

الجمهورية الجزائرية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة أبي بكر بلقايد - تلمسان -

Université Aboubakr Belkaid – Tlemcen –

Faculté de TECHNOLOGIE



MEMOIRE

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

En : Génie Mécanique

Spécialité : Energétique

Par : BOUZBIBA Soufiane et BENMOSTEFA Sohaib

Sujet

Contribution à l'amélioration d'un système de réfrigération à absorption

Soutenu publiquement, le 10 / 06 / 2024, devant le jury composé de :

M SAIM Rachid	Pr	Université de Tlemcen	Président
Mme MOSTEFAOUI Amina	MCB	Université de Tlemcen	Examineur
M BENRAMDANE Mohammed	MCA	Université de Tlemcen	Encadreur
M CHIKH Mohamed El-Amine	Doctorant	Université de Tlemcen	Co-encadreur

Année Universitaire : 2023 / 2024

Remerciements

Tout d'abord, nous tenons à remercier Dieu tout puissant, de nous avoir donné la santé, la volonté et la patience pour mener à terme ce travail de recherche.

*Nous tenons à exprimer nos profonds remerciements à nos encadreurs **M. BENRAMDANE Mohammed** et **M. CHIKH Mohammed El Amine** pour leurs supervision de ce mémoire de master et pour l'intérêt qu'ils ont manifesté tout au long de ce travail.*

Nous remercierons vivement :

***M. SAIM Rachid**, Professeur en génie mécanique, Université de Tlemcen, qui a bien voulu accepter de présider le jury de soutenance.*

***Mme MOSTFAOUI Amina**, Enseignant en génie mécanique, Université de Tlemcen, pour avoir accepté de participer au jury de soutenance.*

Nous tenons à gratifier aussi les membres de jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail.

Nous remercions également tous les enseignants et tous les membres du département de génie mécanique.

Nous exprimons notre profonde gratitude à nos parents pour leur sacrifice et soutien inestimables durant nos études.

Enfin, nous adressons nos sincères sentiments de gratitude et de reconnaissance à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin pour la réalisation de ce travail.

Dédicaces

Du profond de mon cœur, je dédie ce travail à tous ceux qui me sont chers,

***A mon cher père,** aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect, mon chagrin, mon amour éternel et ma considération pour les sacrifices que lui a consenti pour mon instruction et mon bien être. Que ce modeste travail soit l'exaucement de ses vœux tant formulés, le fruit de ses innombrables sacrifices.*

***A ma chère maman,** cette amie qui m'a donné la vie, cette amie qui était toujours prête à me dire que tout irait bien, cette maman qui partage nos joies et nos peines avec tout son cœur, aujourd'hui du fond de mon cœur je dis « Merci maman ».*

A ma chère Sœur et chers frères pour leur soutien plus que précieux.

Et enfin, à mes très chers amis

SOUFIANE

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à:

Ma très Chère mère,

Mon cher Père,

*Mon chère binôme SOFIANE avec qui j'ai partagé ce travail dans
les bons*

et mauvais moments ainsi que sa famille,

Tous mes amis(es) sans exceptions,

Tous mes collègues.

Toute la promotion de.

Génie mécanique

« Énergétique »

Sohaib

المخلص

يتم الحصول على التبريد، سواء لتكييف الهواء في المنازل أو لحفظ المنتجات المختلفة (الأغذية، والمستحضرات الصيدلانية، وما إلى ذلك)، بشكل عام بواسطة آلات تعمل بدورة الضغط والتمدد. وتستهلك هذه الآلات كمية كبيرة من الكهرباء، كما أنها ملوثة للبيئة في نهاية المطاف. وقد أسفرت جهود الباحثين للقضاء على هذه العيوب عن ظهور منشآت جديدة تستخدم الطاقة الشمسية لإنتاج البرودة.

وفي هذا العمل، بدأنا في دراسة نمذجة ومحاكاة لآلة تبريد بالامتصاص أحادية المفعول ومزدوجة المفعول تعمل بالزوج الثنائي (H₂O/LiBr)

تم تحليل تأثير درجات حرارة التشغيل لكل مكون على معامل الأداء وكفاءة النظام.

تم عرض النتائج التي تم الحصول عليها ومناقشتها.

الكلمات المفتاحية: آلة الامتصاص، الطاقة الشمسية، آلات التبريد، معامل الأداء.

Abstract

Refrigeration, whether for air-conditioning of homes or preservation of various products (food, pharmaceuticals, etc.), is generally obtained by machines operating on a compression-expansion cycle. These machines consume a considerable amount of electrical energy and are the ultimate polluters of the environment. Researchers' efforts to eliminate these drawbacks have resulted in the emergence of new systems that use solar energy to produce cold.

In this work, we have undertaken a modeling and simulation study of a single-acting and double-acting absorption refrigeration machine operating with the binary couple (H₂O/LiBr). The effect of the operating temperatures of each element on the system's coefficient of performance (COP) and efficiency was analyzed. The results obtained are presented and discussed.

Key-words : *Absorption machine, Solar energy, Refrigeration machines, Coefficient of performance.*

Résumé

Le froid, que ce soit pour la climatisation des habitats ou la préservation des différents produits (alimentaires, pharmaceutiques etc.), s'obtient généralement par des machines fonctionnant suivant un cycle compression-détente. Ces dernières sont caractérisées par une consommation considérable d'énergie électrique et sont des pollueuses par excellence de l'environnement. L'effort des chercheurs pour éliminer ces inconvénients s'est soldé par l'émergence de nouvelles installations qui usent de l'énergie solaire pour la production du froid.

Dans ce travail nous avons entamé une étude de modélisation et de simulation d'une machine frigorifique à absorption simple effet et double effet fonctionnant avec le couple binaire (H₂O/LiBr).

L'effet des températures de fonctionnement de chaque élément sur le coefficient de performance (COP) et l'efficacité du système a été analysé. Les résultats obtenus sont présentés et discutés

Mots clés : *Machine à absorption, Energie solaire, Machines frigorifiques, Coefficient de performance.*

Sommaire

Résumé

Liste des figures

Liste des tableaux

Nomenclature

Introduction Générale

1

Chapitre I : Climatisation solaire dans le tissu énergétique mondiale

I.1.	Introduction	5
I.2	Enjeux économiques et environnemental	5
I.3	Effets environnementaux	6
I.3.1	Réserves énergétiques mondiales	7
I.3.2	Consommation énergétique mondiale	8
I.3.2.1	Consommation énergétique en Algérie	9
I.3.3	Consommation d'énergie dans le secteur de bâtiment	10
I.3.3.1	Consommation d'énergie dans le secteur de bâtiment en Algérie	11
I.4	Prise en compte des contraintes environnementales	11
I.4.1	Concepts de développement durable	11
I.4.1.1	Menaces et solutions climatiques	13
I.4.1.2	Gaz à effet de serre	14
I.4.1.3	Evolution des émissions de CO ₂	15
I.4.2	Scenarion d'évolution énergétique	16
I.4.3	Importance des énergies renouvelables	17
I.5	Gisement solaire	18
I.5.1	Source de l'énergie solaire	19
I.5.2	Spectre de rayonnement solaire	19
I.5.3	Aspects énergétiques	20
I.5.3.1	Rayonnement solaire à travers l'atmosphère	20

I.6	Contexte national	21
I.6.1	Situation géographique	21
I.6.2	Potentiel des énergies renouvelables en Algérie	22
I.6.2.1	Potentiel de l'énergie solaire	23
I.6.2.2	Potentiel de l'énergie éolienne	25
I.6.2.3	Potentiel de l'énergie géométrique	26
I.6.2.4	Potentiel d'énergie de la biomasse	28
I.6.2.5	Potentiel hydraulique	28
I.7	Conclusion	29

Chapitre II : Machines frigorifiques

II.1	Introduction	31
II 2	Généralités sur les modes de production de froid et applications	31
II.3	Différents types du machines frigorifiques	32
II.3.1	Machine frigorifique à compression mécanique	33
II.3.1.1	Principe de fonctionnement	34
II 3.1.2	Représentation de cycle frigorifique a compression mécanique	34
II.3.1.3	Avantages et inconvénients d'une installation frigorifique a compression mécanique	35
II .3.2	Système de réfrigération solaire a absorption	35
II.3.2.1	Historique des machines frigorifiques a absorption	35
II.3.2.2	Principe de fonctionnement	36
II.3.2.3	Amélioration d'une machine a absorption	36
II.3.2.3.1	Système de réfrigération à absorption simple effet	36
II.3.2.3.2	Système de réfrigération à absorption demi effet	37
II.3.2.3.3	Système de réfrigération à absorption double effet	38
II.3.2.3.4	Système de réfrigération à absorption triple effet	39
II.3.2.5	Couples utilisés pour les systèmes à absorption	39
II.3.3	Machine a adsorption	40
II.3.3.1	Description d'une machine frigorifique a adsorption	40

II.3.3.2	Principe de fonctionnement	40
II.4	Fluides de travail	41
II.4.1	Historique	41
II.4.2	Propriétés nécessaires des fluides frigorigènes	42
II.4.3	Classification des fluides frigorigènes	42
II.4.3.1	Fluides frigorigènes purs	42
II.4.3.1.1	Fluides frigorigènes naturels	42
II.4.3.1.2	Fluides frigorigènes synthétiques	43
II.4.3.2	Mélanges des fluides	44
II.4.3.3	Nomenclature des réfrigérantes	45
II.5	Critères de choix	45
II.6	Conclusion	46

Chapitre III : Étude thermodynamique d'une installation à absorption

III.1	Introduction	49
III.2	Systèmes frigorifiques à absorption Eau – Bromure de lithium (H ₂ O- LiBr)	49
III.3	Diagramme thermodynamique utilisés dans les cycles d'absorption	50
III.3.1	Diagramme d'Oldham	50
III.3.2	Diagramme de Merkel	50
III.4	Modélisation de cycle simple effet	51
III.4.1	Bilans de masses et d'énergies	52
III.5	Modélisation de cycle double effet	57
III.5.1	Bilan énergétique	57
III.5.2	Bilan de masses	59
III.6	Conclusion	61

Chapitre IV : étude paramétrique

IV.1	Introduction	63
IV.2	ESS (Engineering Equation Solver)	63

IV.3	Présentation de lieu l'implantation de l'installation	64
IV.3.1	Données géographiques	64
IV.3.2	Données Métrologiques	64
IV.4	Installation à absorption simple effet	65
IV.4.1	Simulation de l'installation simple effet	68
IV.5	Installation à absorption double effet en série	69
IV.5.1	Simulation de l'installation double effet	73
IV.5.2	Comparaison entre COP simple et double effet :	74
IV.6	Interprétation des courbes	74
IV.7	Conclusion	75
	Conclusion générale	77
	Références bibliographie	

Liste des figures

Figure I.1	Origine des émissions de CO ₂ due à la combustion d'énergie.
Figure I.2	Répartition des réserves mondiales de pétrole prouvées fin 2013.
Figure I.3	Répartition des réserves mondiales de gaz naturel.
Figure I.4	Évolution de la consommation d'énergie primaire selon AIE.
Figure I.5	Cycle de vie d'un bâtiment.
Figure I.6	Piliers du développement durable.
Figure I.7	Mesures et des technologies de pointe existantes pour placer le monde sur une trajectoire de réchauffement de 2°C.
Figure I.8	Mécanismes de l'effet de serre naturel.
Figure I.9	Émissions mondiales de CO ₂ énergétique.
Figure I.10	Évolution des émissions de CO ₂ dans le scénario évolution énergétique.
Figure I.11	Scénario de consommation énergétique mondiale
Figure I.12	Étapes du scénario de l'AIE
Figure I.13	Pourcentage d'énergies au niveau mondial
Figure I.14	Types d'énergie solaire.
Figure I.15	Spectre du rayonnement solaire
Figure I.16	Distribution spectrale du rayonnement solaire
Figure I.17	Puissance rattachée quotidiennement par le soleil sur une année.
Figure I.18	Structure verticale de l'atmosphère
Figure I.19	Situation géographique de l'Algérie.
Figure I.20	Programme Algérien de énergies renouvelables

Figure I.21	Carte de l'Irradiation Globale Directe Annuelle Moyenne (Période 2002-2011).
Figure I.22	Irradiation solaire globale reçue sur plan incliné à la latitude du lieu moyenne.
Figure I.23	Carte du Vent Annuel Moyen à 50m (Période 2001-2010)
Figure I.24	Potentiel géothermique en Algérie.
Figure I.25	Gradient géothermique.
Figure II.1	Diagramme énergétique d'une machine frigorifique
Figure II.2	Schéma d'une installation frigorifique à compression mécanique.
Figure II.3	Cycle théorique d'une installation frigorifique à compression mécanique
Figure II.4	Structure d'une machine à absorption
Figure II.5	Schéma d'une installation frigorifique à absorption à simple effet.
Figure II.6	Système de réfrigération solaire à absorption à demi-effet.
Figure II.7	Système de réfrigération solaire à absorption à double effet
Figure II.8	Schéma d'une machine frigorifique à adsorption.
Figure III.1	Diagramme de d'Oldham du couple (H ₂ O-LiBr)
Figure III.2	Diagramme de Merkel du couple (H ₂ O-LiBr)
Figure III.3	Schéma de fonctionnement d'un cycle à absorption à simple effet
Figure III.4	Générateur
Figure III.5	Condenseur
Figure III.6	Evaporateur
Figure III.7	Absorbeur
Figure III.8	Pompe de solution
Figure III.9	Echangeur de chaleur

FigureIII.10	Schéma de fonctionnement d'un cycle à absorption à double effet
Figure IV. 1	Logiciel EES
Figure IV. 2	Installation à absorption avec un seul bouilleur.
Figure IV. 3	Influence la température du bouilleur sur la pression
Figure IV. 4	Influence le COP en fonction de Température bouilleur
Figure IV. 5	Installation à absorption avec deux bouilleurs en série
Figure IV. 6	Influence de COP en fonction de Température de bouilleur
Figure IV. 7	Influence de COP en fonction de Température d'évaporateur
Figure IV. 8	Présentation de la variation de COP dans deux installations simple effet et double effets (température de générateur)

Liste des Tableaux

Tableau I.1	Consommation nationale par agrégat.
Tableau I.2	Potentiel de l'énergie solaire en Algérie par région.
Tableau II.1	Application du premier principe pour les différentes composantes
Tableau II.2	Performance des cycles absorption
Tableau II.3	Couples utilisés pour les systèmes à absorption.
Tableau II.4	Classification des Fluides inorganique pure
Tableau II.5	Classification des fluides hydrocarbures
Tableau II.6	Classification des fluides Chlorofluorocarbures
Tableau II.7	Fluides de famille de HCFC.
Tableau II.8	Fluides de famille HFC
Tableau II.9	Nom, nomenclature et formule chimique des réfrigérants naturels
Tableau IV.1	Caractéristiques de quelques zones du pays.
Tableau IV.2	Température ambiante moyenne mensuelle en °C.
Tableau IV.3	Caractéristiques d'une installation à absorption simple effet pour T=80 °C
Tableau IV.4	Caractéristiques d'une installation à absorption simple effet pour T=90 °C
Tableau IV.5	Caractéristiques d'une installation à absorption simple effet pour T=110 °C
Tableau IV.6	Caractéristiques d'une installation à absorption double effet pour T=100 °C
Tableau IV.7	Caractéristiques d'une installation à absorption double effet pour T=110 °C
Tableau IV.8	Caractéristiques d'une installation à absorption double effet pour T=120 °C

Nomenclature

Symboles :

h	Enthalpie	[J/kg]
\dot{m}	Débit massique	[g/s]
P	Pression	[pa]
$P_0 BP$	Base pression	[pa]
$P_1 HP$	Haut pression	[pa]
Q_a	Quantité de chaleur cédée par l'absorbeur.	[w]
Q_f	Quantité de chaleur froid	[w]
Q_e	Quantité de chaleur absorbée par l'évaporateur.	[w]
Q_g	Quantité de chaleur fournit au générateur.	[w]
S	Entropie	[J/kg.K]
T	Température	[K]
T_c	Température du condenseur	[K]
T_e	Température du l'évaporateur	[K]
T_a	Température du l'absorbeur	[K]
T_g	Température du générateur	[K]
W_p	Travail pompe	[J/kg]
COP	Coefficient de performance	Sans dimension
x	Concentration de solution	(%)
v	Volume massique	m^3/Kg

Indices

<i>a:</i>	absorbeur
<i>c:</i>	condenseur
<i>e:</i>	évaporateur
<i>l:</i>	liquide
<i>p:</i>	pauvre
<i>r:</i>	riche
<i>v :</i>	vapeur

Abréviations

AIE :	Agence internationale de l'énergie
CFC :	Chlorofluorocarbures
FF :	Fluide frigorigène
GES :	Gaz à effet de serre
GIEC :	Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat
GNL :	Gaz naturel liquéfié.
GPL :	Gaz de pétrole liquéfié.
HCFC :	Hydrochlorofluorocarbures
HFC :	Hydrofluorocarbures.
Tep :	Tonne équivalent pétrole

INTRODUCTION GENERALE

Introduction Générale

L'énergie joue un rôle essentiel dans notre vie quotidienne et dans le développement des sociétés, en contribuant au développement économique et en améliorant la qualité de vie, notamment dans les domaines du transport, de la santé, de la technologie, du chauffage et de la climatisation.

