit pas altérer les produits stockés.

II.6.4.4 Critères techniques

- Action sur les métaux : Le fluide doit avoir une faible ou nulle réactivité avec les métaux.
- Action sur les matières plastiques et élastomères (les matériaux des joints) doit également être faible.

II.6.4.5 Critères économiques

- Le prix du fluide.
- L'incidence du choix du fluide frigorigène sur le prix de l'installation.
- La disponibilité du fluide.
- Sa stabilité thermique.

En somme, il est essentiel de prendre en compte ces critères pour choisir le fluide frigorigène le mieux adapté à chaque application. [22]

III.7 Conclusion

En conclusion, les technologies de réfrigération solaire offrent une solution durable pour réduire les pertes alimentaires, protéger l'environnement et lutter contre le changement climatique. En adoptant des réfrigérants naturels et en améliorant l'efficacité énergétique des équipements, il est possible de créer un système de refroidissement écologique et efficace. Grâce à l'utilisation de l'énergie solaire pour générer du froid, il est possible de répondre aux besoins de conservation des aliments dans les zones rurales tout en réduisant les émissions de gaz à effet de serre. Il est essentiel de continuer à promouvoir et à développer ces technologies pour un avenir plus durable et résilient.

CHAPITRE III

Technologies de Réfrigération Solaire

Chapitre III

Étude thermodynamique d'une installation à absorption

III.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous allons effectuer une analyse et une modélisation thermodynamique d'une machine à absorption à simple effet avec un échangeur de solution. Cette machine utilise le couple NH_3/H_2O comme fluide de fonctionnement. Elle est similaire à celle représentée dans la Figure 3.1.

Pour étudier les performances de ce cycle, nous utiliserons une simulation réalisée avec le programme EES. Nous nous concentrerons sur l'analyse des composantes de base d'une machine à absorption. Celle-ci repose sur les équations de bilan de masse et d'énergie, ainsi que sur les propriétés thermodynamiques et physiques de la solution binaire composée d'ammoniac et d'eau.

III.2 Cycle à simple effet avec échangeur de solution

Le cycle à simple effet, tel que représenté dans la Figure 3.1, comprend les composants fondamentaux suivants : évaporateur, condenseur, générateur, absorbeur, échangeur de solution.

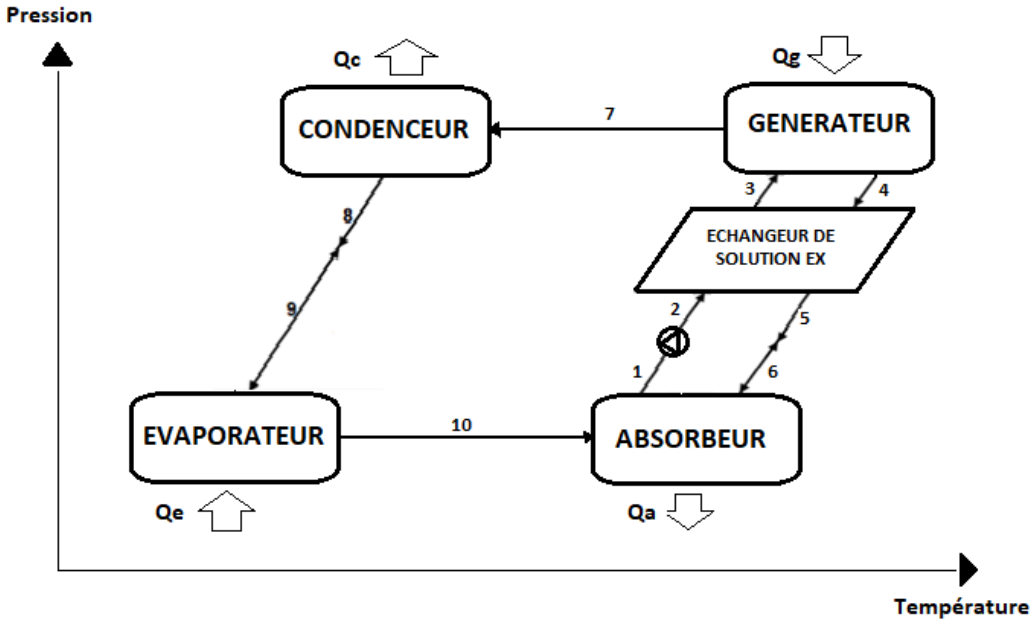

Figure III 1 Schéma de fonctionnement d'un cycle à absorption à simple effet

III.2.1 Modélisation de la machine frigorifique solaire à absorption

Pour évaluer les performances du cycle d'absorption représenté dans la figure [3.1], nous avons fait les hypothèses de calcul suivantes :

1. Aux points 7, 8, 9 et 10, le fluide frigorigène est pur.

2. Il n'y a pas de variation de pression dans la tuyauterie, sauf au niveau du détendeur et de la pompe de solution.

3. Au niveau des points 1 et 4, la solution est à l'état de saturation. Pour reformuler, on peut dire que la concentration de la solution est telle qu'elle ne peut dissoudre davantage de soluté.

4. Les détendeurs sont adiabatiques, ce qui signifie qu'aucun échange de chaleur ne se produit pendant le processus de détente.

5. La pompe de solution est isentropique, ce qui implique qu'elle fonctionne de manière réversible et sans perte d'entropie.

6. Aucune chaleur n'est perdue au niveau des différents composants. En d'autres termes, le système conserve son énergie thermique totale.

III.2.2.1 nalyse du générateur

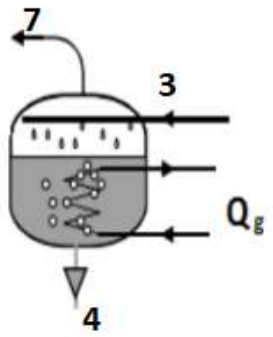

Figure III 2 Schéma du générateur ou désorbeur [2]

Bilan massique :

$$_3 = \ _7 + \ _4 \qquad \text{éq (III.1)}$$

$$_3 \ _3 = \ _7 \ _7 + \ _4 \ _4 \quad \text{eq (III.2)}$$

Bilan énergétique :

$$= \ _7 \ _7 + \ _4 \ _4 - \ _3 \ _3 \quad \text{éq (III.3)}$$

: Enthalpie de la vapeur surchauffée du frigorigène à la température du générateur Tg et à la pression du condenseur.

: Enthalpie du liquide de la solution riche à la température $_3$ et à la pression du condenseur

h_4 : Enthalpie du liquide de la solution pauvre à la température du générateur Tg et à la pression du condenseur.

$_7$: Débit du réfrigérant

$_3$: Débit massique de solution riche

$_4$: Débit massique la solution pauvre

III.2.2.2 Analyse de condenseur

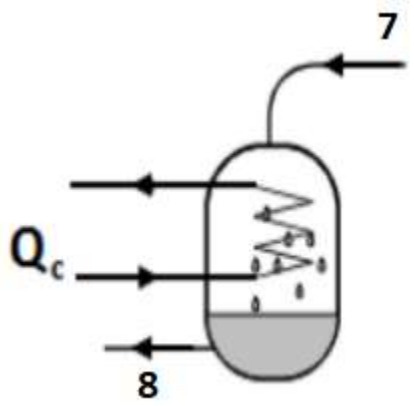

Figure III 3 Schéma du condenseur [1]

Bilan massique :

$$_7 = \ _8 \quad \text{éq (III.4)}$$

Bilan énergétique :

$$= \ _7 \ _7 - \ _8 \ _8 = \ _8(\ _7 - \ _8) \quad \text{éq (III.5)}$$

h_7 : enthalpie de la vapeur du frigorigène à la température du générateur Tg et à la pression du condenseur

h_8 : enthalpie du liquide saturé du frigorigène à la température Tc et à la pression du condenseur.

$_8$: Débit du réfrigérant

III.2.2.3 Analyse de l'évaporateur

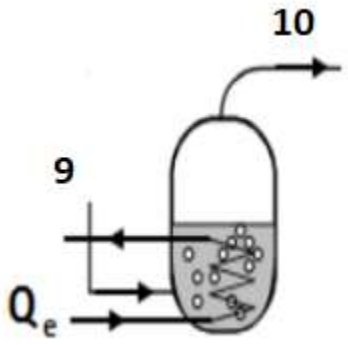

Figure III 4 Schéma de l'évaporateur [1]

Bilan massique :

$$_7 = \ _8 = \ _9 = \ _{10} \quad \text{éq (III.6)}$$

Bilan énergétique :

$$= \ _{10}\ _{10} - \ _9\ _9 = \ _9(\ _{10} - \ _9) \quad \text{éq (III.7)}$$

h_9: enthalpie liquide à la température $_9$ et à la pression de l'évaporateur.

h_{10}: enthalpie de la vapeur saturée du frigorigène à la température $\mathbf{T_e}$ et la pression de l'évaporateur.