Les combustibles fossiles constituent une source majeure d'énergie dans le monde, mais ils comportent de nombreux risques pour l'environnement et la santé : Ils contribuent au changement climatique, au réchauffement de la planète, à la pollution de l'air par les gaz toxiques et à la pollution de l'eau par les déversements de pétrole dans les mers et les océans.

Il devient de plus en plus évident que l'avenir de l'énergie dans le monde doit s'orienter vers l'adoption de sources plus durables et plus propres pour contrôler la pollution locale causée par l'utilisation de différents types de combustibles afin de minimiser les dommages environnementaux, ce qui nous oblige à réduire les émissions de gaz à effet de serre, en particulier le dioxyde de carbone. Face à l'épuisement des combustibles fossiles et à leur impact négatif sur l'environnement, les sources d'énergie renouvelables semblent être l'option d'avenir pour répondre aux besoins énergétiques à long terme de la planète.

les machines à absorption présentent une alternative intéressante aux systèmes de climatisation conventionnels par l'aspect écologique qu'elles offrent, mais aussi, du fait que les fluides frigorigènes utilisés ne présentent pas de risque de déplétion de la couche d'ozone ,Ce qui fait d'elle une offre sérieuse puisque elle n'utilise aucun fluide nocif que les réglementations internationales interdisent progressivement comme les chlorofluorocarbures (CFC) qui ont été considérés comme responsables de la détérioration de la couche d'ozone de notre planète. En plus, ces émissions favorisent l'effet de serre et, donc, l'accroissement de la température moyenne globale de la planète.

Le but principal de notre travail est de faire une simulation d'un système de rafraîchissement solaire par absorption utilisant le mélange (H₂O/LiBr) en utilisant le premier principe de la thermodynamique.

Notre travail est reparti sur quatre chapitres :

Le premier chapitre décrit l'importance de l'énergie dans la vie quotidienne avec le danger des combustibles fossiles et la nécessité de recourir aux énergies renouvelables afin de préserver l'environnement et le climat.

Le chapitre 2 présente les machines de refroidissement solaire, en mettant l'accent sur les machines à absorption, et inclut également certains refroidisseurs de réfrigération ainsi que leur rôle, leurs caractéristiques et leur impact.

Le chapitre 3 présente une étude thermodynamique d'une installation d'absorption simple et double effet binaire (LiBr/H₂O), avec les équations nécessaires pour calculer les différents paramètres thermodynamiques en différents points de l'installation.

Le chapitre 4 présente et discute les résultats obtenus.

Enfin, le travail se termine par une conclusion générale.

Chapitre I

Climatisation Solaire Dans Le Tissu
Énergétique Mondiale

Chapitre I

Climatisation solaire dans le tissu énergétique mondiale

I.1 Introduction

L'énergie est devenue un élément indispensable de la vie humaine, soutenant tous les aspects de la vie quotidienne, y compris les transports, la santé, la technologie, le chauffage et la climatisation. Elle contribue également au développement économique et améliore la qualité de vie.

Il devient de plus en plus évident que l'avenir énergétique du monde doit passer par une rupture totale avec les modes de production et de consommation d'énergie du passé.

Cet impératif est motivé par la nécessité de parvenir à une certaine forme de sécurité énergétique, par le besoin urgent de contrôler la pollution locale causée par l'utilisation de différents combustibles et, bien sûr, par le problème croissant du changement climatique, qui nous oblige à réduire les émissions de gaz à effet de serre, en particulier le dioxyde de carbone.

Face à l'épuisement des combustibles fossiles et à leur impact négatif sur l'environnement, les sources d'énergie renouvelables semblent être le choix de l'avenir pour répondre aux besoins énergétiques à long terme de la planète.

Avec le lancement d'un ambitieux programme de développement des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique, l'Algérie a développé une dynamique énergétique verte basée sur une stratégie de maximisation et d'exploitation des ressources renouvelables pour diversifier les sources d'énergie et préparer le pays à l'avenir.

I.2 Enjeux économiques et environnemental

L'environnement est le milieu dans lequel les êtres humains vivent, influencent et sont influencés, et trouvent les éléments nécessaires à leur survie tels que la nourriture, les vêtements et le logement. L'environnement est également défini comme l'ensemble des conditions naturelles, artificielles ou culturelles qui ont un impact clair sur les objectifs économiques à travers l'exploitation des ressources environnementales telles que l'énergie (combustibles fossiles, gaz naturel, hydrogène, etc.) qui ont un impact clair sur l'environnement.

Il faut désormais tenir compte de la pollution globale associée à l'émission de gaz qui contribuent au réchauffement climatique et parmi les gaz émis lors de l'utilisation de l'énergie,

on constate qu'ils sont réactifs et donc toxiques. C'est pourquoi, après de nombreuses hésitations au cours des dernières décennies, les sources d'énergie renouvelables s'imposent progressivement comme l'une des alternatives les plus sûres et les plus durables, en particulier pour la production d'électricité. [1]

Les citoyens du monde ont récemment pris conscience de la gravité de la pollution de l'environnement et de ses effets négatifs, ce qui a incité l'Organisation mondiale de protection de l'environnement à placer progressivement les préoccupations environnementales au rang de priorité, et le défi vide est d'assurer un véritable développement durable pour l'humanité, ce qui nécessite de veiller à ce que tous les êtres humains jouissent d'une qualité de vie adéquate où l'accès à l'eau et à la nourriture est essentiel.

I.3 Effets environnementaux : Changement climatique

La couverture naturelle de gaz à effet de serre dans l'atmosphère maintient la planète suffisamment chaude pour permettre la vie telle que nous la connaissons, mais les émissions de gaz à effet de serre d'origine humaine ont rendu cette couverture plus épaisse, piégeant la chaleur et provoquant le réchauffement de la planète. Les combustibles fossiles sont la principale source de gaz à effet de serre d'origine humaine.

La combustion du charbon, du pétrole et du gaz naturel libère chaque année des milliards de tonnes de carbone qui, autrement, resteraient enfouis dans le sol. Le secteur de la production d'énergie est celui qui contribue le plus aux émissions mondiales de GES (AIE, 2020). En 2018, ce secteur (production d'énergie non électrique + production d'électricité) était responsable de 47 % des émissions totales de CO₂ (figure 1), ainsi que d'importantes quantités de méthane et d'oxyde nitreux.

L'abattage d'arbres et le fait de ne pas les replanter entraînent l'émission d'une plus grande quantité de dioxyde de carbone. Par ailleurs, le méthane est émis par l'élevage à grande échelle, le méthane est également émis par les rizières et les décharges, et l'oxyde nitreux est produit par l'utilisation d'engrais. [2]

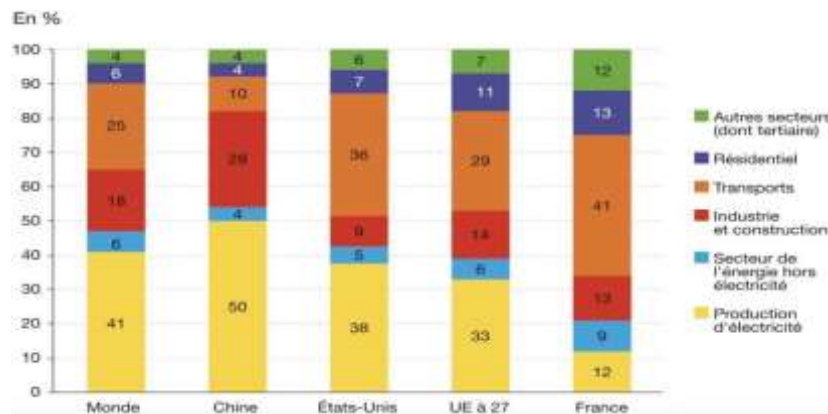


Figure I.1 : Origine des émissions de CO₂ due à la combustion d'énergie.

Les menaces que la pollution et le réchauffement climatique font peser sur l'environnement augmentent d'année en année. Malheureusement, les plans actuels ne permettent pas d'atteindre l'objectif fixé par le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), à savoir limiter la hausse des températures à 1,5 °C. Sur la base des plans et objectifs énergétiques actuels des gouvernements, les politiques actuelles ne peuvent que stabiliser et réduire légèrement les émissions mondiales d'ici à 2050. Bien que le rôle de l'humanité dans les efforts de lutte contre le changement climatique soit indéniable, les émissions mondiales de dioxyde de carbone liées à l'énergie continuent d'augmenter. [3]

I.3.1 Réserves énergétiques mondiales

L'énergie est au cœur du développement, permettant des investissements, des innovations et de nouvelles industries qui sont des moteurs de la création d'emplois, de la croissance inclusive et de la prospérité partagée pour les économies.

La demande d'énergie augmente chaque année, et une étude suggère que jusqu'en 2060, les nouvelles technologies maintiendront la croissance de la demande d'énergie à un niveau modéré par rapport aux tendances historiques et permettront aux économies industrialisées d'évoluer plus rapidement vers une croissance axée sur les services et la durabilité. La numérisation et l'émergence de l'intelligence artificielle sont présentées comme des changements contribuant à l'amélioration de l'efficacité énergétique et au ralentissement de la demande d'énergie primaire. [4]

Le pétrole et le gaz font partie des principales ressources énergétiques utilisées. En 2013, selon le rapport de la Commission mondiale de l'énergie sur les ressources énergétiques mondiales, les réserves totales prouvées de pétrole étaient estimées à 1 650 milliards de barils.[5].

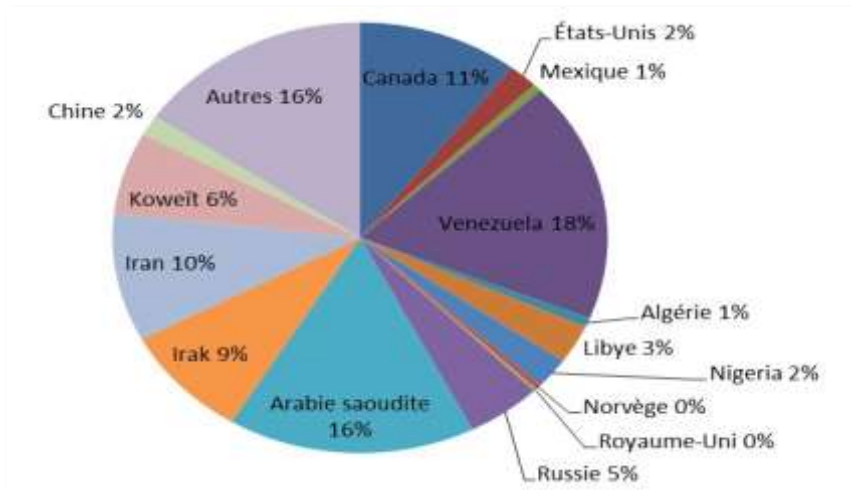


Figure I.2: Répartition des réserves mondiales de pétrole prouvées fin 2013.

Les réserves prouvées totales de gaz naturel en 2011 étaient de 209,742 milliards de mètres cubes, ce qui équivaut à 60 années de production, à condition que le taux de production reste au niveau actuel et qu'aucun nouveau gisement significatif ne soit découvert.

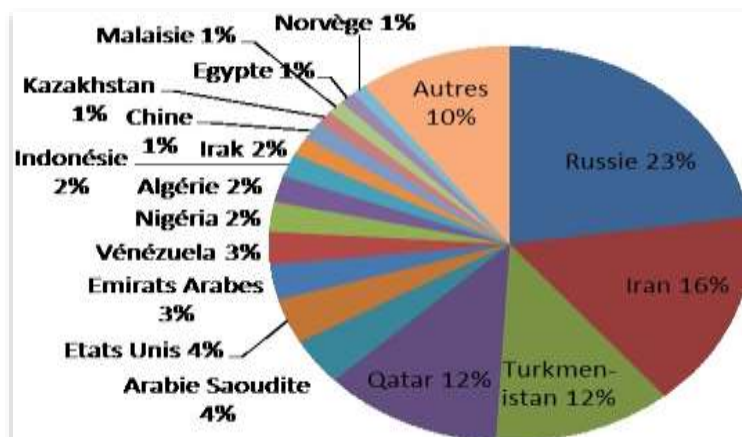


Figure I.3: Répartition des réserves mondiales de gaz naturel.

I.3.2 Consommation énergétique mondiale

L'énergie est devenue un enjeu primordial. Le développement durable est donc l'approche qui sous-tend certaines des études actuelles visant à la gestion globale des ressources énergétiques mondiales.

Depuis le siècle dernier, comme montre la figure I.4, la consommation de pétrole, de gaz naturel et de charbon a connu une croissance constante et rapide, une situation alimentée par une croissance économique et démographique importante. La croissance des besoins énergétiques pose la question de la sécurité d'approvisionnement et du changement

climatique, qui doivent être appréhendés en tenant compte des enjeux économiques, notamment de compétitivité, qui sont directement affectés par les choix énergétiques. [6].

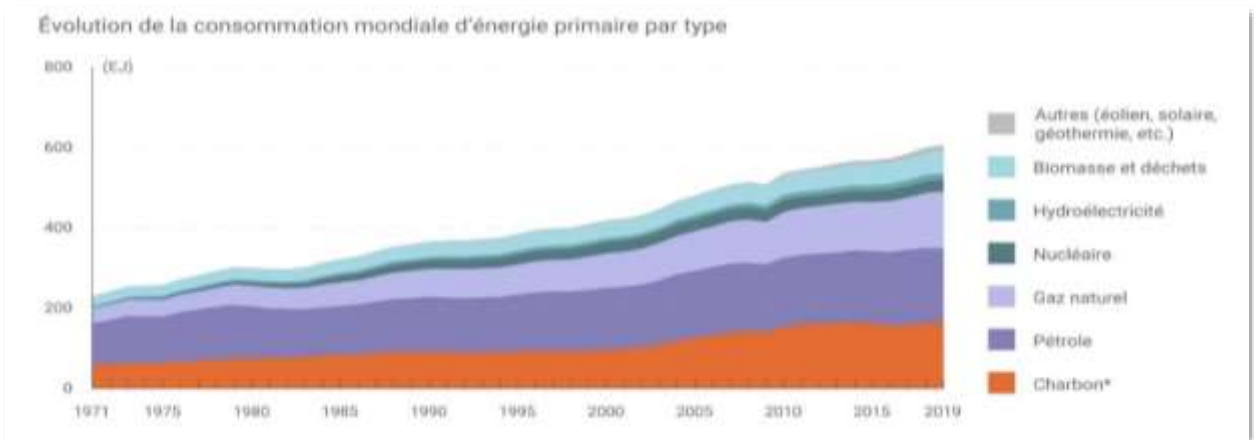


Figure 1.4: Évolution de la consommation d'énergie primaire selon AIE.

I.3.2.1 Consommation énergétique en Algérie

La forte demande actuelle de consommation d'énergie en Algérie est principalement due au niveau de vie élevé de la population et au confort qui en découle, ainsi qu'aux activités industrielles.

Selon le ministère de l'énergie dans son budget national de l'énergie, la consommation finale d'énergie de l'Algérie pour 2016. La consommation nationale d'énergie a atteint 58,3 millions de tonnes équivalent pétrole en 2016. Représentant plus du tiers (35,1%) de la production totale, la consommation finale d'énergie a légèrement augmenté à 42,9 Mtep, tirée notamment par l'électricité (+4,3%) et le gaz naturel (+3,3%).

La consommation nationale brute se caractérise par une forte croissance de la consommation non énergétique (+6,2%) d'une part, et une baisse significative des industries énergétiques et des pertes (-5,1%) d'autre part, ce qui donne la structure présentée dans le tableau. [7].

Tableau 1.1 : Consommation nationale par agrégat.

Unité : K Tep	2015	2016	Evolution	
			Quantité	(%)
Consommations des industries énergétiques	7841	7439	-402	-5.1
Consommations non-énergétiques	4077	4330	+254	+6.2

<i>Pertes</i>	3890	3690	-200	-5.1
<i>Consommation finale</i>	42458	42883	+425	+1
<i>Consommation nationale</i>	58265	58341	+76	+0.1

I.3.3 Consommation d'énergie dans le secteur de bâtiment

Le secteur du bâtiment, très consommateur d'énergie, est mis en avant : si la consommation des bâtiments traditionnels, en chauffage, est en baisse continue depuis le premier choc pétrolier, d'autres postes de consommation, comme la climatisation, se développent, entraînant une augmentation de la consommation d'énergie fossile qui se traduit par une augmentation des émissions de gaz à effet de serre (GES) dans l'atmosphère, mais aussi le fait que le bâtiment est la principale source de consommation d'énergie, ce secteur consommant plus de 40% du bilan énergétique annuel. [8]

Pour préserver notre environnement, le secteur de la construction doit jouer un rôle essentiel, car il est responsable d'un impact environnemental important (les données suivantes varient d'un pays à l'autre) :

- 16 % de la consommation d'eau, dont 1 à 2 % pour la consommation humaine
- 30 % des émissions de gaz à effet de serre.
- -40 % des déchets produits (hors déchets ménagers) sont valorisés.
- -45 % de la consommation totale d'énergie
- -Exploitation de 50 % des ressources naturelles.

Or, c'est pendant sa durée de vie qu'un bâtiment est le plus nocif pour l'environnement (comme le montre la figure I.5).

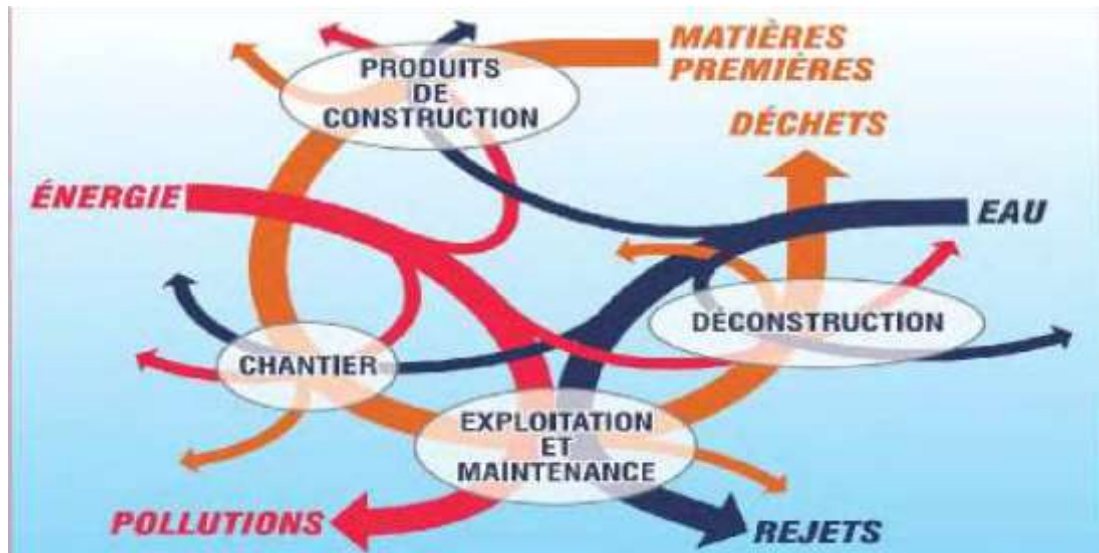


Figure I.5 : Cycle de vie d'un bâtiment.

I.3.3.1 Consommation d'énergie dans le secteur de bâtiment en Algérie

Le programme vise à encourager l'utilisation de pratiques et de technologies innovantes en matière d'isolation thermique pour les bâtiments neufs et existants. Il encourage également le déploiement à grande échelle d'équipements et d'appareils performants sur le marché local, en particulier les chauffe-eaux solaires et les lampes à faible consommation d'énergie :

Au total, plus de 30 millions d'unités d'énergie thermique seront économisées d'ici 2030, réparties comme suit :

- Ampoules à faible consommation d'énergie : On estime que 20 millions d'ampoules basse consommation seront disponibles d'ici 2030.
- L'isolation thermique : L'objectif est de réaliser un gain cumulé de plus de 7 millions d'EEU.
- L'éclairage général : L'objectif est de réaliser des économies d'énergie d'environ (01) million d'EEU d'ici 2030 et de réduire la facture énergétique des collectivités locales.
- Chauffage solaire de l'eau : L'objectif est de réaliser des économies d'énergie de plus de 2 millions de Téra Equivalent Energie [9].

I.4 Prise en compte des contraintes environnementales

I.4.1 Concepts de développement durable

Le développement durable est un terme socio-économique international utilisé par les Nations unies pour décrire le développement environnemental, social et économique à l'échelle mondiale. Son principal objectif est d'améliorer les conditions de vie de chaque

membre de la société, de développer les moyens et les méthodes de production et de parvenir à un développement durable sans épuisement des ressources naturelles de la terre d'une manière qui ne surcharge pas la terre et ne prive pas les générations futures de l'utilisation de ces ressources (répondre aux besoins des générations actuelles sans gaspiller les droits des générations futures) sans surexploiter les ressources naturelles restantes de la terre .

Le développement durable repose sur la réalisation de deux droits fondamentaux : Le droit au développement et le droit à la protection de l'environnement, qui sont tous deux des droits humains fondamentaux : L'homme, qui est le premier responsable de la nature et des ressources qu'elle contient, que Dieu a mises au service de l'humanité, et de la nécessité de les utiliser rationnellement.[10]

Le monde est confronté au danger de la dégradation de l'environnement, qui doit surmonter sans renoncer aux besoins de développement économique, d'égalité et de justice sociale.

Le développement durable est synonyme d'intégration. Cela signifie que le développement doit se faire d'une manière qui profite au plus grand nombre possible de régions, de frontières et même de générations. En d'autres termes, nous devons considérer les impacts sociaux, environnementaux et économiques potentiels lorsque nous prenons des décisions, en gardant à l'esprit que nos actions auront des conséquences ailleurs et dans le futur. [11]

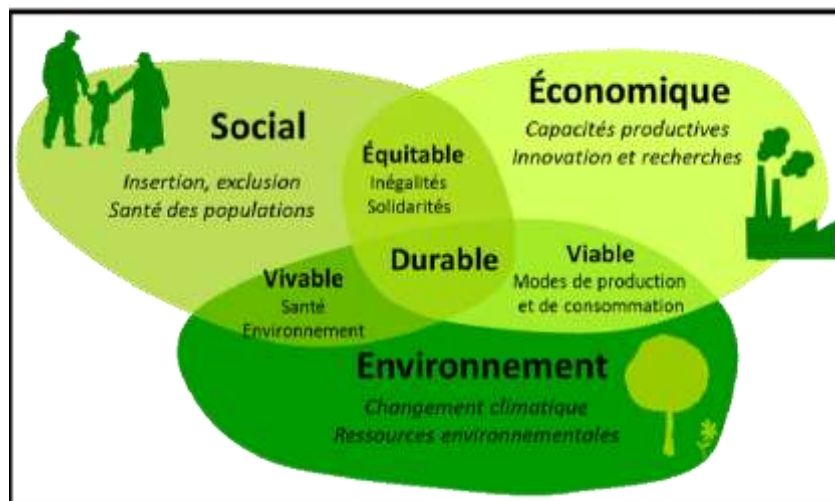


Figure I.6: les piliers du développement durable.

Dans ce schéma classique qui représente les piliers du développement durable plus les différentes composantes du système sont intégrées, plus la durabilité devient efficace (Cans 2009).

1.4.1.1 Menaces et solutions climatiques

Le changement climatique mondial, causé par l'accumulation continue de gaz à effet de serre dans l'atmosphère terrestre, et les combustibles fossiles - charbon et pétrole - sont de loin les principaux responsables du changement climatique mondial, représentant plus de 75 % des émissions mondiales de gaz à effet de serre et près de 90 % des émissions totales de dioxyde de carbone, perturbent déjà les écosystèmes et causent 150 000 décès supplémentaires par année. [12]

Une augmentation de 2°C de la température moyenne mondiale représente une menace croissante pour des millions de personnes : Famine, épidémies de paludisme, etc. Pour maintenir l'augmentation de la température dans des limites acceptables, les émissions de gaz à effet de serre doivent être réduites de manière drastique. C'est une question de bon sens environnemental et économique. Le principal gaz à effet de serre est le dioxyde de carbone (CO₂), qui résulte de l'utilisation de combustibles fossiles dans les transports et la production d'énergie.

En raison de leur présence dans l'atmosphère terrestre, les émissions de gaz à effet de serre piègent le soleil, ce qui entraîne un réchauffement de la planète.

Lorsque nous parlons de menaces climatiques, nous devons chercher des solutions qui contribuent à préserver la planète et à minimiser les effets du changement climatique.

Nous devons sensibiliser la population aux questions liées au changement climatique et l'encourager à prendre des mesures pour réduire la pollution par le carbone, et nous devons investir dans les sources d'énergie renouvelables telles que l'énergie solaire et éolienne, qui contribuent à réduire les émissions de gaz à effet de serre. [13]

Nous devons préserver les forêts, qui jouent un rôle important dans l'absorption du dioxyde de carbone de l'atmosphère. Nous devons nous efforcer de prévenir la déforestation et de planter davantage d'arbres.

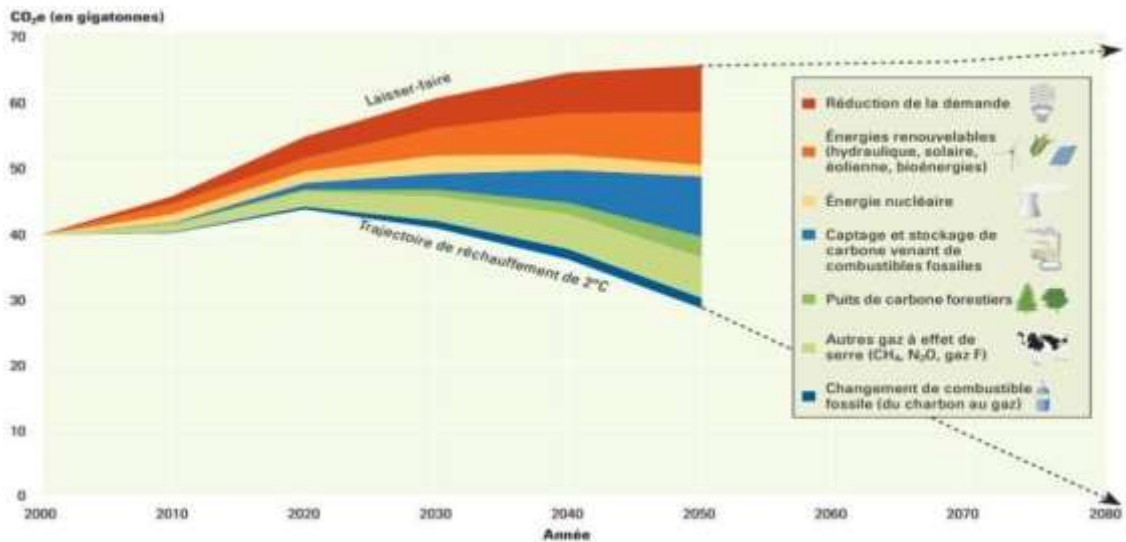


Figure I. 7 : Les mesures et des technologies de pointe existantes pour placer le monde sur une trajectoire de réchauffement de 2°C.

I.4.1.2 Gaz à effet de serre

Le réchauffement climatique est un phénomène naturel qui permet à l'atmosphère de se réchauffer à partir de la chaleur rayonnée par les surfaces de la Terre, en raison de la présence de gaz dans l'air tels que la vapeur d'eau, le dioxyde de carbone et le méthane.[14]

Sans cet effet de serre, la température de la Terre serait de -18°C, contre une température moyenne actuelle de +15°C. [voir figure I.8].

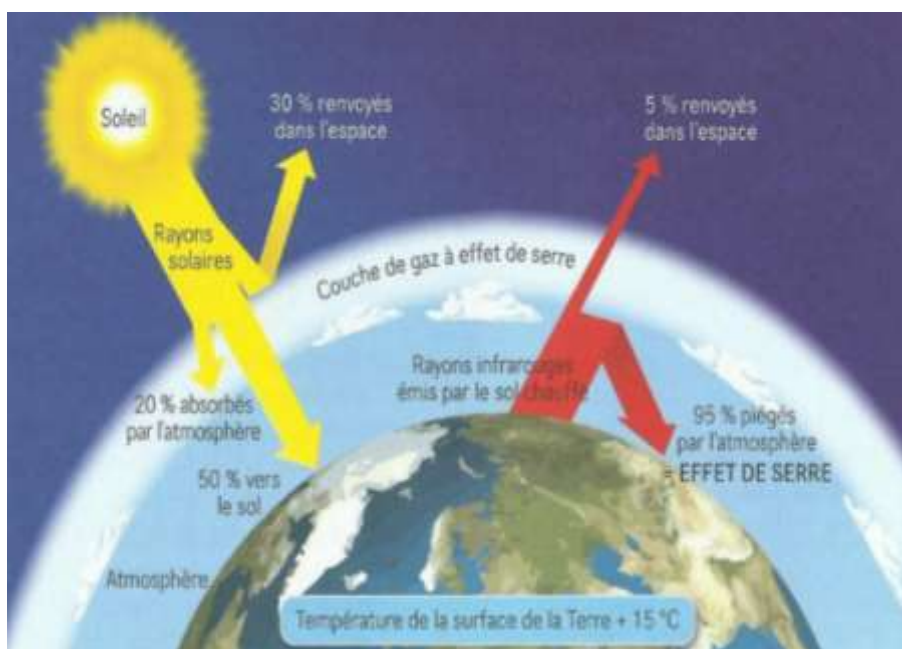


Figure I.8: Les mécanismes de l'effet de serre naturel.