$_9$, $_{10}$: Débit du réfrigérant

III.2.2.4 Analyse de l'absorbeur

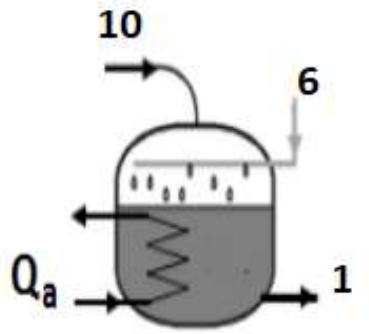

Figure III 5 Schéma de l'absorbeur [1]

Bilan massique :

$$10 + 6 = 1 \quad \text{éq (III.8)}$$

$$10\ 10 + 6\ 6 = 1\ 1 \quad \text{éq (III.9)}$$

Bilan énergétique :

$$= 10\ 10 + 6\ 6 - 1\ 1 \quad \text{éq (III.10)}$$

h_1: enthalpie du liquide de la solution à la température de l'absorbeur $\mathbf{T_a}$ et à la pression de l'évaporateur et à la fraction riche.

h_6: enthalpie du liquide de la solution à la température $_6$ a la pression de l'évaporateur et à la fraction pauvre.

$_1$: Débit massique de solution riche

$_6$: Débit massique la solution pauvre

III.2.2.4 Pompe de solution

Figure III 6 Schéma de la pompe de solution [1]

Bilan massique :

$$_1 = \quad _2 \qquad \text{éq (III.11)}$$

Bilan énergétique :

$$_2 = \quad _1 + (\ _2 - \ _1) \times \ _2 \qquad \text{éq (III.12)}$$

$$= (\ _2 - \ _1) \times \ _2 \qquad \text{éq (III.13)}$$

$_2$: Débit de solution riche

h_2: enthalpie du liquide de la solution riche à la pression du condenseur.

$_2$: le volume spécifique de la solution riche à la température T_6.

$_1$: Pression d'entrée de pompe

$_2$: Pression de sortie de pompe

III.2.2.5 Echangeur de solution (chaleur)

Figure III 7 Schéma de l'échangeur de chaleur [1]

Bilan massique :

$$_3 = \quad _2 \qquad \text{éq (III.14)}$$

$$_5 = \quad _4 \qquad \text{éq (III.15)}$$

Bilan énergétique :

$$_5 = \quad _2 \quad + (1 - \quad) \ _4 \qquad \text{éq (III.16)}$$

$$_3 = \quad _2 + \frac{_4}{_2} \times (\ _4 - \ _5) \qquad \text{éq (III.17)}$$

h_5**:** Enthalpie de la solution pauvre à la température $\mathbf{T_5}$

L'efficacité de l'échangeur de chaleur.

Ou $= \frac{3^- 5}{2^- 4}$ (III.18)

III.2.2.6 Coefficient de performance (COP)

En tenant compte des hypothèses fondamentales énoncées précédemment, les équations qui expriment la conservation de la matière et de l'énergie pour un couple fluide frigorigène / solvant spécifique constituent le point de départ d'une analyse thermodynamique d'un système d'absorption. Le rendement d'une pompe à chaleur (PAC) est quantifié par son coefficient de performance (COP). Dans le contexte du chauffage, notre attention se porte sur l'énergie thermique cédée au niveau du condenseur et de l'absorbeur. En d'autres termes, nous examinons la quantité de chaleur transférée lors de ces étapes du cycle thermodynamique :

$$= \frac{+}{+} \qquad \text{éq (III.19)}$$

En mode froid et climatisation, nous avons :

$$= \frac{}{+} \qquad \text{éq (III.20)}$$

Quantité de chaleur cédée par l'absorbeur.

Quantité de chaleur absorbée par l'évaporateur.

Quantité de chaleur cédée par le condenseur.

Quantité de chaleur fournit au générateur.

: Le travail de la pompe de solution.

En prenant en considération que le travail effectué par la pompe sur la solution concentrée est négligeable par rapport aux autres termes, le coefficient de performance (COP) se simplifie comme suit :

Le coefficient de performance idéal de Carnot peut être exprimé de la manière suivante :

Pour froid et climatisation :

$$= \left(\frac{\bar{\quad}}{\quad}\right) \times \left(\frac{\quad}{\bar{\quad}}\right) \qquad \text{éq (III.22)}$$

La modélisation thermodynamique appliquée aux divers cycles frigorifiques repose sur les principes fondamentaux de la thermodynamique. Plus précisément, les équations de conservation de l'énergie et de la masse se présentent sous une forme générale qui s'exprime ainsi :

Bilan massique :

$$\sum \quad = \sum \qquad \text{éq (III.23)}$$

$$\sum \quad \times \quad = \sum \quad \times \qquad \text{éq (III.24)}$$

Bilan énergétique :

$$\sum \quad + \sum \quad = \sum \quad \times \quad - \sum \quad \times \qquad \text{éq (III.25)}$$

III.3 Couple binaires de travail

III.3.1 NH_3/H_2O

- Fluide frigorigène (NH_3) : L'ammoniac est un fluide frigorigène efficace, avec une capacité de refroidissement élevée et une bonne conductivité thermique. Il est également abondant et peu coûteux.
- Solution absorbante (H_2O) : L'eau est utilisée comme solution absorbante dans ce système. Elle a la capacité d'absorber l'ammoniac lors du processus d'absorption.

III.3.1.1 Fonctionnement

L'ammoniac (NH_3) est utilisé comme fluide frigorigène, tandis que l'eau (H_2O) agit en tant qu'agent absorbant. Le fluide frigorigène, provenant de l'évaporateur, pénètre dans l'absorbeur où il est absorbé par une solution faiblement chargée en frigorigène provenant du bouilleur (ou séparateur). Dans le cas des systèmes fonctionnant avec le couple binaire NH_3/H2O, l'ajout de rectifieurs est nécessaire pour minimiser le risque de désorption incomplète.

Lors du processus d'absorption, la chaleur générée est dissipée par un fluide de refroidissement circulant dans un circuit secondaire. Ce fluide maintient une température suffisamment basse pour favoriser une forte affinité chimique entre le frigorigène et la solution pauvre. Cette interaction

permet d'augmenter la concentration du frigorigène dans la solution à basse pression. La solution ainsi enrichie est ensuite dirigée vers un bouilleur (ou séparateur), où le mélange est chauffé à l'aide d'une source de chaleur provenant de la combustion de gaz, de fuel-oil ou de l'énergie solaire. Le réfrigérant évaporé à haute pression retourne ensuite au condenseur, tandis que la solution appauvrie en frigorigène revient vers l'absorbeur.

Le compresseur, qui normalement a pour fonction de transporter le frigorigène vaporisé à basse pression vers l'évaporateur à haute pression, est ici remplacé par un bouilleur et un absorbeur. [2]

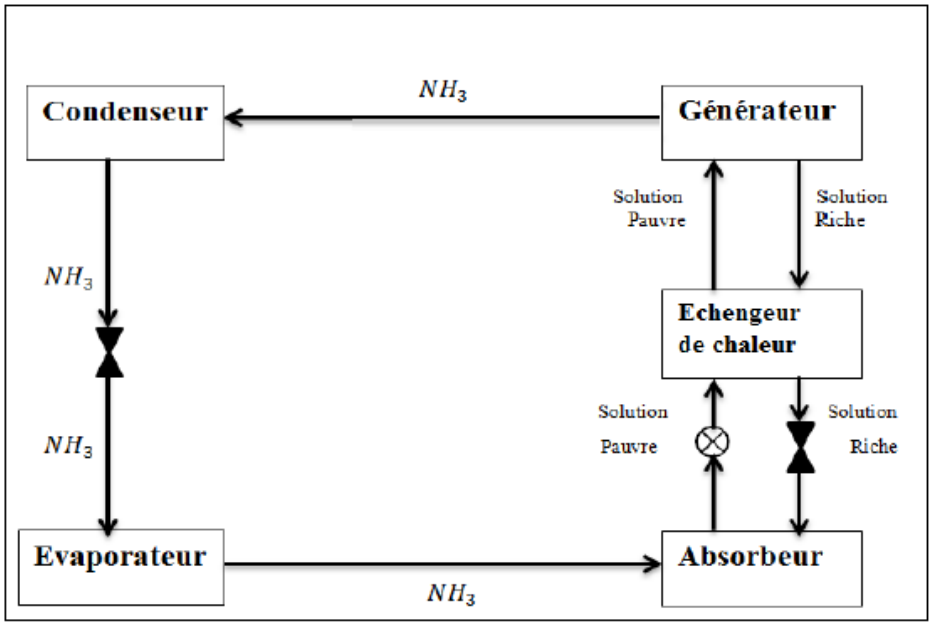

Figure III 8 Schéma d'un system frigorifique à absorption avec une solution de NH_3/H_2O [3]