I.4.1.3 Évolution des émissions de CO₂

Le dioxyde de carbone (CO₂) est le principal gaz à effet de serre d'origine humaine sur notre planète. Le CO₂ provient principalement des émissions de combustibles fossiles (charbon, pétrole et gaz), mais aussi de certains processus industriels, de la déforestation et de l'agriculture intensive. Il provient également de certains processus industriels, de la déforestation et de l'agriculture intensive.[15]

Le dioxyde de carbone est également émis par l'activité naturelle de notre planète, comme les éruptions volcaniques. Les émissions massives de dioxyde de carbone causées par les activités humaines entraînent un réchauffement de la planète et ont un impact négatif sur tous les environnements : Océans, sols, animaux, plantes, animaux, plantes et air. [16]

Comme le montre le graphique ci-dessous, les émissions ont atteint un niveau record et n'ont jamais été aussi élevées. Pire encore, la trajectoire des émissions que nous suivons actuellement correspond au scénario le plus pessimiste du GIEC, et pourrait entraîner une hausse des températures de plus de 6 °C d'ici la fin du siècle. [17]

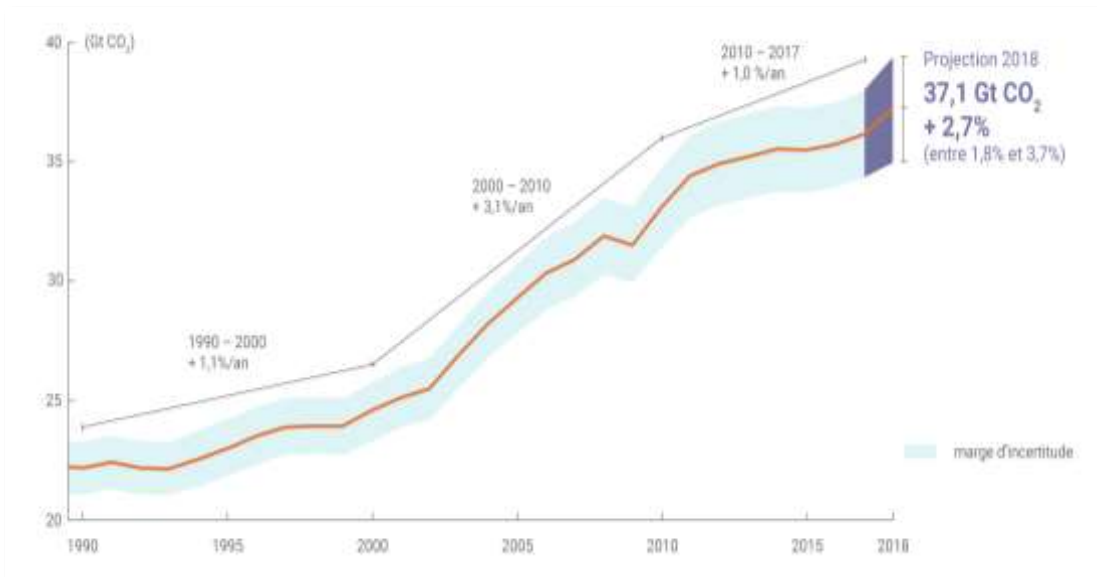


Figure I. 9 : Émissions mondiales de CO₂ énergétique.

Dans le scénario de référence, jusqu'en 2050, les émissions mondiales de CO₂ diminueront de 23 000 millions de tonnes en 2003 à 11 500 tonnes en 2050, et les émissions annuelles par habitant diminueront de 4 à 1,3 million de tonnes. [18]

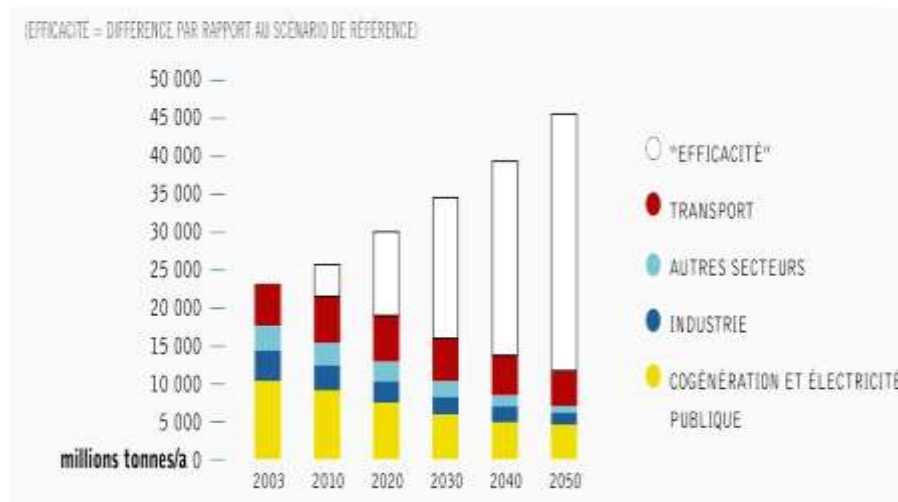


Figure I. 10 : Évolution des émissions de CO₂ dans le scénario évolution énergétique.

I.4.2 Scénario d'évolution énergétique

Le secteur de l'énergie, connu pour sa lenteur, connaît une transformation dynamique. Les impératifs du changement climatique, de la pauvreté énergétique et de la sécurité énergétique pour soutenir le développement et la stratégie industrielle ont rendu impérative l'utilisation généralisée des sources d'énergie renouvelables et des technologies connexes. [19]

L'AIE envisagé un système énergétique en 2050 basé sur les énergies renouvelables (éolienne, solaire, bioénergie, géothermie et hydroélectricité) La consommation mondiale d'énergie sera réduite d'environ 8 % en 2050 par rapport à aujourd'hui, tout en répondant aux besoins d'une économie deux fois plus importante et d'une population de plus de deux milliards d'habitants.

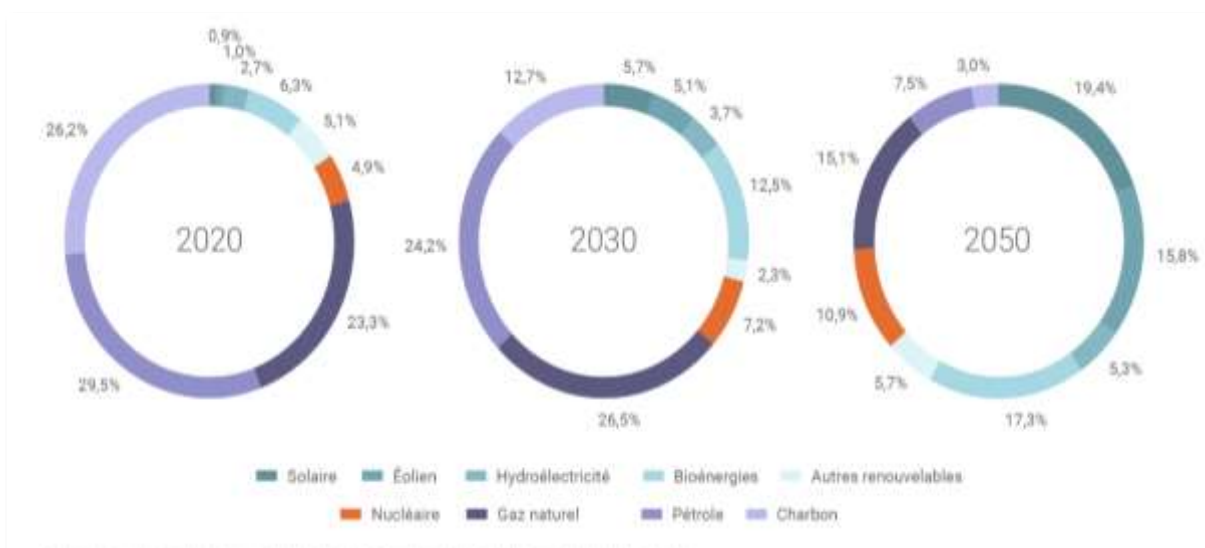
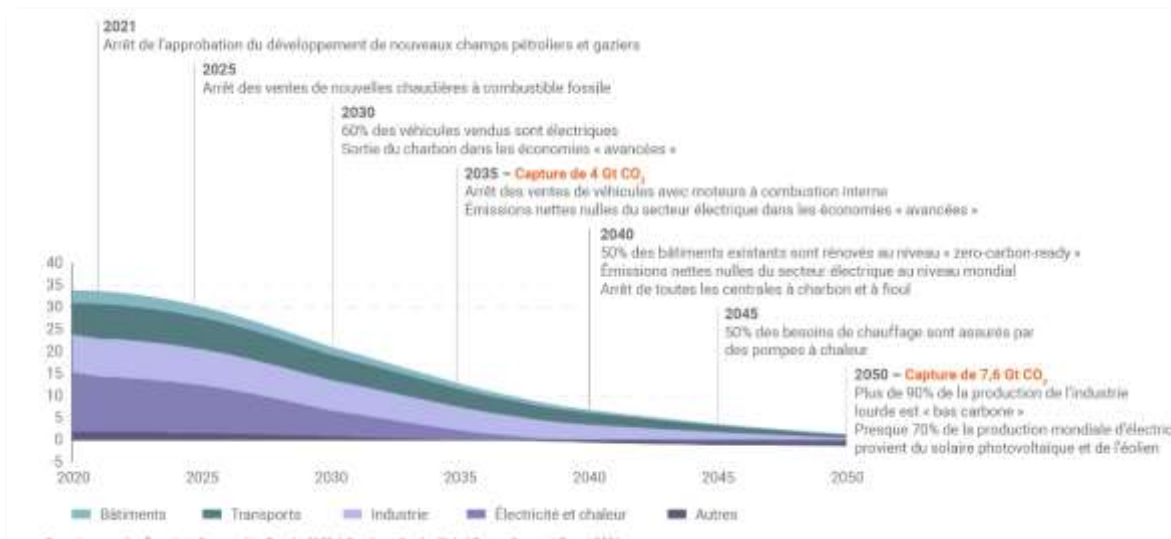


Figure I.11 : Scénario de consommation énergétique mondiale

Il est à noter que le scénario de l'AIE est basé sur les technologies actuellement disponibles d'ici 2030. En revanche, il s'appuie sur des technologies "au stade de la démonstration ou du prototype" pour contribuer à réduire de moitié les émissions de CO₂ d'ici 2050, tout en ramenant les émissions de CO₂ par habitant à moins de 1,3 tonne par an. Son deuxième objectif est de démontrer que cela est possible, même en abandonnant progressivement l'énergie nucléaire à l'échelle mondiale.

La production mondiale d'électricité devrait être multipliée par 2,5 d'ici à 2050 et jouera un rôle majeur dans des secteurs tels que les transports, les bâtiments et l'industrie. Pour atteindre cet objectif, les investissements annuels dans les réseaux électriques doivent plus que tripler d'ici à 2030. [20]

*Figure I.12 : Les étapes du scénario de l'AIE*

I.4.3 Importance des énergies renouvelables

L'énergie renouvelable est une énergie produite à partir de ressources naturelles qui se renouvellent plus vite qu'elles ne sont consommées. Par exemple, la lumière du soleil et le vent sont des sources de renouvellement constant. Les énergies renouvelables sont abondantes et présentes partout. En revanche, les combustibles fossiles (charbon, pétrole et gaz naturel) sont des ressources non renouvelables dont la formation prend des centaines de millions d'années.

Les émissions liées à la production d'énergie renouvelable sont beaucoup plus faibles que celles liées à la combustion de combustibles fossiles. C'est pourquoi il est essentiel de passer

des combustibles fossiles, qui représentent actuellement la plus grande part des émissions, aux énergies renouvelables pour lutter contre la crise climatique.

Les énergies renouvelables sont actuellement moins chères dans la plupart des pays et créent trois fois plus d'emplois que les combustibles fossiles.

L'hydroélectricité reste la source privilégiée de production d'électricité, représentant 71,6 % des énergies renouvelables. L'avantage de cette ressource, outre son caractère renouvelable, est qu'elle est relativement facile à installer. Les pays qui en bénéficient le plus sont ceux qui disposent de grands fleuves.

Vient ensuite l'énergie éolienne, qui représente 19,2 % des énergies renouvelables. Ce type de production d'énergie est facile à installer et peut être exploité sur terre et en mer. Enfin, le solaire photovoltaïque (7,6 %), la géothermie (1,5 %) et le solaire thermique (0,2 %) complètent la part des énergies renouvelables. (Source : Agence internationale de l'énergie : AIE). [21]

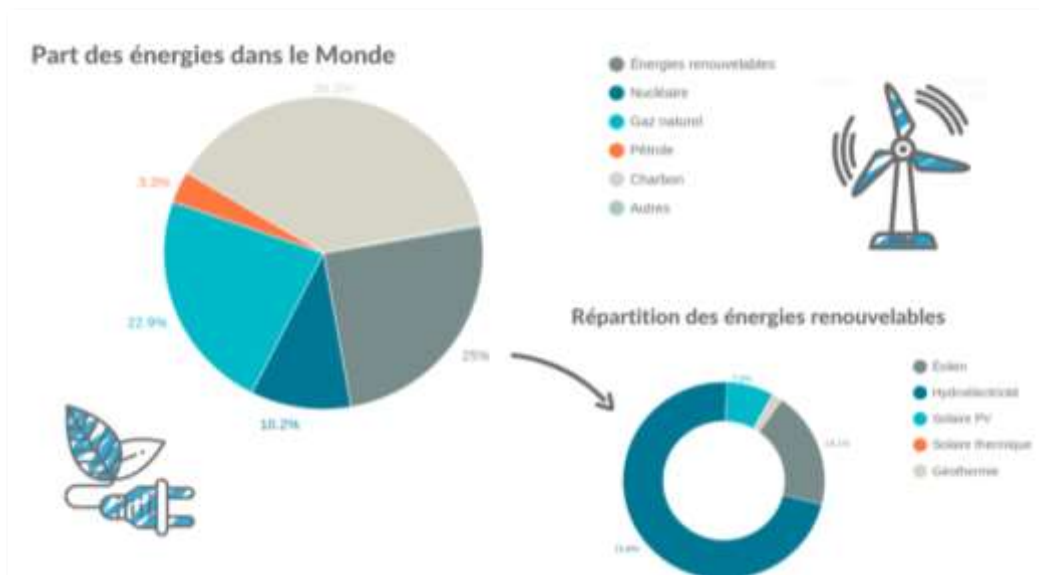


Figure I.13 : Pourcentage d'énergies au niveau mondial

Selon les données publiées par l'Agence Internationale des Énergies Renouvelables (**IRENA**) la fin de 2020, les nouvelles capacités en matière d'énergies renouvelables ont dépassé les estimations et battu tous les records, malgré le ralentissement économique provoqué par la pandémie de COVID-19 .

L'augmentation de la capacité installée (10,3 %) dépasse les estimations à long terme, qui prévoient une croissance progressive d'année en année. La capacité mondiale en matière

d'énergies renouvelables a atteint 2 799 GW, l'hydroélectricité restant en tête (1 211 GW), bien que l'énergie solaire et l'énergie éolienne rattrapent rapidement leur retard. [22]

I.5 Gisement solaire

I.5.1 Source de l'énergie solaire

Le soleil est la principale source d'énergie dans le monde, il fournit de la chaleur et de la lumière à la Terre et se trouve à environ 150 millions de kilomètres de nous. Le soleil est une particule cosmique autogravitante et une énorme boule de matière gazeuse, où la réaction de fusion nucléaire dans le noyau interne du soleil crée une force gravitationnelle qui convertit les atomes d'hydrogène en atomes d'hélium. [23]

Le soleil émet de grandes quantités d'énergie sous forme de rayonnement électromagnétique, comparable à celui d'un corps noir à une température de 5800 degrés centigrades. Ce rayonnement met environ 8 minutes pour atteindre la surface de la Terre, à une vitesse de 300 000 kilomètres par seconde, et la majeure partie de son énergie se situe dans la gamme des longueurs d'onde de 0,25 à 3 microns. [24]

Le soleil est vital pour l'homme car il est à l'origine de la vie sur Terre, en fournissant de grandes quantités d'énergie appelées radiations qui permettent à l'eau d'exister à l'état liquide et aux plantes de réaliser la photosynthèse. Le rayonnement solaire est également responsable des phénomènes climatiques et météorologiques. [25]

Des panneaux solaires photovoltaïques ou thermiques peuvent être utilisés pour exploiter l'énergie solaire, qui est l'une des principales sources d'énergie renouvelable. La figure I.6 présente les deux types de systèmes solaires. [26]

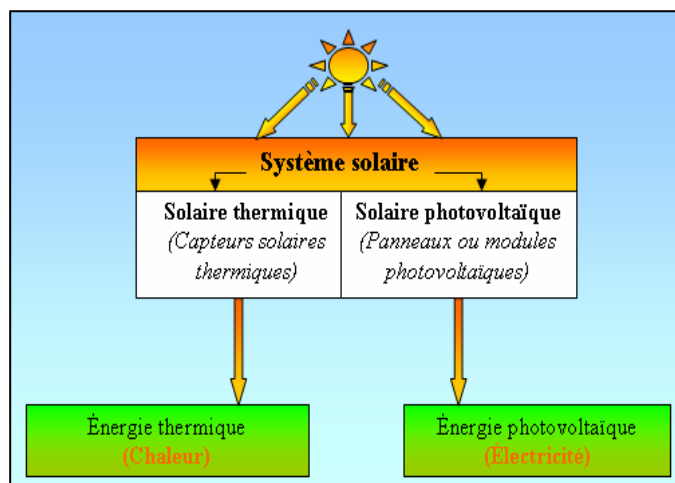


Figure I.14 : Types d'énergie solaire.

I.5.2 Spectre du rayonnement solaire

L'émissions d'ondes électromagnétiques par le Soleil est convenablement modélisée par un corps noir à 5 800 kelvins.

Le maximum d'émission est dans le vert ($\lambda=504$ nm), et la répartition du rayonnement est à peu près pour moitié dans la lumière visible, pour moitié dans l'infrarouge, avec 1 % d'ultraviolets.

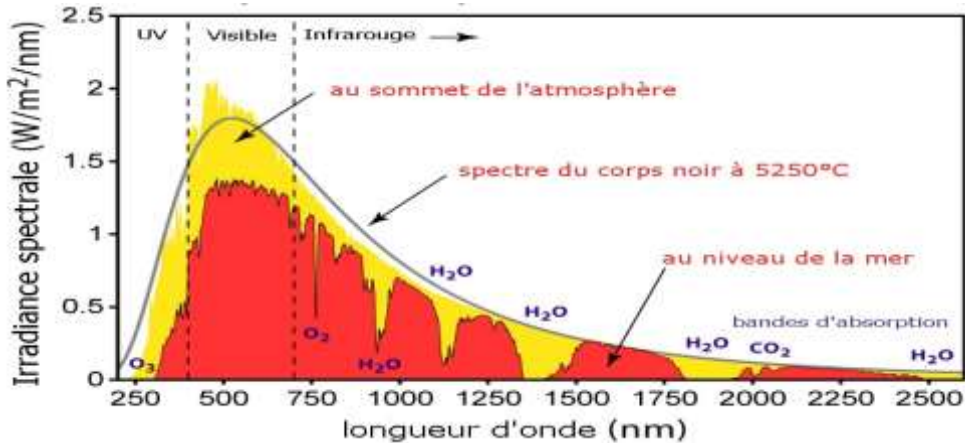


Figure I.15 : Spectre du rayonnement solaire [27]

Lorsqu'il atteint le niveau de la mer, une partie des rayons solaires sera absorbée après avoir traversé l'atmosphère terrestre. Les spectres correspondants montrent les bandes d'absorption de l'ozone (qui absorbe la plupart des rayons ultraviolets), de l'oxygène, du dioxyde de carbone et de l'eau. [28]

Rayonnement solaire reçu par la haute atmosphère sur un plan perpendiculaire au soleil et à une distance intermédiaire entre la Terre et le soleil. Lorsque ce rayonnement traverse l'atmosphère et atteint la surface de la Terre, il est fortement atténué en raison de l'absorption et de la diffusion par les différents composants de l'atmosphère.

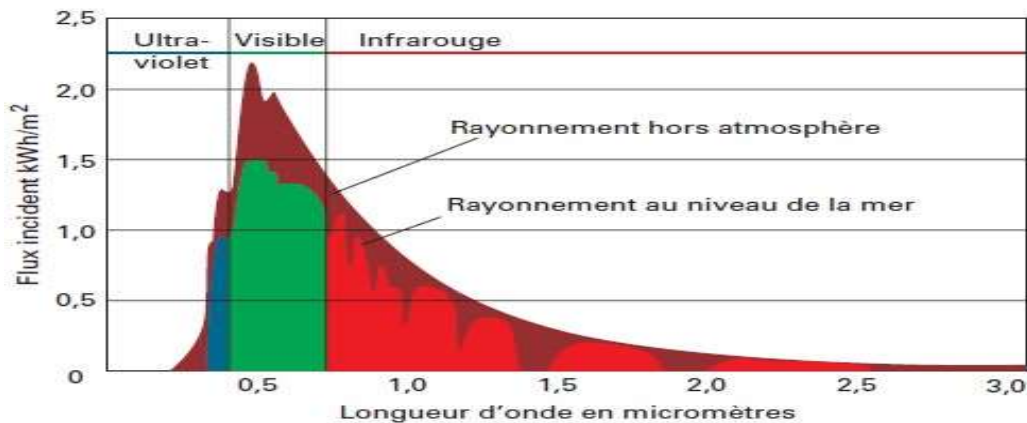


Figure I.16 : Distribution spectrale du rayonnement solaire

I.5.3 Aspects énergétiques

I.5.3.1 Rayonnement solaire à la traversée de l'atmosphère

La Terre est entourée d'un ensemble de gaz accumulés qui forment une couche appelée atmosphère. Cette couche se forme autour de la Terre sous l'effet de la gravité et contribue à protéger la Terre et à réchauffer sa surface. L'atmosphère est constituée de couches superposées.

L'air sec est composé de 78 % d'azote, 21 % d'oxygène, 0,9 % d'argon, 0,03 % de dioxyde de carbone (CO₂) et de gaz dont la concentration varie dans l'espace et dans le temps comme la vapeur d'eau (H₂O), le dioxyde de carbone (CO₂) et d'autres.

Chaque composant de l'atmosphère joue un rôle important et constitue une source majeure. L'air contient différents gaz qui se déplacent les uns autour des autres, diffusant la lumière du soleil dans toutes les directions et produisant de l'azote que les bactéries transforment en engrais pour les plantes et l'oxygène dont elles ont besoin pour respirer.

La part du rayonnement qui traverse sans encombre l'atmosphère rencontre directement la surface terrestre : c'est le rayonnement direct. La part du rayonnement solaire réfléchi ou absorbé par des particules solides ou de gaz et rayonné à nouveau rencontre la surface terrestre dans toutes les directions : c'est le rayonnement diffus. La somme des rayonnements direct et diffus (figure I.17) est appelée rayonnement global RG.[29]

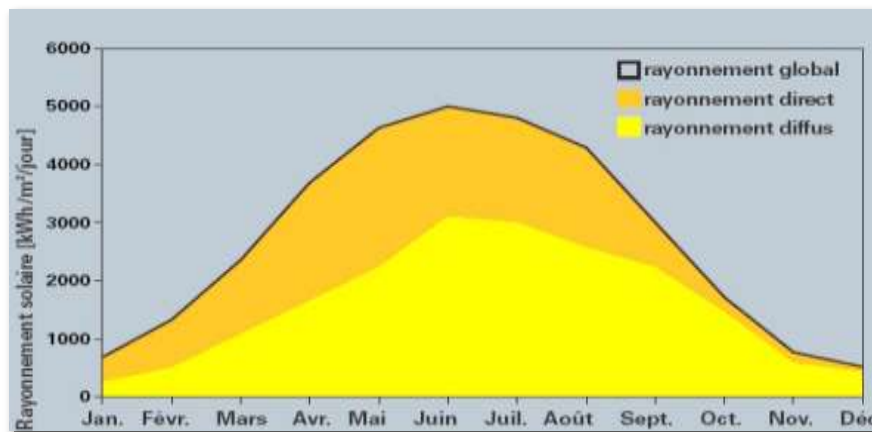


Figure I. 17 : Puissance ratonnée quotidiennement par le soleil sur une année.

Chaque région de l'atmosphère se comporte de manière très différente. À mesure que nous nous élevons au-dessus de la surface de la Terre, l'atmosphère s'amincit et disparaît dans l'espace.

En partant du sol, on distingue la troposphère, la stratosphère, la mésosphère et la thermosphère (figure I.18). [30]

Thermosphère : sa hauteur varie de 500km au moment de l'activité solaire à 1000km au moment où le soleil est calme, cette couche est caractérisée par une température élevée et de faibles gaz.

Mésosphère : elle s'étend des stratopauses des jusqu'à 80 km au-dessus de la surface de la Terre, cette couche a une température basse et brûle les flammes et les météorites avant d'atteindre la surface de la Terre.

Stratosphère : il s'étend de la tropopause à 10 km au-dessus de la surface de la terre. Il contient de l'ozone qui réchauffe l'air en absorbant les rayons ultraviolets, formant ainsi une couche qui contribue à protéger la Terre contre les rayonnements nocifs.

Troposphère : il s'étend à 10 km de la surface de la Terre, la couche la plus dense de l'atmosphère est adjacente à la surface de la terre.

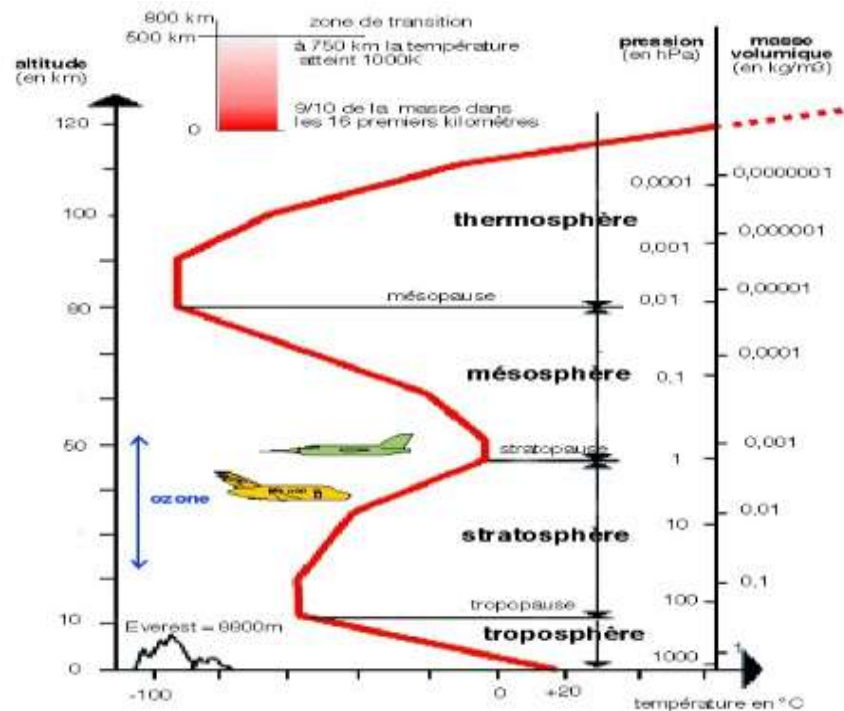


Figure I.18 : La structure verticale de l'atmosphère

I.6 Contexte national

I.6.1 Situation géographique

L'Algérie est située en Afrique du Nord et a une superficie de 2 381 741 kilomètres carrés. C'est le plus grand pays d'Afrique.

Elle est bordée à l'ouest par le Maroc, au sud-ouest par la République arabe sahraouie du Sahara occidental, au sud par la Mauritanie, le Mali et le Niger, à l'est par la Libye et la Tunisie, et au nord par la mer Méditerranée. Le pays a un littoral de 1644 km. Ce littoral est formé d'une multitude de tours et de détours et se ramifie en de nombreuses côtes et baies. Il est délimité par la chaîne de montagnes des collines de l'Atlas, dont la hauteur augmente à mesure que l'on se dirige vers l'est. Sur les pieds sud des collines de l'Atlas s'étend une vaste zone de plateaux avec de nombreux lacs salés. Ces plateaux sont bordés au sud par la haute chaîne de montagnes de l'Atlas saharien (plus de 2000 mètres). Au sud de l'Atlas se trouve le désert du Sahara, qui couvre la mer Méditerranée de l'Afrique du Nord [31].

L'Algérie possède l'un des plus grands gisements solaires au monde, en particulier dans la région du Moyen-Orient et de l'Afrique du Nord (figure I.20)

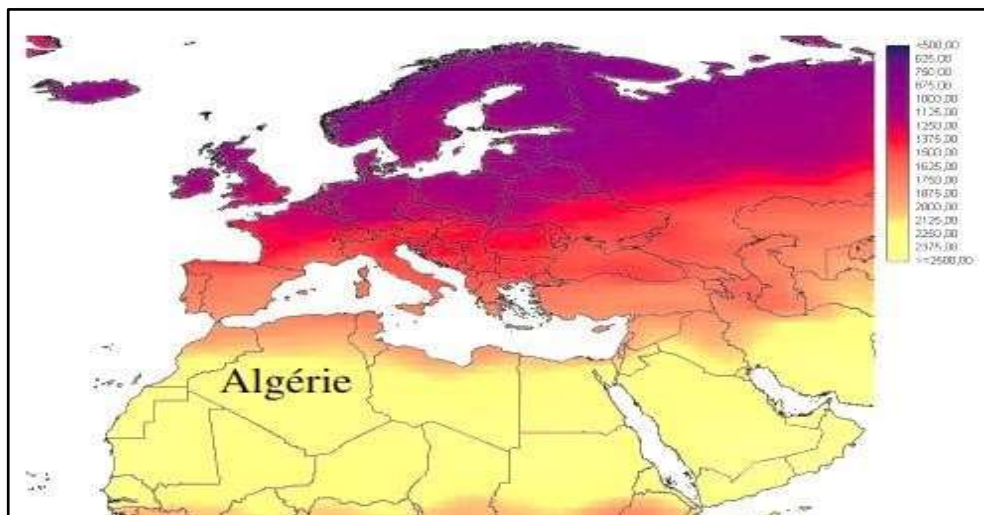


Figure I. 20 : La situation géographique de l'Algérie.

I.6.2 Potentiel des énergies renouvelables en Algérie

L'Algérie, comme tous les autres pays, a tracé sa feuille de route pour l'utilisation et la promotion des sources d'énergie renouvelables. Motivé par son engagement envers la communauté internationale dans la lutte contre le changement climatique et sa propriété de l'un des plus grands panneaux solaires du monde.

L'Algérie lance un ambitieux plan de développement des énergies renouvelables et d'amélioration de l'efficacité énergétique. La vision du gouvernement algérien repose sur une stratégie axée sur le développement des ressources inépuisables, comme l'énergie solaire, et leur utilisation pour diversifier les sources d'énergie et préparer l'Algérie à l'avenir. Grâce à une combinaison d'initiative et d'intelligence, l'Algérie entre dans une nouvelle ère d'énergie durable [32].