III.3.1.2 Effet des paramètres de fonctionnement

- Température : La performance du système dépend de la différence de température entre l'évaporateur (où l'ammoniac s'évapore) et le condenseur (où l'ammoniac se condense). Une plus grande différence de température améliore l'efficacité.
- Concentration de la solution absorbante : Une solution plus concentrée en ammoniac favorise l'absorption, tandis qu'une solution plus diluée facilite la désorption.
- Pression : La pression affecte également l'efficacité du système. Des pressions plus élevées peuvent augmenter la capacité de refroidissement, mais nécessitent des composants plus robustes. [4] [5]

III.3.1.3 Avantage du cycle (NH_3/H_2O)

Le cycle de réfrigération utilisant le couple NH3/H2O (ammoniac/eau) présente plusieurs avantages, notamment :

- *Efficacité énergétique* : Les machines à absorption NH3/H2O sont connues pour leur efficacité énergétique. Elles peuvent atteindre des températures négatives et sont idéales pour la réfrigération et la climatisation.
- *Utilisation d'énergie renouvelable* : Ces machines peuvent être alimentées par des sources d'énergie renouvelable telles que l'énergie solaire. Cela les rend plus respectueuses de l'environnement et moins dépendantes des combustibles fossiles.
- *Flexibilité de la source de chaleur* : Contrairement aux systèmes de compression classiques qui nécessitent de l'électricité pour faire fonctionner le compresseur, les machines à absorption peuvent utiliser diverses sources de chaleur, telles que la combustion de gaz ou de fuel-oil. Cela permet une plus grande flexibilité dans le choix de la source d'énergie.
- *Réduction des coûts d'exploitation* : Bien que le coût initial d'achat et d'installation puisse être plus élevé, les coûts d'exploitation à long terme sont souvent inférieurs. Cela est dû à l'utilisation d'une source de chaleur moins coûteuse et à l'absence de compresseur électrique

III.3.1.4 Inconvénient du cycle (NH_3/H_2O)

Les machines à absorption utilisant le couple NH3/H2O (ammoniac/eau) présentent certains inconvénients, notamment :

- *Taille et encombrement* : Les systèmes à absorption sont généralement plus volumineux que les systèmes de compression classiques. Cela peut poser des problèmes d'espace dans certaines applications.
- *Coût initial* : Le coût d'achat et d'installation d'une machine à absorption NH3/H2O est souvent plus élevé que celui d'un système de compression. Cela peut dissuader certains utilisateurs.
- *Efficacité* : Bien que les machines à absorption soient efficaces, elles ont généralement un rendement inférieur à celui des systèmes de compression. Cela signifie qu'elles nécessitent plus d'énergie pour produire la même quantité de froid.

- *Maintenance complexe* : Les machines à absorption ont des composants plus complexes, tels que l'absorbeur, le bouilleur et l'évaporateur. Leur maintenance peut être plus délicate et coûteuse.
- *Dépendance à la chaleur externe* : Ces systèmes dépendent d'une source de chaleur externe (gaz, fuel-oil, énergie solaire, etc.) pour fonctionner. Si cette source de chaleur est indisponible, le système ne peut pas produire de froid.

III.3.2 H_2O/LiBr

Le couple binaire H_2O/LiBr est un système de réfrigération par absorption couramment utilisé. Permettez-moi de vous fournir des informations sur ce couple, ainsi que ses avantages et inconvénients.

III.3.2.1 Technologie H_2O-LiBr

- Les systèmes eau-bromure de lithium (H_2O-LiBr) sont des systèmes de réfrigération par absorption utilisant l'eau comme solution absorbante et le bromure de lithium (LiBr) comme fluide frigorigène.
- Voici quelques caractéristiques importantes de ce système :
  - Sécurité élevée : Le LiBr est un sel solide, ce qui réduit les risques de fuites de fluide frigorigène.
  - Grande affinité : L'eau a une forte affinité pour le LiBr, ce qui facilite l'absorption du LiBr dans la solution.
  - Stabilité : Le système H_2O-LiBr est stable et peut fonctionner efficacement dans une plage de températures relativement large.
  - Chaleur latente élevée : Le LiBr a une capacité de stockage de chaleur latente élevée, ce qui est bénéfique pour le refroidissement. [6] [7]

III.3.2.2 Fonctionnent

L'eau est le réfrigérant, tandis que l'agent absorbant est le bromure de lithium pur (LiBr), qui est un sel solide mais qui, mélangé à une quantité suffisante d'eau, donne une solution liquide homogène.

La principale caractéristique de ce système est que le LiBr n'est pas volatil, de sorte que seule de la vapeur d'eau se forme dans la chaudière. Cependant, le principal inconvénient de ce système

est que l'évaporation est limitée à des valeurs relativement élevées (T° d'évaporation supérieure à 0°C), puisque l'eau se solidifie à ° < 0°C. L'autre inconvénient est la pression de travail à l'intérieur de la machine, qui est un vide (avec tous les problèmes inhérents au vide). La machine frigorifique à absorption LiBr- H_2O est principalement utilisée dans le domaine de la climatisation. [2]

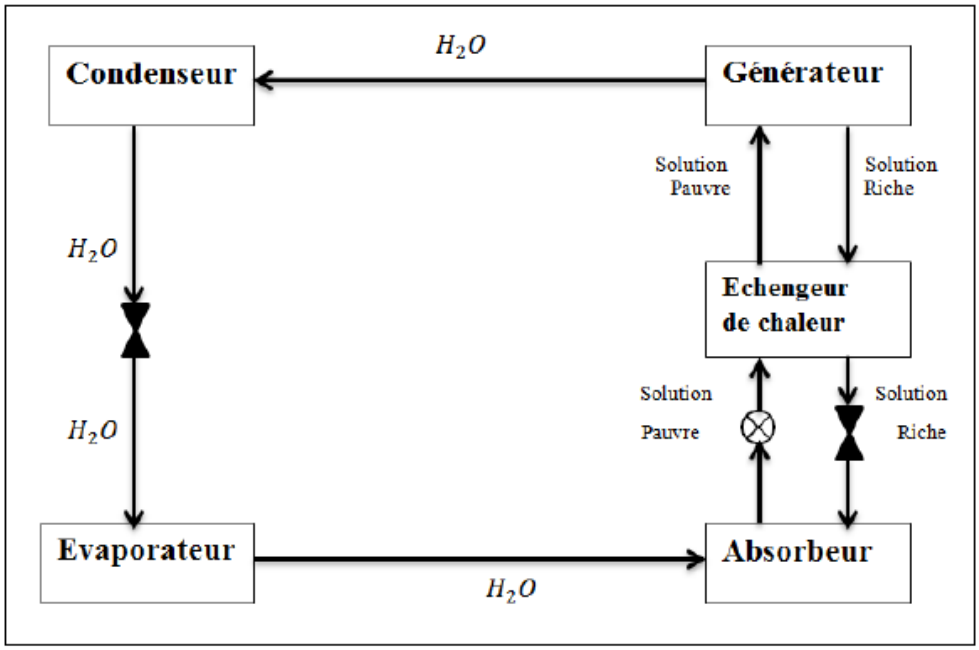

Figure III 9 Schéma d'une installation à absorption double effets avec une solution de H_2O/LiBr [3]

III.3.2.3 Avantages du cycle (H_2O/LiBr)

Le cycle de réfrigération utilisant le couple H2O/LiBr (eau/bromure de lithium) présente plusieurs avantages spécifiques :

- Efficacité énergétique : Les machines à absorption H2O/LiBr sont connues pour leur efficacité énergétique. Elles peuvent atteindre des températures négatives et sont idéales pour la réfrigération et la climatisation.
- Utilisation d'énergie renouvelable : Ces machines peuvent être alimentées par des sources d'énergie renouvelable telles que l'énergie solaire. Cela les rend plus respectueuses de l'environnement et moins dépendantes des combustibles fossiles.

- Flexibilité de la source de chaleur : Contrairement aux systèmes de compression classiques qui nécessitent de l'électricité pour faire fonctionner le compresseur, les machines à absorption peuvent utiliser diverses sources de chaleur, telles que la combustion de gaz ou de fuel-oil. Cela permet une plus grande flexibilité dans le choix de la source d'énergie.
- Réduction des coûts d'exploitation : Bien que le coût initial d'achat et d'installation puisse être plus élevé, les coûts d'exploitation à long terme sont souvent inférieurs. Cela est dû à l'utilisation d'une source de chaleur moins coûteuse et à l'absence de compresseur électrique.

III.3.2.4 Inconvénients du cycle (H_2O/LiBr)

Les machines à absorption utilisant le couple H2O/LiBr (eau/bromure de lithium) présentent certains inconvénients spécifiques :

- Taille et encombrement : Les systèmes à absorption sont généralement plus volumineux que les systèmes de compression classiques. Cela peut poser des problèmes d'espace dans certaines applications.
- Coût initial : Le coût d'achat et d'installation d'une machine à absorption H2O/LiBr est souvent plus élevé que celui d'un système de compression. Cela peut dissuader certains utilisateurs.
- Efficacité : Bien que les machines à absorption soient efficaces, elles ont généralement un rendement inférieur à celui des systèmes de compression. Cela signifie qu'elles nécessitent plus d'énergie pour produire la même quantité de froid.
- Maintenance complexe : Les machines à absorption ont des composants plus complexes, tels que l'absorbeur, le bouilleur et l'évaporateur. Leur maintenance peut être plus délicate et coûteuse.
- Dépendance à la chaleur externe : Ces systèmes dépendent d'une source de chaleur externe (gaz, fuel-oil, énergie solaire, etc.) pour fonctionner. Si cette source de chaleur est indisponible, le système ne peut pas produire de froid.