Le plan actualisé pour les énergies renouvelables vise à installer une capacité d'environ 22 000 MW d'énergies renouvelables pour le marché intérieur d'ici à 2030, les exportations restant un objectif stratégique si les conditions du marché le permettent. Comme l'indique-la (figure I. 21).

Le plan d'efficacité énergétique actualisé vise à réaliser des économies d'énergie d'environ 63 millions d'unités de consommation d'ici 2030 dans tous les secteurs (bâtiments, éclairage public, transports et industrie) grâce à l'introduction d'un éclairage efficace, de l'isolation, du chauffage solaire de l'eau et de l'énergie propre. Le plan d'efficacité énergétique prévoit l'utilisation de combustibles renouvelables (GNL, GPL) et d'équipements industriels efficaces.

Le plan d'efficacité énergétique permettra de réduire les émissions de CO₂ de 193 millions de tonnes [33]

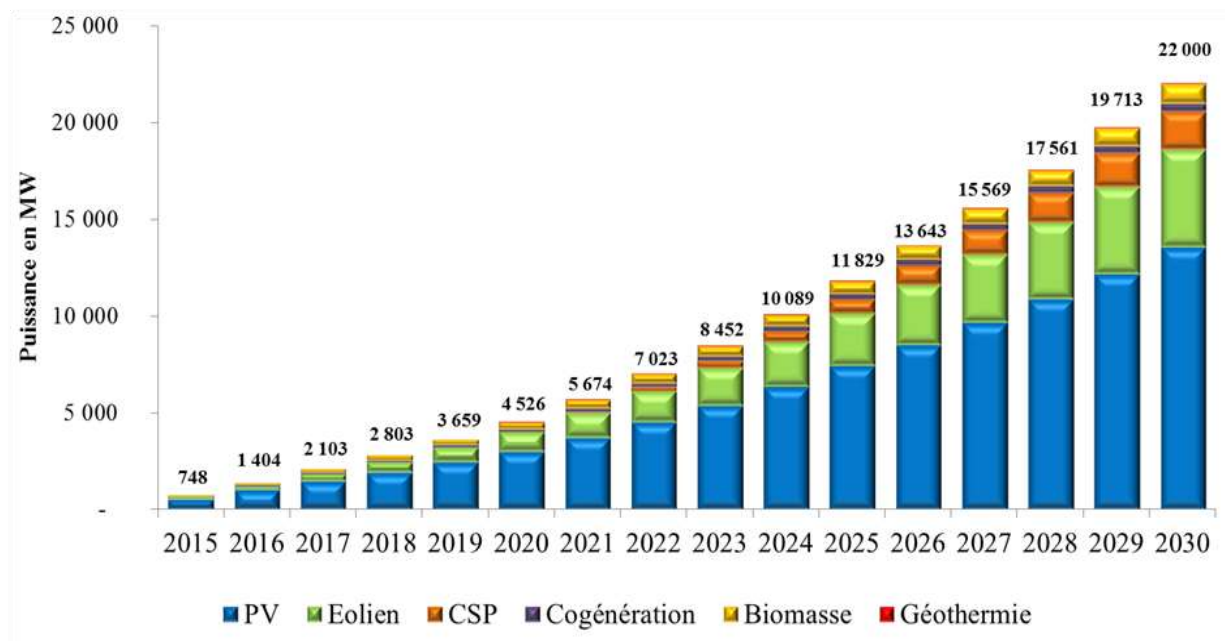


Figure I. 21 : Programme Algérien de énergies renouvelables

I.6.2.1 Potentiel de l'énergie solaire

En raison de sa situation géographique, l'Algérie dispose de l'une des réserves d'énergie solaire les plus importantes au monde. La plupart des régions du pays reçoivent plus de 2 000 heures d'ensoleillement par an, et les régions des plateaux et du désert peuvent recevoir jusqu'à 3 900 heures.

L'énergie annuelle reçue sur une surface horizontale de 1 mètre carré est d'environ 3 kWh/m² au nord et de plus de 5,6 kWh/m² à l'extrême sud. [34]

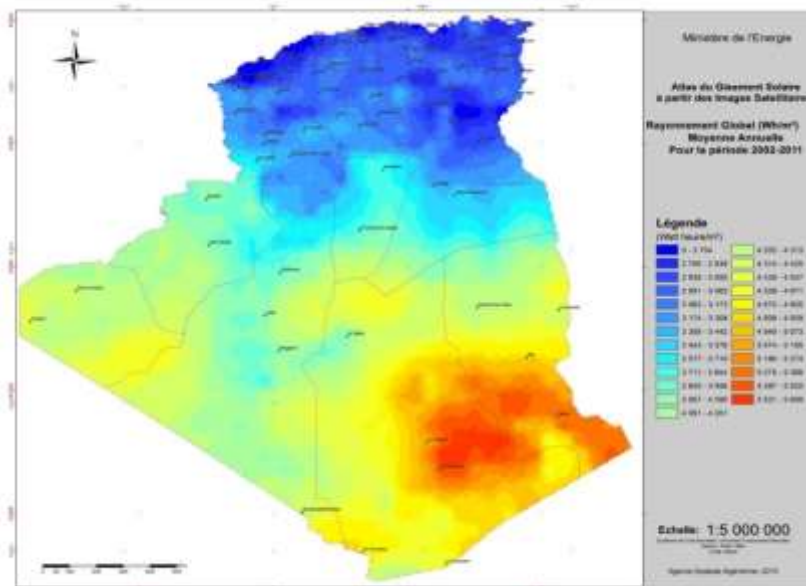


Figure I.22 : Carte de l'Irradiation Globale Directe Annuelle Moyenne (Période 2002-2011).

Ce gisement solaire dépasse les 5 milliards **GW/h** par an avec une durée d’insolation sur la quasi-totalité du territoire national dépassant les 2000 heures annuellement et peut atteindre les 3900 heures dans les hauts plateaux et au Sahara selon le tableau I.2. [35]

Tableau I.2 : Potentiel de l’énergie solaire en Algérie par région.

Regions	Région Côtière	Hauts plateaux	Sahara
Superficies (%)	4	10	86
Durée moyenne d'ensoleillement (heures/an)	2650	3000	3500
Energie moyenne reçue (KWh/m ² /an)	1700	1900	2650

L’énergie reçue quotidiennement sur une surface horizontale de 1 m² est de l’ordre de 5 KWh sur la majeure partie du territoire national, soit près de 1700kWh/m²/an au nord et 2263 KWh/m²/an au sud du pays (ministère de l’énergie, 2018) [36].

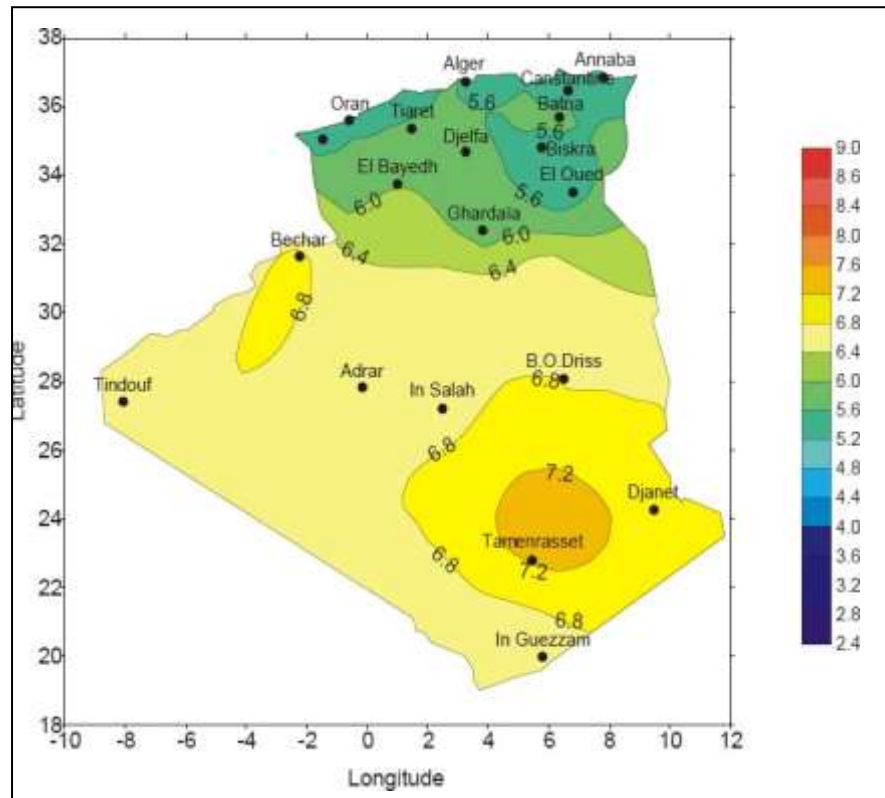


Figure I.23 : Irradiation solaire globale reçue sur plan incliné à la latitude du lieu moyenne.

I.6.2.2 Potentiel de l'énergie éolienne

Les ressources éoliennes varient considérablement en Algérie. Ceci est principalement dû à l'extrême diversité du relief et du climat. En effet, notre vaste pays est divisé en deux régions géographiques distinctes. Dans la partie nord de la Méditerranée, le littoral s'étend sur plus de 1 200 kilomètres et le relief montagneux est représenté par les montagnes de l'Atlas thalien et de l'Atlas saharien.

Il est caractérisé par des plaines et des plateaux et possède un climat continental. Le sud est caractérisé par un climat désertique.

Comme montre dans la figure ci-dessous, le sud est caractérisé par des vitesses plus élevées que le nord, notamment dans le sud-est où la vitesse dépasse 7 m/s et dépasse 8 m/s dans la région de Tamanrasset.

Au nord, les vitesses moyennes sont généralement plus faibles. Cependant, il existe des microclimats dans les localités côtières d'Oran, Bejaia, sur les hauts plateaux de Tébessa, Biskra, M'sila et el Bayadh (6 à 7 m/s), et dans l'extrême sud (>8 m/s). [33]

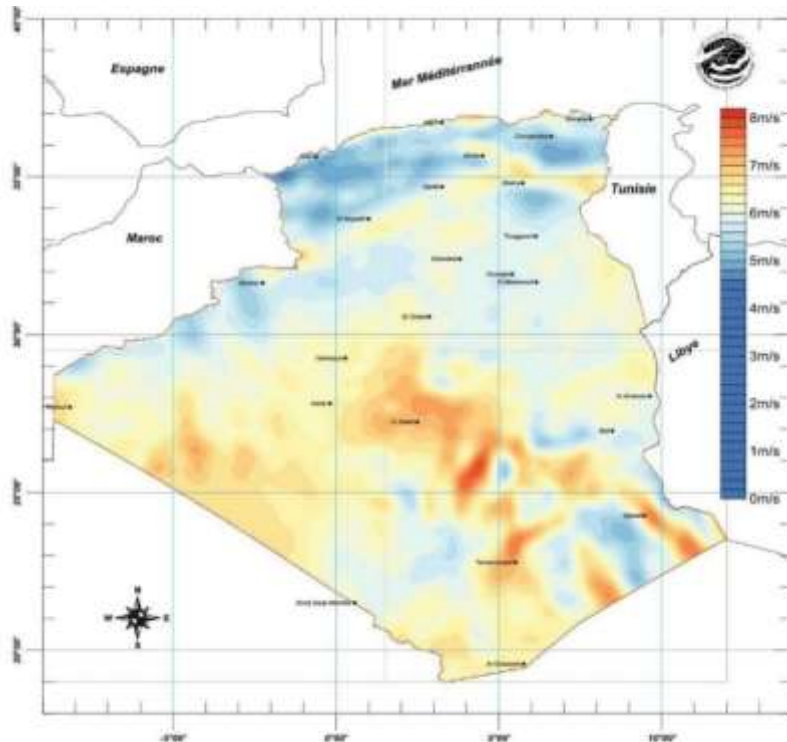


Figure I.24 : Carte du Vent Annuel Moyen à 50m (Période 2001-2010)

I.6.2.3 Potentiel de l'énergie géothermique

Le potentiel géothermique de l'Algérie est principalement situé au nord, comme le montre la figure I.25.

Grâce à la compilation des données géologiques, géochimiques et géophysiques, plus de deux cents (200) sources chaudes ont été identifiées dans la région nord du pays. Environ un tiers (33%) des sources ont une température de l'eau supérieure à 45°C. Biskra possède également des sources d'eau chaude qui atteignent une température de 118°C. [37]

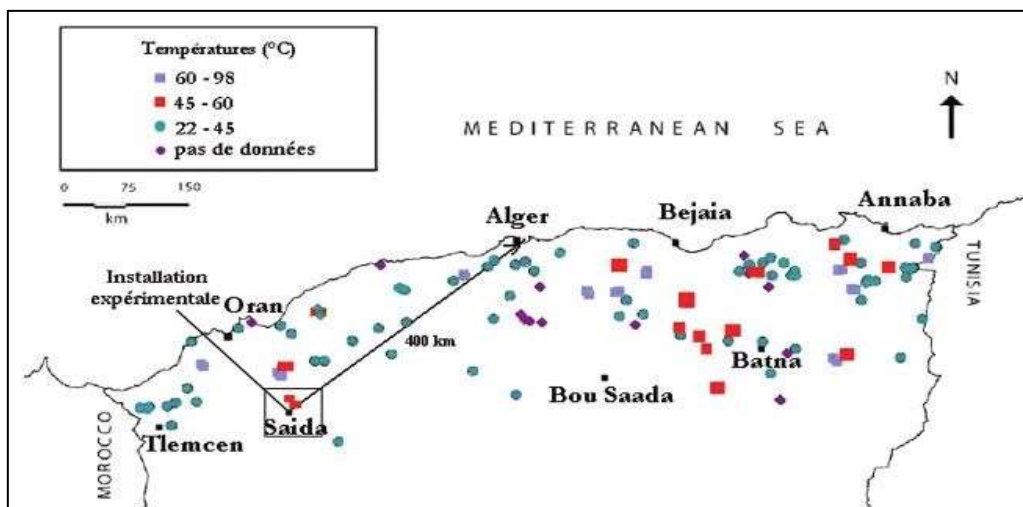


Figure I.25: Potentiel géothermique en Algérie.

Des études sur le gradient thermique ont permis d'identifier trois zones dont le gradient dépasse les 5°C/100m :

- Zone de Aïne Boucif et Sidi Aïssa
- Zone de Relizane et Mascara
- Zone de Guelma et Djebel El Onk

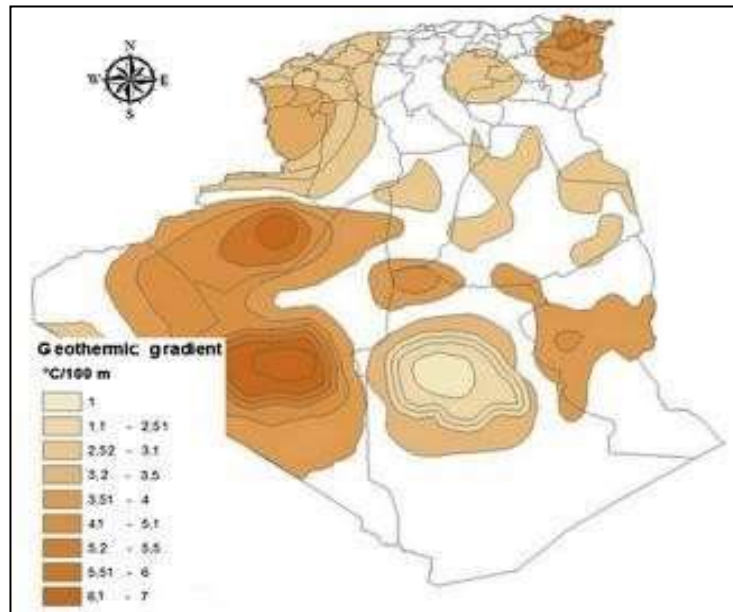


Figure I.26 : Gradient géothermique.