III.4 Conclusion

La modélisation et la simulation d'une machine à absorption à simple effet avec un échangeur de solution met en lumière l'importance de l'analyse thermodynamique pour évaluer les performances

d'un tel système. En utilisant des équations de bilan massique et énergétique, il est possible de quantifier l'efficacité du cycle d'absorption et d'optimiser ses composants.

De plus, l'utilisation du logiciel EES permet de simuler et de visualiser de manière efficace les différentes étapes du cycle, facilitant ainsi la compréhension de son fonctionnement et de ses paramètres clés. Enfin, en se concentrant sur les composants essentiels tels que l'absorbeur, le générateur, l'évaporateur et le condenseur, il est possible d'identifier les points forts et les possibilités d'amélioration du système.

En somme, l'étude de la machine à absorption à simple effet avec échangeur de solution met en avant l'importance de l'analyse thermodynamique pour concevoir des systèmes écoénergétiques et performants, tout en soulignant l'efficacité des outils de simulation pour étudier et optimiser ces technologies.

CHAPITRE IV

Simulation et résultats

Chapitre IV

Modélisation et résultats

IV.1 Introduction

À l'aide du logiciel ESS, nous avons élaboré un programme permettant de déterminer les propriétés thermodynamiques de chaque état dans le cycle d'une machine frigorifique à absorption. Notre travail consiste à analyser la simulation et la procédure de modélisation informatique d'un système d'absorption ammoniaque/eau, en tenant compte des conditions. Après une étude paramétrique, nous avons présenté les courbes du coefficient de performance en fonction de la température du générateur, du condenseur, de l'absorbeur et de l'évaporateur sous forme de graphiques.

Les résultats de notre simulation sont illustrés dans les graphiques ci-dessous. Ces courbes représentent les variations des quantités de chaleur, du coefficient de performance et de leur rapport.

IV.2 Présentation de lieu de l'implantation de l'installation

IV.2.1 Données géographiques

Pour déterminer la position optimale du capteur solaire, il est essentiel de connaître la position du soleil par rapport à la Terre. Cette information permettra de maximiser l'exposition du capteur aux rayons solaires et d'optimiser la collecte d'énergie solaire.

Le tableau (4-1) représente les cordonné géographique de quelque région de l'Algérie.

Tableau (4-1) Caractéristiques de quelques zones du pays [1]

	Alger	**Tlemcen**	**Chlef**	**Batna**	**Biskra**	**Adrar**	**Tamanrasset**
Laltitude	36°72'	35°	36°22'	35°55'	34°81'	27°82'	22°72'
Longitude	2°53'E	1°19'O	1°21'E	6°11'E	5°44'E	0°17'O	5°31'E
Altitude	300*m*	806*m*	112*m*	1040*m*	124*m*	286*m*	1400*m*

IV.2.2 Données métrologiques

Les éléments que vous mentionnez peuvent varier, mais il est possible d'estimer une moyenne mensuelle en se référant au tableau pour différentes régions du pays.

Tableau (4-2) : Température ambiante moyenne mensuelle en °C [1]

	Alger	**Tlemcen**	**Chlef**	**Batna**	**Biskra**	**Adrar**	**Tamanrasset**
Janvier	10,98	9,82	10,42	7,61	11,92	12,42	7,6
Février	11,76	10,81	11,71	14,47	13,76	15,52	14,46
Mars	12,66	13,56	13,36	17,56	16,46	19,31	17,56
Avril	14,36	15,71	15,91	22,42	19,86	23,91	22,41
Mai	17,01	17,16	19,21	26,36	24,26	27,76	26,36
Juin	21,15	22,25	24,75	28,85	29,95	33,66	28,85
Juillet	24,49	24,74	28,84	28,69	33,19	35,85	28,70
Août	24,69	24,69	28,72	28,33	32,43	35,49	28,34
Septembre	22,79	23,54	25,14	26,49	28,14	31,49	26,49
Octobre	18,95	19,05	20,00	22,70	21,99	24,60	22,70
Novembre	14,76	15,46	14,61	17,02	16,11	17,46	17,01
Décembre	12,48	11,82	11,77	13,84	12,77	13,62	13,81

IV.3 Modélisation

La simulation repose sur l'élaboration des bilans massiques et énergétiques pour chaque composant de la machine.

L'enthalpie en tout point du cycle de la machine est calculée avec deux façon le fluide LiBr/H_2O on a utilisé le diagramme de Merkel du mélange LiBr-H_2O et aussi diagramme de d'Oldham de la solution LiBr/H_2O et l'autre fluide NH_3-H_2O a l'aide de logiciel EES.

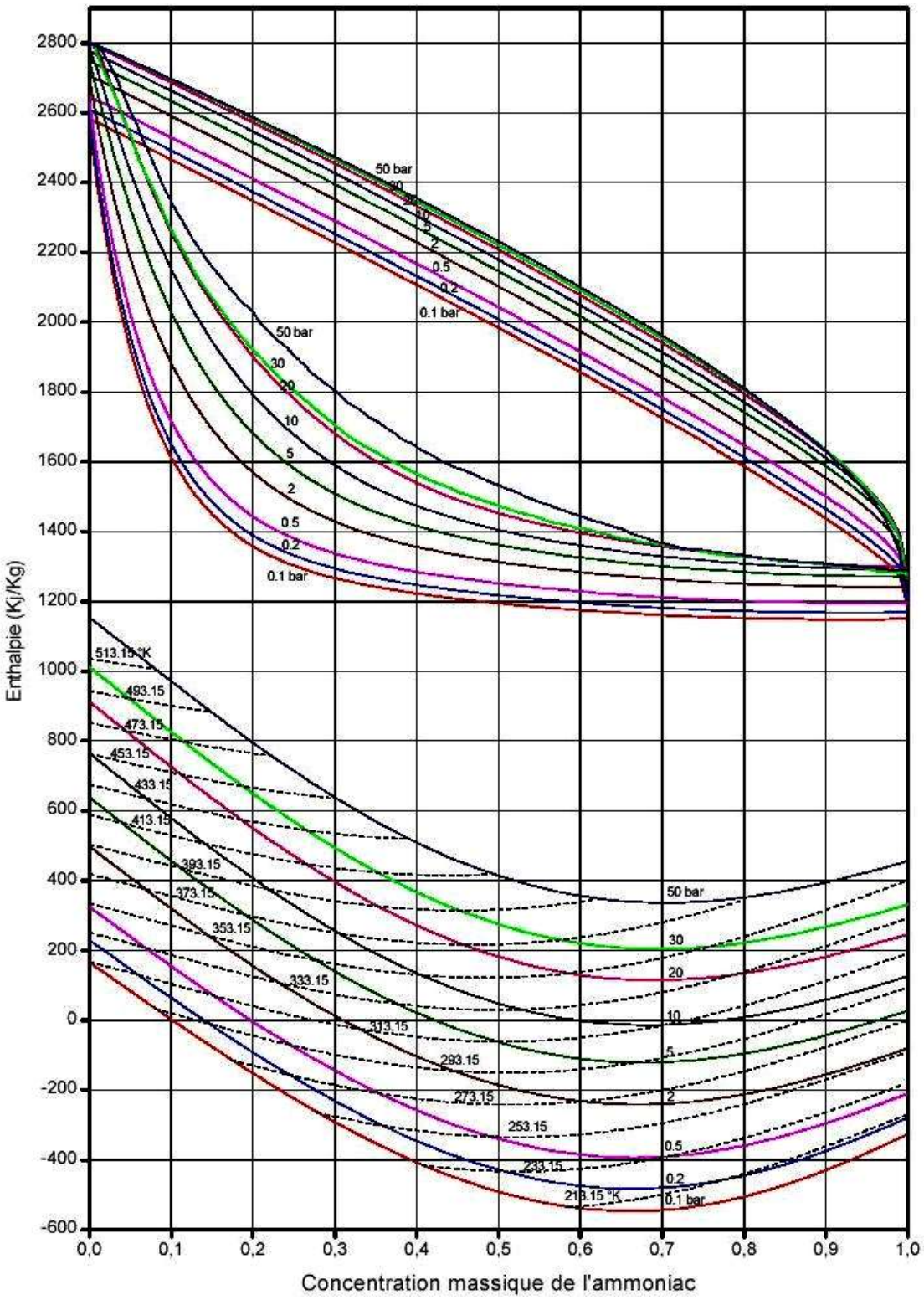

Figure (IV-1) Diagramme de Merkel [2]

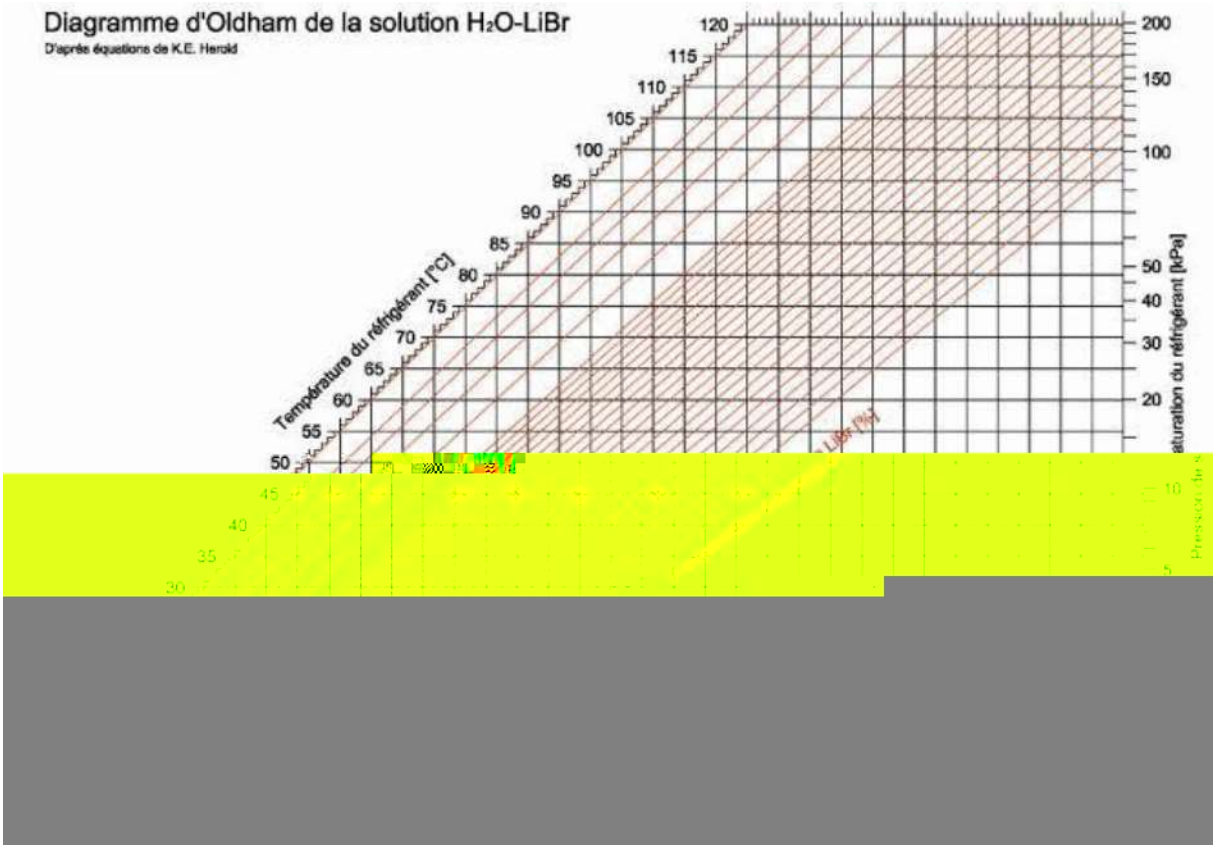

Figure (IV -2) Diagramme d'Oldham [3]

IV.3.1 ESS (Energétique Equation Solver)

En effet, ce logiciel trouve des applications dans divers domaines scientifiques, notamment la thermodynamique, la mécanique des fluides, le transfert de chaleur et la chimie. Dans le contexte de la thermodynamique, il permet d'analyser les processus de conversion d'énergie, les cycles thermodynamiques, et les transferts de chaleur. En mécanique des fluides, il peut être utilisé pour étudier l'écoulement des fluides, la dynamique des gaz, et les propriétés des écoulements. Quant au transfert de chaleur, il permet d'analyser les flux thermiques à travers les matériaux et les systèmes. En chimie, il peut être utilisé pour modéliser des réactions chimiques et des équilibres.

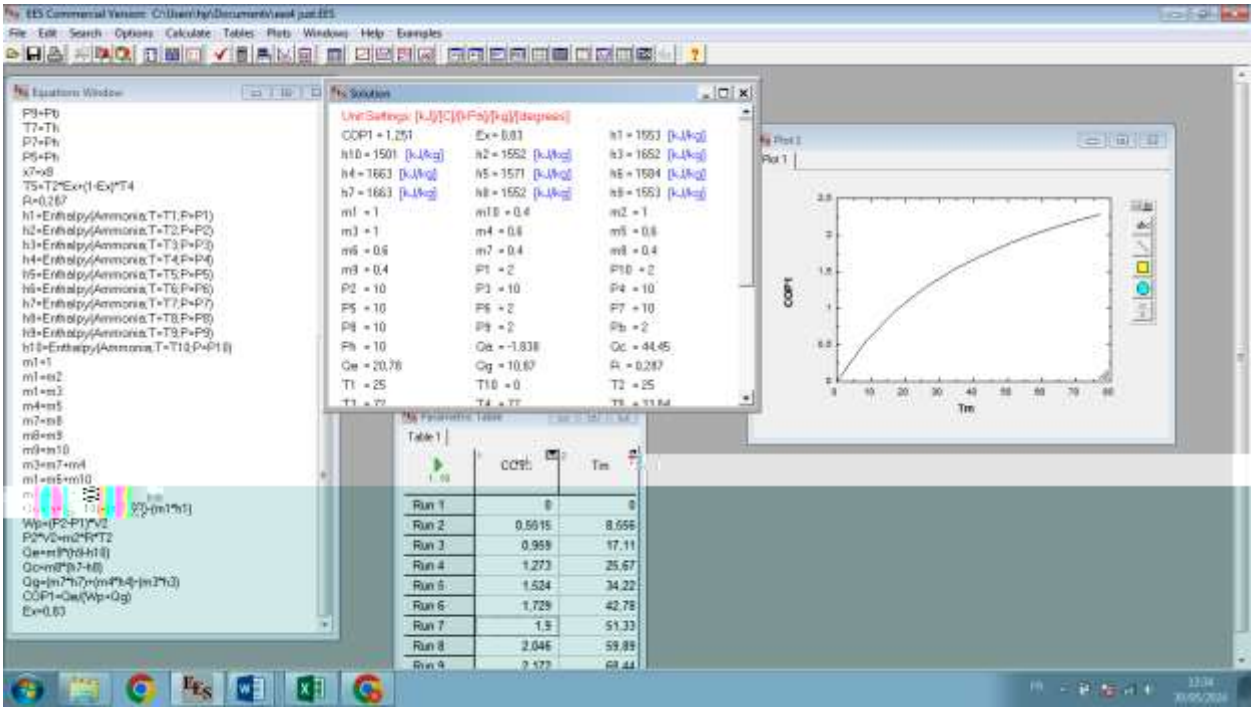

Figure (IV -3) Logiciel EES

IV.4 Modélisation (H_2O/LiBr et NH_3/H_2O)

IV.4.1 H_2O/LiBr

D'après le Tableau (4-2) on a pris les donnes de température ambiante (Tm) au plusieurs mois différant de Tlemcen.

Première essai : mois d'Août

Tm	Tb	Th	Pb	Ph
24.69 C°	10 C°	115 C°	0.5 bar	5 bars

Résultat :

COP2	Qg	Qe	Qc	Qa
0.4277	232	102	108	332.1

Deuxième essai : mois de Mai

Tm	Tb	Th	Pb	Ph
17.16 C°	3 C°	100 C°	1 bar	10 bars

Résultat :

COP2	Qg	Qe	Qc	Qa
0.4277	232	102	108	332.1

Troisième essai : mois de Février

Tm	Tb	Th	Pb	Ph
10.81 C°	5 C°	90 C°	1.5 bars	7 bars

Résultat :