I .6.2.4 Potentiel d'énergie de la biomasse

La biomasse offre un potentiel très prometteur, avec 1,33 million de tonnes d'énergie thermique par an provenant des déchets agricoles et urbains (365 kg/an par Algérien en tant que déchets urbains) et 3,7 millions de tonnes d'énergie thermique provenant des forêts ; cependant, ce potentiel doit encore être développé et exploité. [38]

I .6.2.5 Potentiel hydraulique

La quantité d'eau qui tombe sur le sol algérien au niveau mondial est énorme, estimée à 65 milliards de mètres cubes, mais les bénéfices pour le pays sont minimales : Moins de jours de pluie, concentrée dans des zones limitées, un taux d'évaporation élevé et une évaporation rapide vers la mer.

Selon les calculs mathématiques, les ressources de surface diminuent du nord au sud. Les ressources utiles et renouvelables actuelles sont estimées à 25 milliards de mètres cubes, les

ressources de surface représentant environ les deux tiers du total. 103 sites de barrages ont été examinés. Plus de 50 barrages sont actuellement en service. [33]

I.7 Conclusion

La production du combustible primaire, le pétrole, devrait atteindre son maximum entre 2020 et 2050, ce qui pose un problème pour répondre à la demande mondiale d'énergie en raison de sa nature non renouvelable. On ne saurait trop insister sur l'importance des énergies renouvelables pour résoudre ce problème.

En outre, contribuer aux énergies renouvelables nous permet de maintenir un environnement propre et sûr, tout en assurant la protection de la biodiversité. Le gouvernement algérien a souligné son engagement en faveur du développement des énergies renouvelables en lançant une initiative visant à développer les énergies renouvelables et l'efficacité énergétique

Il est donc essentiel de miser sur ce type d'énergie à long terme, tout en développant les technologies nécessaires à son utilisation rentable.

Ce premier chapitre résume le cadre réglementaire actuel et les obstacles qui doivent être surmontés pour libérer le grand potentiel des énergies renouvelables, en particulier de l'énergie solaire, et leur permettre à terme de contribuer de manière significative à la production mondiale d'énergie. Ce faisant, elle pourra également contribuer à une croissance économique respectueuse de l'environnement, au développement technologique et à la compétitivité sur le marché mondial, ainsi qu'au leadership dans l'industrie et la recherche.

Chapitre II

Machines frigorifiques

Chapitre II

Machines frigorifiques

II.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous aborderons une étude théorique sur les machines frigorifiques à absorption, l'historique de leur développement, et les études antérieures réalisées sur celles-ci, passant des voies les plus simples et naturelles à la conception et la réalisation de machines frigorifiques très performantes.

La réfrigération à absorption est impliquée dans le domaine de climatisation et dans des nombreuses applications industrielles dans le monde.

L'équipement frigorifique fait aujourd'hui partie de la vie quotidienne. Par ses nombreuses applications allant de la conservation des produits alimentaires (réfrigération domestique), pharmaceutiques et autres aux conditionnements d'air le froid est devenu une nécessité quotidienne.

II.2. Généralités sur les modes de production de froid et applications

Le froid est la sensation opposée à la chaleur et est associé aux basses températures.

Au zéro absolu ($T = 0$ Kelvin ou $t = 273,15$ degrés Celsius), toute matière est solide et, à cette température, il y a de la chaleur à refroidir, de sorte que l'énergie thermique doit être transférée.

Les méthodes de réfrigération et de climatisation ont évolué au fil du temps. Depuis l'Antiquité, les gens avaient besoin de refroidir certains types d'aliments, et il existait plusieurs façons de le faire, notamment en enterrant les choses dans le sol, car le sous-sol constitue un bon endroit pour le refroidissement, ou en les refroidissant avec de l'eau ou par évaporation : Suspendre des nattes humides dans les embrasures de porte pour refroidir l'air au passage ou utiliser le froid en produisant naturellement de la neige, qui était généralement apportée de régions froides ou de régions sujettes à de fortes gelées en hiver et stockée dans des glaciers aux parois isolantes. La découverte que le mélange de certains sels avec de l'eau abaisse considérablement la température a ouvert la voie à la production de glace [39].

Une meilleure compréhension de la thermodynamique de la production de chaleur et de froid, combinée à ces idées simples et naturelles, a conduit au développement des premières

machines frigorifiques afin de préserver la qualité originelle des produits en raison des conditions climatiques et thermiques propices à la reproduction des bactéries, des levures et des moisissures. [40].

Les machines frigorifiques utilisent des fluides frigorigènes, substances ou mélanges de substances, qui ont la particularité d'avoir une température d'évaporation très basse à la pression atmosphérique, ce qui leur permet de produire à la fois du froid et de la chaleur. Pour produire du froid en continu, il faut créer un cycle, c'est-à-dire une combinaison de phénomènes exothermiques et endothermiques. Les machines frigorifiques doivent donc être au moins endothermiques.

II.3. Différents types de machines frigorifiques

La machine frigorifique est une machine thermodynamique conçue pour refroidir une pièce ou un système à l'aide d'une source de chaleur externe dont la température est supérieure à la température de la pièce ou du système à refroidir et se compose de quatre éléments de base : Le compresseur, le condenseur, le détendeur et l'évaporateur.

Il s'agit donc d'un système de réfrigération qui transfère des calories d'un environnement à haute température vers un environnement où la température devrait être plus basse [41].

Un refroidisseur est un dispositif thermodynamique conçu pour refroidir une pièce ou un système en transférant la chaleur d'un environnement à température élevée vers un environnement à température plus basse. Pour ce faire, il utilise une source de chaleur externe dont la température est supérieure à celle de la pièce ou du système à refroidir [42].

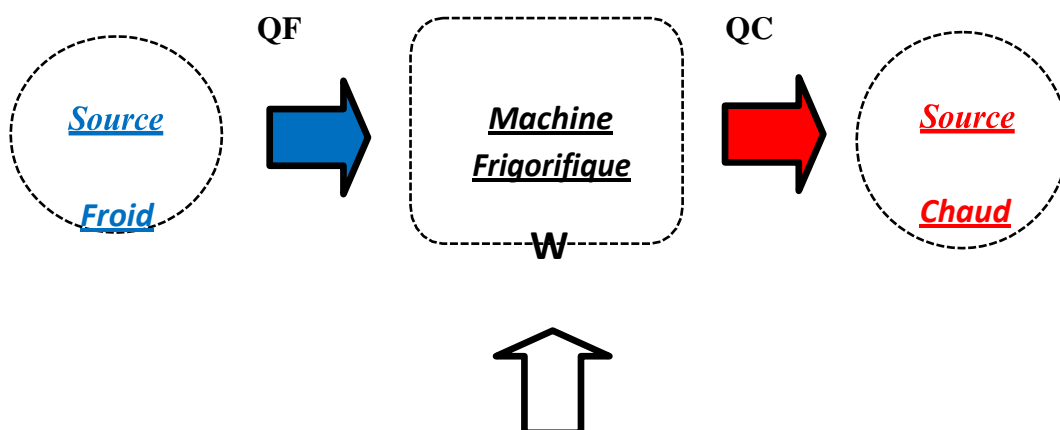


Figure II.1 : Diagramme énergétique d'une machine frigorifique

II.3.1 Machine frigorifique à compression mécanique

Une machine frigorifique à compression mécanique est un système de réfrigération couramment utilisé dans une variété d'applications, fournissant un environnement frais dans lequel nous pouvons conserver des aliments et des boissons ou autre, et la réfrigération est simplement le processus de transfert de chaleur d'un endroit à un autre. La réfrigération par compression est la méthode de refroidissement la plus couramment utilisée. Elle est utilisée dans les réfrigérateurs et souvent dans les grandes chambres froides telles que les refroidisseurs industriels [43].

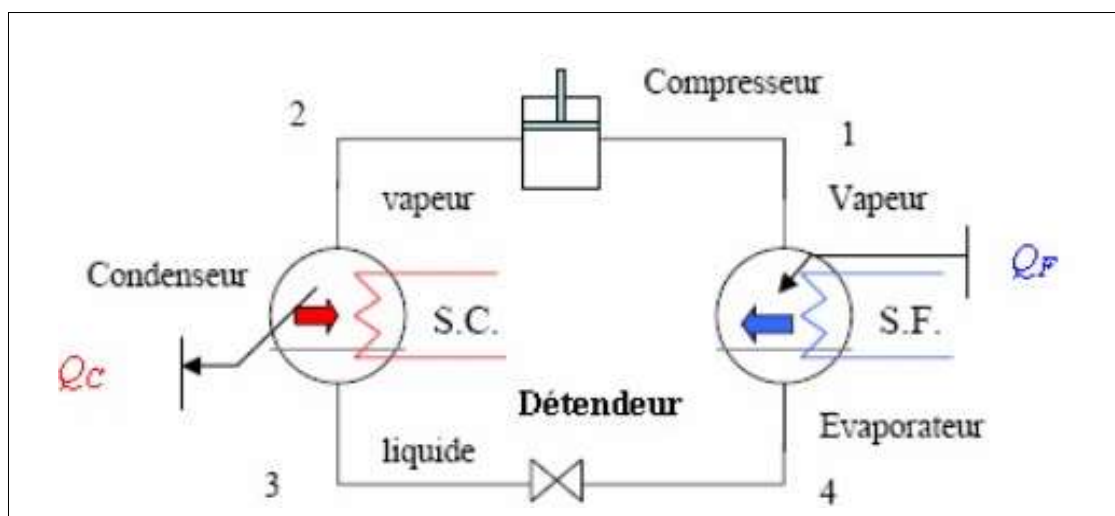


Figure II.2: Schéma d'une installation frigorifique à compression mécanique.

Tableau (II.1) : L'application du premier principe pour les différentes composantes

Composante	Hypothèses sur la transformation	Premier principe	Conséquences
Compresseur	Isentropique	$W^\circ = m^\circ(h_s - h_e)$ $m_s^\circ = m_e^\circ$	$Q^\circ = 0$ $s^e = s^s$
Condenseur	Isobare	$Q^\circ = m^\circ(h_s - h_e)$ $m_s^\circ = m_e^\circ$	$W^\circ = 0$
Détendeur	Adiabatique	$h_s = h_e$ $m_s^\circ = m_e^\circ$	$Q^\circ = 0$ $W^\circ = 0$
Évaporateur	Isobare	$Q^\circ = m^\circ(h_s - h_e)$ $m_s^\circ = m_e^\circ$	$W^\circ = 0$

II.3.1.1 Principe de fonctionnement

Le système de réfrigération à compression de vapeur le plus courant utilise du réfrigérant dans un circuit fermé composé d'un compresseur, d'un condenseur, d'un détendeur, d'un évaporateur et de tuyaux de raccordement (figure II-2).

La vapeur de réfrigérant comprimée se condense à une température et une pression élevée dans le condenseur (QC).

La pression du réfrigérant dans le détendeur diminue. À basse pression et basse température, le réfrigérant s'évapore et absorbe la chaleur (QF) du matériau à refroidir.

À la sortie de l'évaporateur, la vapeur de réfrigérant est ensuite comprimée par le compresseur et portée à une pression élevée [44].

II.3.1.2 Représentation du cycle frigorifique à compression mécanique

Le cycle frigorifique est composé des transformations suivantes :

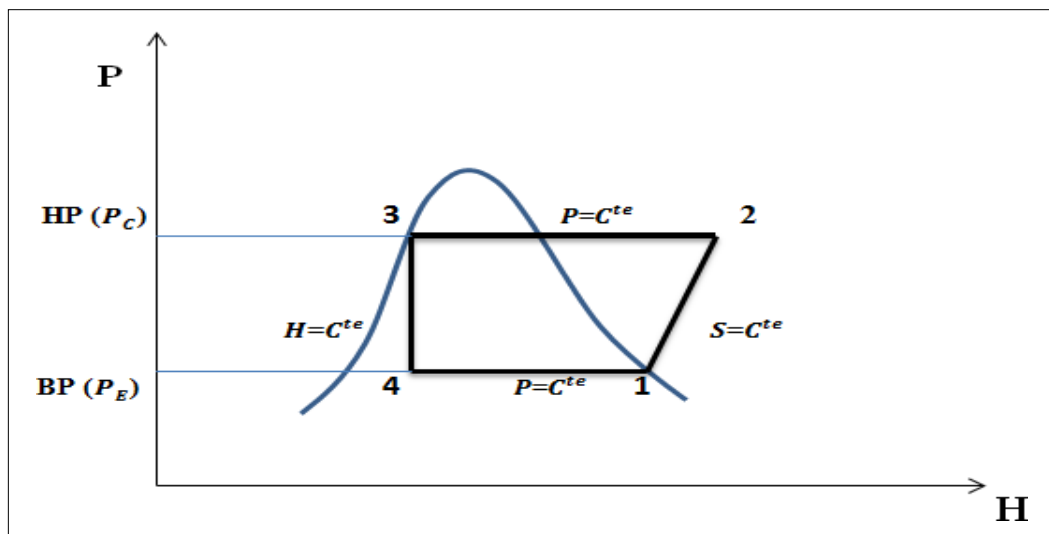


Figure II.3: Installation frigorifique à compression mécanique

- 1 ➔ 2 Compression : (transformation isentropique). Dans cette phase, le compresseur comprime le réfrigérant, ce qui augmente sa température et sa pression
- 2 ➔ 3 Condensation : (transformation isobare). Le gaz réfrigérant chaud se transforme progressivement en liquide en perdant sa chaleur.
- 3 ➔ 4 Détente : (transformation isenthalpique). Dans cette phase, la pression et la température du liquide diminuent.
- 4 ➔ 1 L'évaporation : (transformation isobare). Dans cette phase, le liquide reprend sa

température et se transforme progressivement en vapeur.

II.3.1.3 Avantages et inconvénients d'une installation frigorifique à compression mécanique

- **Avantages :**
 - Simplicité du cycle et de machine
 - Très bon coefficient de performance.
 - Variation de puissance facile à mettre en œuvre.
- **Inconvénients :**
 - Problèmes posés par certain frigorigène, polluants.
 - Utilisation d'une machine tournante entraînant des bruits et maintenance fréquente.[45]
 - L'énergie consommée par ce système est coûteuse.

II.3.2 Systèmes de réfrigération solaire à absorption

La technologie utilisée pour produire du froid sur le principe de l'absorption a été découverte au 18ème siècle et la première machine à absorption a été construite par un Français en 1850 [46]. Au niveau industriel, l'absorption a connu un développement majeur après la Seconde Guerre mondiale.

Le refroidissement par absorption est une méthode de refroidissement qui utilise une source de chaleur telle que l'énergie solaire pour alimenter le système de refroidissement. C'est le type de refroidissement le plus répandu après le refroidissement par compression, en particulier lorsque l'utilisation de l'électricité n'est pas possible, coûteuse ou nécessaire. L'expérience a montré que les systèmes à cycle fermé les plus appropriés pour le refroidissement solaire sont basés sur des cycles d'absorption. Les systèmes d'absorption peuvent fonctionner sur une large gamme de températures de la source de chaleur, fonctionner silencieusement sans aucune pièce mobile et utiliser des fluides de travail respectueux de l'environnement. En outre, ils peuvent combiner la chaleur solaire disponible avec la chaleur auxiliaire pour répondre à la demande de refroidissement.

Les binômes les plus couramment utilisés dans les machines à absorption sont : (NH₃/H₂O) et (H₂O/LiBr). [47].