COP3	Qg	Qe	Qc	Qa
0.04444	264.3	12	12	270

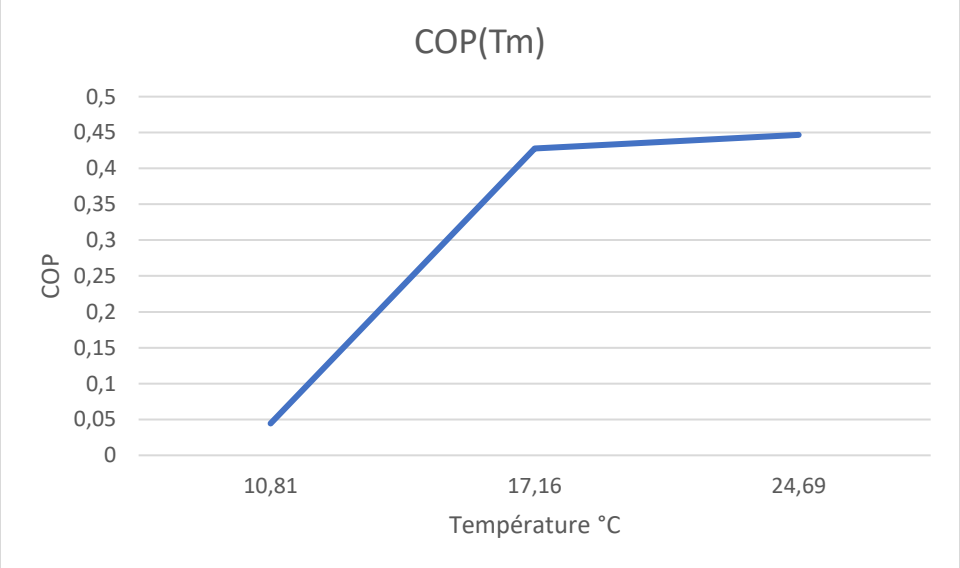

Figure (IV -4) Variation de coefficient de performance (COP) en fonction de Tm

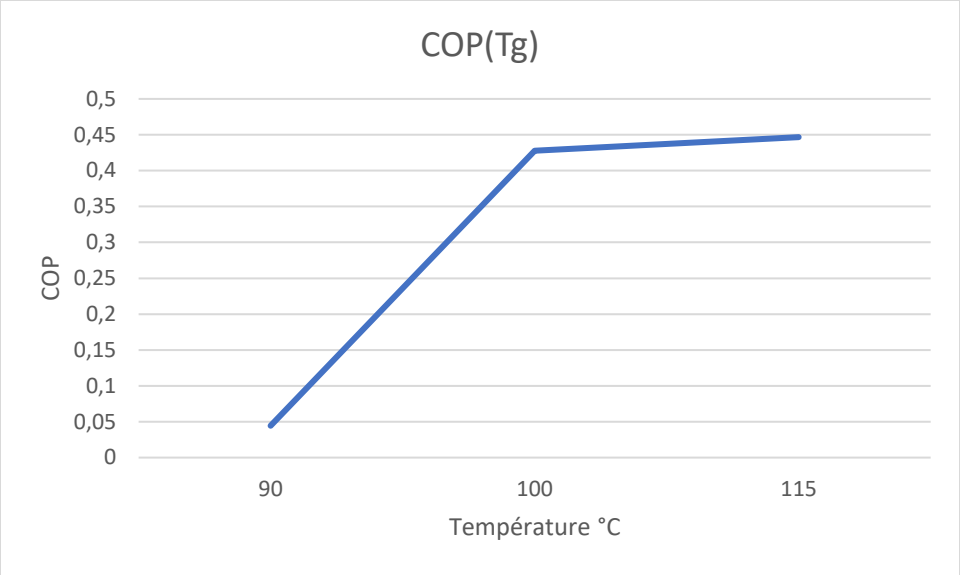

Figure (IV -5) Variation de coefficient de performance (COP) en fonction de Tg

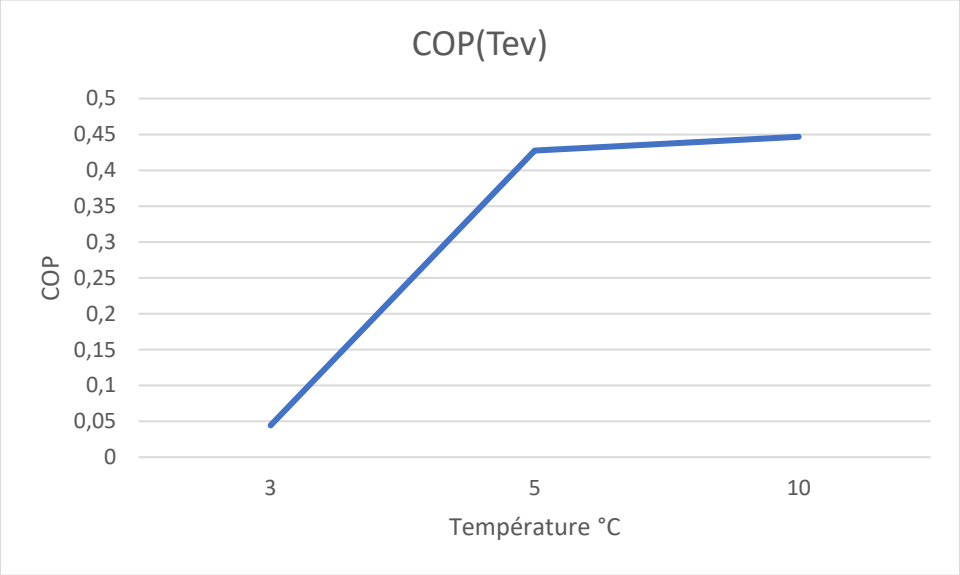

Figure (IV -6) Variation de coefficient de performance (COP) en fonction de Tev

IV.4.1.1 Discussion de résultat

Analyse graphique :

Les graphs représentent la variation du coefficient du performance (COP) en fonction de les température (Th-Tm-Tb), et on peut remarquer que le COP varie positivement à chaque fois la température augmente (dans les trois température)

- Température (varie dans la température Tm−Tb), le COP (varie du 0.044 jusqu'à 0.4277).
- Température (Tm-Th) stable une COP stable partiellement

Remarque

La relation entre la température et la COP est direct. (Influence direct)

IV.4.2 NH_3/H_2O

Avec la même façon on a pris les donnes du tableau (4-2) on a fait trois essaye

Première essai : mois d'Août

Tm	Tb	Th	Pb	Ph
24.69 C°	0 C°	80 C°	2 bars	10 bars

Résultat

COP1	Qg	Qe	Qc	Qa
1.251	10.87	20.78	44.45	-1.838

Deuxième essai : mois de Mai

Tm	Tb	Th	Pb	Ph
17.16 C°	-10 C°	75 C°	1.5 bars	7 bars

Résultat

COP2	Qg	Qe	Qc	Qa
1.191	17.33	25.26	55.39	-18.56

Troisième essai : mois de Février

Tm	Tb	Th	Pb	Ph
10.81 C°	-12C°	70 C°	1 bar	6 bars

Résultat :

COP3	Qg	Qe	Qc	Qa
1.054	10.8	14.11	37.46	31.46

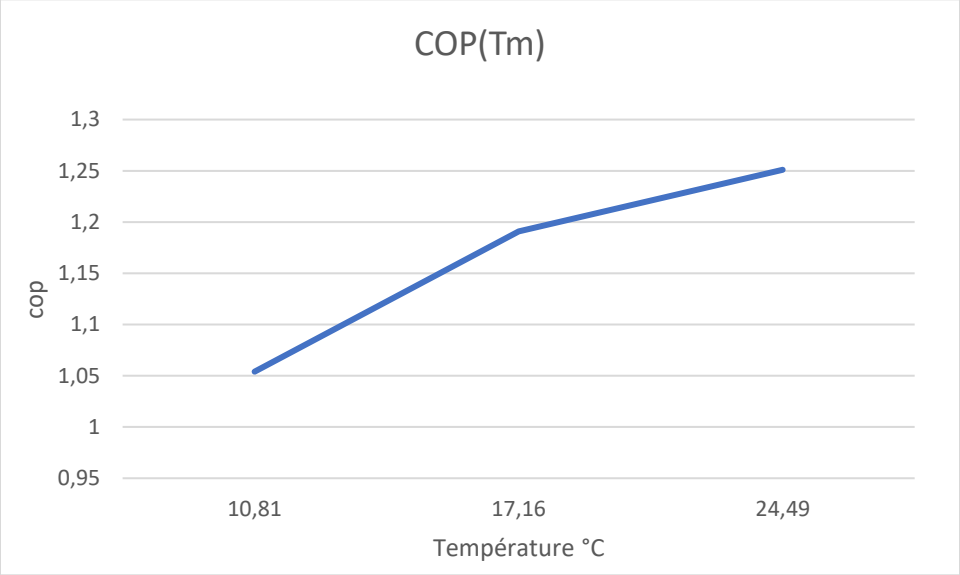

Figure (IV -7) Variation de coefficient de performance (COP) en fonction de Tm

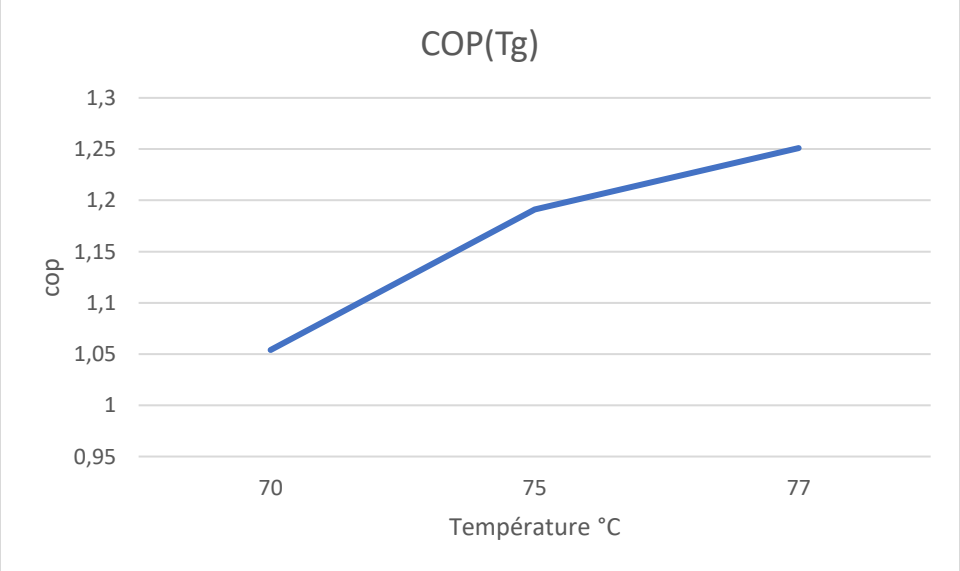

Figure (IV -8) Variation de coefficient de performance (COP) en fonction de Tg

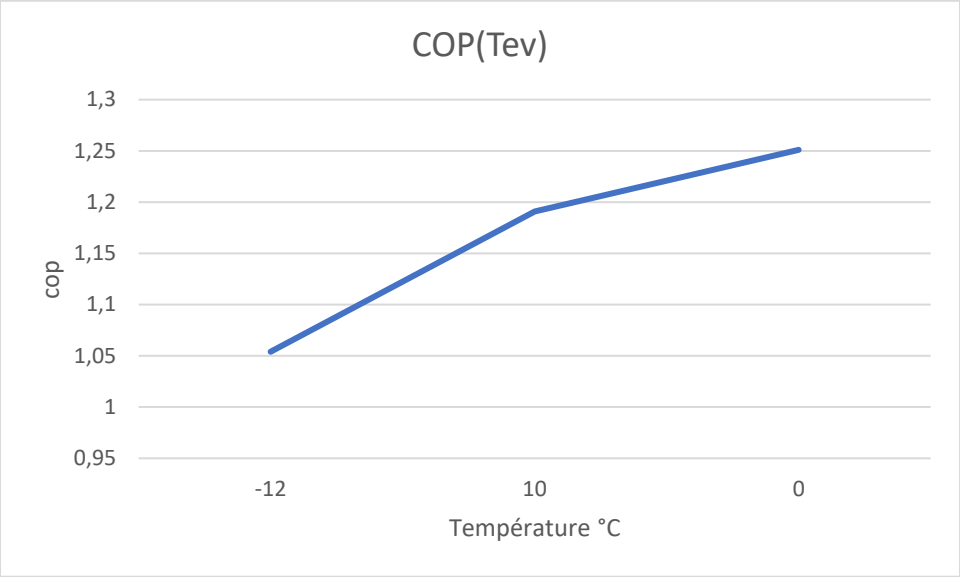

Figure (IV -9) Variation de coefficient de performance (COP) en fonction de Tev

IV.4.2.1 Discussion des résultats

On remarque que le COP est proportionnel avec les trois température (Tg. Te. Tm)si la température augmente le COP augmente.

IV.5 Conclusion

Nous avons exposé dans ce chapitre les résultats de la simulation sur EES d'une machine à absorption simple effet fonctionnant avec le couple binaire (NH_3-H_2O et LiBr-H_2O).

Le fonctionnement de la machine à absorption simple effet dépend des paramètres d'entrée, tels que les températures de l'absorbeur, du générateur, du condenseur et de l'évaporateur.

L'étude de sensibilité paramétrique nous a permis d'observer l'influence de certains paramètres sur le fonctionnement optimal de la machine à absorption.

Nous avons principalement constaté, grâce à cette étude, que le COP de LiBr augmente par rapport à les température (Tg, Tev, Ta) mais dans l'autre fluide NH_3 les COP varié a la température de générateur (Tg).

Le choix entre NH3-H2O et H2O-LiBr dépend des exigences spécifiques de l'application, telles que la température de fonctionnement, les considérations de sécurité, et les conditions de corrosion. Les systèmes NH3-H2O sont préférables pour des températures de réfrigération très basses, tandis que les systèmes H2O-LiBr sont souvent utilisés dans des applications où la sécurité et la stabilité chimique sont des priorités.

Conclusion Générale

Conclusion générale

L'objectif de cette étude était d'examiner les performances des machines à absorption à simple effet fonctionnant avec deux couples binaires (H2O/LiBr NH3/H2O) et de déterminer les limitations opérationnelles résultant de la cristallisation en fonction de différentes températures de cycle. A cette fin, un programme Fortran a été développé pour analyser l'impact des températures (Te, Tg, Tc) sur les performances du système.

Ce programme est fondé sur les principes du bilan de masse et d'énergie, ainsi que sur les propriétés thermodynamiques et physiques de la solution binaire, Les propriétés physiques de la solution binaire composée (H2O/LiBr, NH3/H2O)

Le coefficient de performance (COP) est un indicateur essentiel pour évaluer l'efficacité d'un système de réfrigération à absorption. Vous avez bien identifié les effets des différentes températures du cycle sur le COP, et voici quelques points clés à retenir :

- Influence de la température du générateur (Tg) : Le COP augmente avec l'augmentation de la température du générateur. Cependant, il existe une valeur maximale de Tg (Tg max) pour laquelle le COP atteint son maximum. Il est donc pratique de faire fonctionner le système à cette valeur optimale et de ne pas dépasser cette limite.
- Impact de la température d'absorption (Tc) : Une augmentation de la température d'absorption entraîne une diminution du COP. Par conséquent, il est préférable de fonctionner avec des températures d'absorption moins élevées.
- Effet des températures de condensation et d'évaporation : Une diminution du COP est importante lorsque les températures de condensation sont élevées ou lorsque les températures d'évaporation sont basses.

Pour optimiser le fonctionnement du cycle, il est judicieux, dans la mesure du possible, de choisir des températures de condensation (Tc) et d'évaporation (Te) de manière à réduire au maximum l'écart entre elles (Tc – Te). Cette approche contribue à améliorer l'efficacité globale du système.

La simulation a été réalisée à l'aide de deux logiciels, le premier étant EES (Engineering Equation Solver).

L’analyse thermodynamique du cycle frigorifique à absorption simple effet fonctionnant avec les couples binaires NH_3/H_2O et $LiBr/H_2O$. Dans NH_3 permis de montrer que plus la température de générateur augmente plus le coefficient de performance. Et dans LiBr le coefficient de performance augmente avec l’augmentation des température (Tg,Tc,Tev)

Références

Recherche bibliographique

H.1 Site web : [https://www.universalis.fr/encyclopedie/glaciere-architecture/3-unehistoire-ancienne/] (Consulté le 15/02/2024)

H..2 Mémoire, étude d'une machine frigorifique a absorption liquide de Djefaflia Mohamed, université Badji Mokhtar Annaba année 2016

H.3 Mémoire, étude d'une machine frigorifique a absorption liquide ,département génie mécanique Annaba (2016)

Introduction générale

A Site web: [https://www.quelleenergie.fr/magazine/energies-renouvelables-avantages-inconvenients] Consulté le 29/05/2024

B Site web: [https://www.encyclopedie-energie.org/la-transition-energetique-un-enjeu-majeur-pour-la-planete/] Consulté le 29/05/2024

C Moudjed Ayoub, ''Étude du fonctionnement d'une machine frigorifique à absorption simple effet fonctionnant avec le couple binaire ammoniac-eau'', mémoire de master. Université de Blida,2021

Chapitre I

1 Dominique Obrecht, (Météorologie solaire et images satellitaires : cartographie du rayonnement solaire, détermination de l'albédo des sols et évaluation de l'ennuagement), mars 2014

2 D. Benatiallah "Détermination du gisement solaire par imagerie satellitaire avec intégration dans un système d'information géographique pour le sud d'Algérie" Thèse de doctorat, Université d'Adrar (2019).

3 J.M Chassériau, Conversion thermique du rayonnement solaire ; Dunod, (1984).

4 Site web: https://www.meteorologiaenred.com/fr/que-es-el-sol.html Consulté le 24/02/2024

5 M. Salmi « Contribution à la quantification de l'irradiation solaire globale en Algérie et applications aux générateurs photovoltaïques ». Thèse de doctorat, Université de de Sétif, (2012).

6 Y. N'goran, ''Contribution à la modélisation du gisement solaire''. Thèse de doctorat, Université de Cocody Abidjan (2005)

7 A. Lester, D. R. Myers, Solar Energy 80, 322 (2006)

8 Site web : [http://dspace.univmsila.dz:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/2 42 06/Th%C3%A8se%20_%20BELLA BACI%20Anouar-Phys_2021_72021.pdf ?se quen ce=1&isAll owed=y] (Consulté le 16/05/2024)

9 Djeloul Benariallah, "Détermination du gisement solaire par imagerie satellitaire avec intégration dans un système d'information géographique pour le sud d'Algérie",Mémoire de master Université Adrar année 2019

10 Site web: [https://www.sunearthtools.com/dp/tools/pos_sun.php?lang=fr] Consulté le 28/02/2024

11 Merad Faiza, "Conception d'un programme de calcul du rayonnement solaire, cas particulier de la région de Mostaganem", Mémoire de master L'Université Abdel Hamid Ibn Badis de Mostaganem 2013

12 Alain Ricaud, « Gisement solaire », Sept-2009, éditeur : Alain Ricaud, publiés par Cythelia sarl.

13 Bernard J., (2004), « Energie solaire calculs et optimisation », Ellipse Edition Marketing.

14 Site web: [http ://www.foad.uadb.edu.sn/ mod/book/view.php?id=1491&chapterd = 1290] Consulté le 16/02/2024

15 Site web : [http://www.foad.uadb.edu.sn/mod/book/view.php?id=1491&chapterid= 1290] Consulté le 16/02/2024

16 Bellabaci Anouar," Contribution à la modélisation du rayonnement solaire comme un paramètre climatologique pour des applications photovoltaïques en Algérie", doctorat, Université Mohamed Boudiaf - M'sila année 2021

17 Site web: [https://www.edfenr.com/lexique/rayonnement-direct/] consulté le 09/02/2024

18 BELLABACI Anouar," Contribution à la modélisation du rayonnement solaire comme un paramètre climatologique pour des applications photovoltaïques en Algérie", doctorat, Université Mohamed Boudiaf - M'sila année 2021

19 P. Gonçalves, S. Vasconcelos, "Photovoltaic solar energy: Conceptual framework" Renewable and Sustainable Energy Reviews 74. 590–601(2017)

Chapitre II

1 Site web : [https://energypedia.info/wiki/Energie _durable_pour_le_refroidissement#Introduction] consulté le 15/03/2024

2 Rapport de fin d'études, réfrigération solaire de Mn Hamzaoui Mohammed, Université Sultan Moulay Slimane Faculté Polydisciplinaire Béni-Mellal Licence Professionnelle, 2019/2020

3 Site web : [https://iifiir.org/fr/fridoc/etude-d-un-systeme-de-rafraichissement-solaire-a-absorption-134463] Consulté le 17/03/2024

4 A.Smaili .Boudoumi Nesrine 2015,"Etude technico-économique d'une installation de climatisation solaire adaptée à la région d'Alger" mémoire de master 2015

5 site web : [https://www.abcclim.net/le-cycle-de-carnot.html] Consulté le 17/03/2024

6 site web :[https://www.youphysics.education/fr/machine-frigorifique/machinefrigorifique-carnot/] Consulté le 17/03/2024

7 site web :[http://www.laurentgry-sciences.fr/data/cyclecarnot.pdf] Consulté le 17/03/2024

8 Site web :[https://www.actuenvironnement.com/ae/dossiers/climatisation_solaire/systèmes_fermes.php4] Consulté le 19/03/2024

9 site web :[https://www.solairecollectif.fr/photo/img/Froid%20solaire/Fiches%20techniques%20composants/02_Machines_frigorifiques_sorption.pdf] Consulté

15 site web: [https://alpinovx.com/lhistoire-des-fluides-frigorigenes/] Consulter le 22/03/2024

16 site web: [https://www.techno-science.net/glossaire-definition/Fluide-frigorigene.html#ref_1] Consulté le 22/03/2024

17 Site web : [https://formationenergetique.fr /images/LPChesnois/les_fluides_frigorigenes1.pdf]consulter le 26/03/2024

18 Site web :[https://www.gazdom.fr/sites/default/files/2021-09/classification_des_fluides_frigorigenes-gazdom.pdf]consulter le 28/03/2024

19 Site web : [https://mecobat.com/caracteristiques-et-comparaisons-des-fluides-frigorigenes/] Consulté le 29/03/2024

20 Site web : [https://www.gazdom.fr/sites/default/files/2021-09/classification_des_fluides_frigorigenes-gazdom.pdf] Consulté le 29/03/2024

21 Mémoire master academique Etude des Fluide frigorigène de substitution Présenté par : Laimeche Mohammed Laid Akram Deblaoui Sofiane 15/06/2021

Chapitre III

1 Djeghdjegh Brahim," Etude des pompes à chaleur à absorption cycle G.A.X (échangeur Générateur Absorbeur), mémoire, Université Mohamed Khider de Biskra Faculté des Sciences et de la Technologie Département de Génie Mécanique 2019

2 Hadj Imad et Bensidhoum Abdelkader," Contribution à l'amélioration des performances des installations à réfrigération solaire à absorption ", mémoire, université Aboubaker Belkadi Tlemcen 2013

3 Messaoudi Aboubaker, utilisation du gaz naturelle dans la production de froid, mémoire, université Kasdri Merbah OURGLA,2015/2016

4 Site web : [https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/energies- th4/production-defroid-mecanique-42211210/machines-a-absorption-liquide- be9738/technologie-nh3-h2o-be9738niv10001.html] Consulté le 02/04/2024

5 Site web : [https://www.sft.asso.fr/Local/sft/dir/user3775/doc uments/actes/Congres_2015/Communications/42374-fichier4.pdf] Consulté le 03/04/2024

6 Site web: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-13-6577-5_32]

Consulté le 03/04/2024

7 Site web: [https://www.mdpi.com/1996-1073/16/16/6036] Consulter le 03/04/2024

Chapitre IV

1 M. Benramdane et al., ‘’ Amélioration des performances des installations de réfrigération solaires à absorption’’, Revue des Energies Renouvelables SIENR’12 Ghardaïa (2012) 357 – 365 357.

2 S. Kherris et al., ‘’SARM: Simulation of Absorption Refrigeration Machine’’, Revue des Energies Renouvelables Vol. 11 N°4 (2008) 587 – 594.

3 Site web: [https://www.researchgate.net/figure /DiagrammedeOldhamautomatise_fig4_ 3198 43883] Consulté le 28/04/2024

الملخص

في هذا المشروع، أجرينا دراسة نمذجة ومحاكاة لآلة تبريد بالامتصاص أحادية المفعول تعمل باثنين من الأزواج الثنائية : NH_3/H_2O و $LiBr/H_2O$

يتعلق مشروعنا بمحاكاة مصنع امتصاص أحادي المفعول يعمل بازدواجين ثنائيين: NH_3/H_2O و. $LiBr/H_2O$ أُجريت دراسة المحاكاة باستخدام برنامجEES ، مع التركيز على النمذجة الديناميكية الحرارية لمختلف مكونات دورة الامتصاص .

في ختام هذه الأطروحة، قمنا بكتابة قسم عن النتائج المختلفة التي تم الحصول عليها من خلال المحاكاة وتفسيرها. تُظهر هذه النتائج أن جهازنا يعمل بشكل صحيح في درجة حرارة الغرفة.

الكلمات المفتاحية: *آلات التبريد، آلة الامتصاص، الطاقة الشمسية، معامل الأداء، زوج ثنائي $H_2O/LiBr$ NH_3/H_2O*

Abstract

In this project, we have undertaken a modelling and simulation study of a single-acting absorption refrigeration machine that operates with two binary couples: NH_3/H_2O and $LiBr/H_2O$

Our project concerns the simulation of a single-acting absorption plant that operates with two binary couples: NH_3/H_2O and $LiBr/H_2O$. The simulation study was carried out using the EES program, focusing on the thermodynamic modelling of the various components of an absorption cycle.

At the conclusion of this dissertation, we have written a section on the various results obtained by the simulation and their interpretation. These results show that our machine operates correctly at room temperature.

Keywords: *Refrigeration machines, Absorption machine, Solar energy, Coefficient of performance, Binary pair $H_2O/LiBr$ NH_3/H_2O.*

Résumé

Dans ce projet, nous avons entrepris une étude de modélisation et de simulation d'une machine frigorifique à absorption simple effet qui fonctionne avec deux couples binaires : NH_3/H_2O et $LiBr/H_2O$

Notre projet porte sur la simulation d'une installation à absorption simple effet qui fonctionne avec deux couples binaires : NH_3/H_2O et $LiBr/H_2O$. L'étude de simulation a été réalisée à l'aide du programme EES, en se concentrant sur la modélisation thermodynamique des différents composants d'un cycle à absorption.

À la conclusion de ce mémoire, nous avons rédigé une section sur les différents résultats obtenus par la simulation et leur interprétation. Ces résultats montrent que notre machine fonctionne correctement à température ambiante.

Mots clés : *Machines frigorifiques, Machine à absorption, Energie solaire, Coefficient de performance, Couple binaire H2O/LiBr NH3/H2O*