La première machine frigorifique a été conçue en 1877 par Narin, qui utilisait un mélange d'eau et d'acide sulfurique, mais l'utilisation de ce mélange a été abandonnée en 1920 pour des raisons de corrosion [48].

II.3.2.2 Principe de fonctionnement

Le principe général de fonctionnement d'une machine à absorption est le même que celui d'une machine à compression de vapeur, dans laquelle ne circule que du fluide frigorigène pur.

Les systèmes à absorption peuvent être classés en cycles d'absorption à impact unique, à impact semi unique et à impact multiple. Les systèmes à impact multiple nécessitent des températures d'eau chaude relativement plus élevées que les premiers [49].

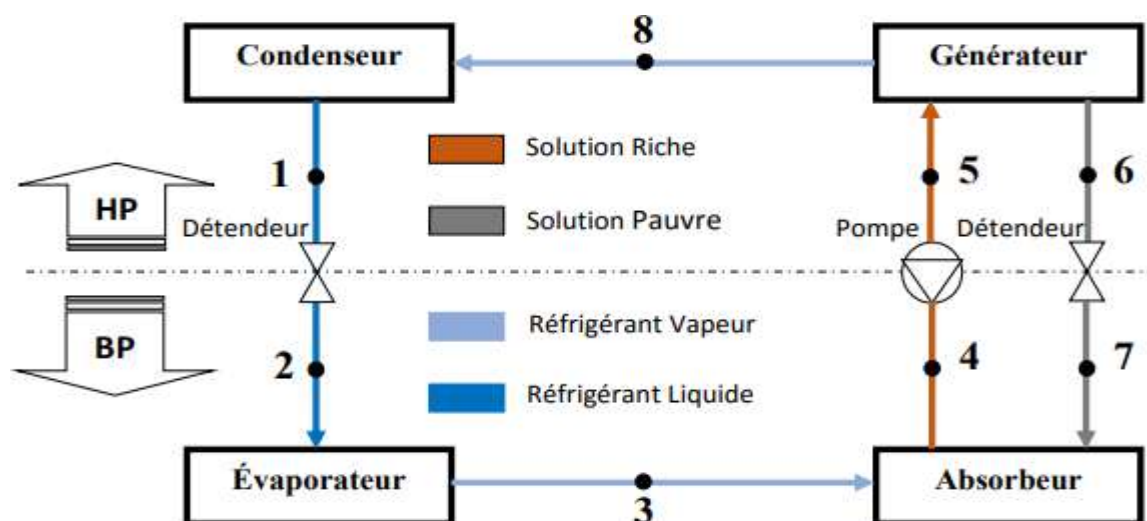


Figure II.4 : Structure d'une machine à absorption

L'énergie nécessaire pour augmenter la pression et la température du réfrigérant est fournie par l'énergie mécanique produite par le compresseur.

Dans un système à compression, le réfrigérant est produit dans l'évaporateur, tandis que dans le cas d'une machine à absorption, la vapeur est comprimée par le couplage de deux composants : L'absorbeur et le générateur[49].

II.3.2.3 Amélioration d'une machine à absorption

II.3.2.3.1 Systèmes de réfrigération à absorption à simple effet

Le système le plus couramment utilisé est le système à simple effet en raison de sa

simplicité et de sa commodité.

Un échangeur de chaleur est généralement utilisé entre le générateur et l'absorbeur, qui chauffe la solution riche en utilisant la chaleur dégagée par la solution dégraissée [50].

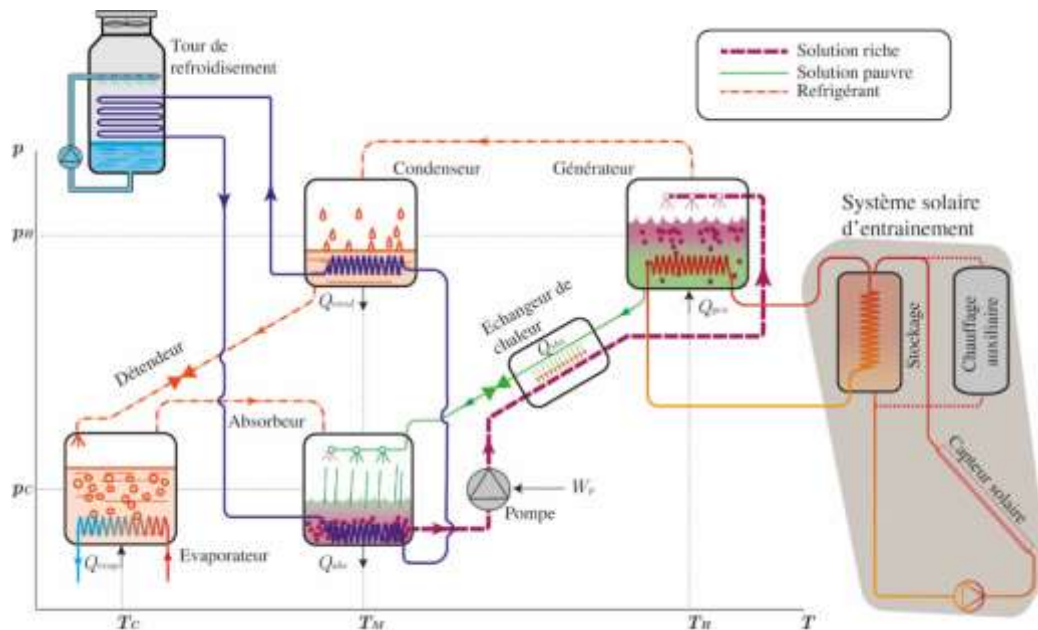


Figure II.5: Schéma d'une installation frigorifique à absorption à simple effet.

II.3.2.3.2 Système de réfrigération à absorption à demi effet

Le cycle à demi-effet tire son nom du cycle à demi-effet, qui est environ la moitié de celui du cycle à simple effet.

Une étude comparative des coûts de fabrication et des performances de différents systèmes d'absorption a montré que le cycle à demi-effet LiBr-H₂O sera la meilleure alternative pour la climatisation solaire par absorption grâce à la faible température de fonctionnement du cycle d'absorption à demi-effet et aux bonnes caractéristiques thermodynamiques du couple de travail [51].

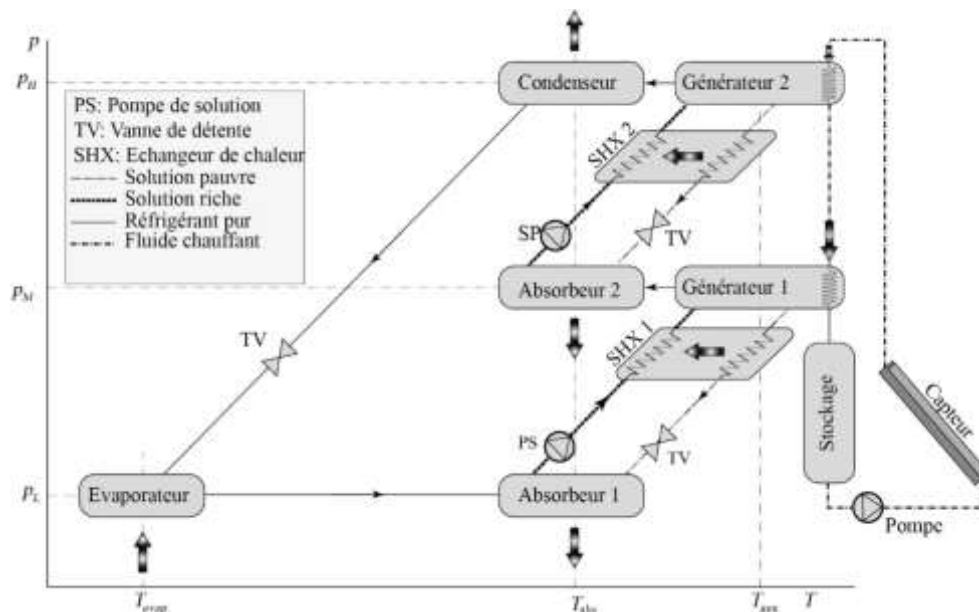


Figure II.6 : Système de réfrigération solaire à absorption à demi-effet.

II.3.2.3.3 Système de réfrigération à absorption à double effet

Comme pour les absorbeurs à simple effet, un système d'absorption à double effet peut être obtenu en installant un cycle supplémentaire sur un cycle à simple effet.

. Le cycle à double effet a une capacité de production d'énergie thermique deux fois supérieure à celle des systèmes à simple effet [52].

Les deux générateurs fonctionnent à des températures différentes, de sorte que la chaleur du condenseur haute pression est utilisée pour chauffer le générateur basse pression [53].

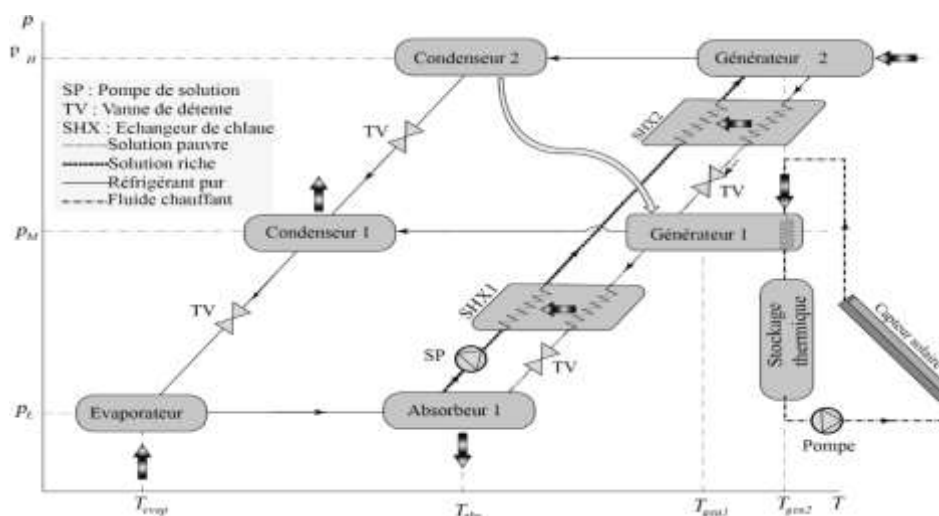


Figure II.7: Système de réfrigération solaire à absorption à double effet [52].

II.3.2.3.4 Système de réfrigération à absorption triple effet

Un système de réfrigération à absorption à triple effet est une technologie avancée qui utilise la chaleur pour fournir un refroidissement. Le système résultant avec trois générateurs et trois condenseurs fonctionne de façon similaire au système de double effet.

Il améliore l'efficacité énergétique en utilisant trois générateurs qui fonctionnent à des niveaux de pression différents, permettant plus de cycles de réfrigération pour chaque unité d'énergie thermique appliquée.

Théoriquement, ce cycle triple effet peut obtenir un COP d'environ 1.7 [54].

Le Tableau.I.2 suivant représente quelques exemples utilisant le capteur solaire plans dans le cycle de système de réfrigération à absorption avec les performances du chaque système.

Tableau II.2 : Performance des cycles d'absorption [55].

System absorption	Température de source de chaleur	COP	Type de capteur
Simple effet	85	0.7	Capteur Plan
Double effet	130	1.2	Capteur Plan/ Concentrateur
Triple effet	220	1.7	Tube sous vide/ Concentrateur

II.3.2.5 Couples utilisés pour les systèmes à absorption :

Le couple le plus ancien est le couple ($NH_3 - H_2O$) et le plus courant est ($H_2O-LiBr$). Ces couples sont les mieux connus et les plus étudiés [55].

Tableau II.3 : Couples utilisés pour les systèmes à absorption.

Fluide Frigorigène	Agent Absorbent
Ammoniac (NH_3)	Eau (H_2O)
Méthylamine	Eau (H_2O)
R22	Diméthyléther du tétraéthylène glycol
Méthanol	LiBr

II.3.3 Machine à adsorption

L'adsorption est un phénomène de surface, où un gaz peut recouvrir les interfaces et l'intérieur d'un solide poreux.

Les systèmes d'adsorption fonctionnent par intermittence, le compresseur d'une machine à compression est remplacé par un adsorbeur ou un réacteur (compresseur thermique) où des réactions d'adsorption se produisent entre le réfrigérant et l'adsorbant [56].

II.3.3.1 Description d'une machine frigorifique à adsorption

Le schéma d'une machine de réfrigération par adsorption est présenté à la figure II-8. Dans le cas le plus simple, la machine se compose des éléments suivants :

- Condenseur, évaporateur, adsorbeur, également appelé générateur ou réacteur et récepteur, utilisé pour stocker le liquide de refroidissement provenant du condenseur.
- - Clapets anti-retour V1 et V2.
- Une vanne de détente V3[56].

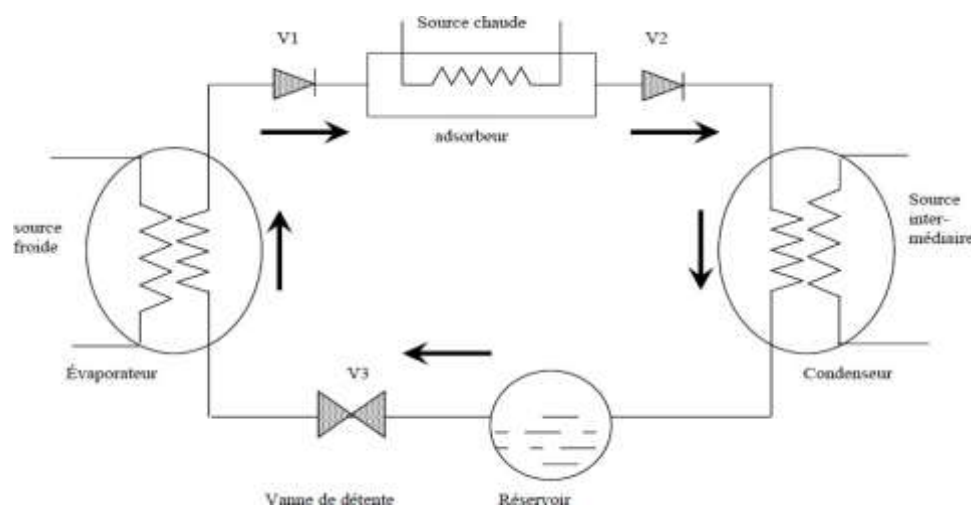


Figure II.8: Schéma d'une machine frigorifique à adsorption.

II.3.3.2 Principe de fonctionnement

Au début du cycle, les vannes V1, V2 et V3 sont fermées, l'adsorbeur est à la température minimale et l'adsorbant est chargé de la masse maximale d'adsorbant.

La pression du gaz adsorbant augmente au fur et à mesure que sa température augmente en chauffant l'adsorbeur, tandis que la masse de l'adsorbant reste constante.

La vanne V2 s'ouvre lorsque la pression atteint la pression du condenseur (haute pression) et la vapeur adsorbée s'écoule vers le condenseur où elle se liquéfie à la température de condensation et le condensat est stocké dans le réservoir.

Le chauffage se poursuit jusqu'à ce que la température de l'adsorbant et de la source de chaleur atteigne l'équilibre, où la température atteint sa valeur maximale. À ce moment-là, l'adsorbant commence à refroidir. Sa pression diminue et la vanne V2 se ferme.

La vanne V3 s'ouvre, le condensat stocké dans le réservoir se dilate et pénètre dans l'évaporateur, et sa pression passe de la pression du condenseur à la pression de l'évaporateur (basse pression).

Lorsque la pression dans l'adsorbeur atteint la pression de l'évaporateur (petit vide), la vanne V1 s'ouvre et l'adsorbeur absorbe la vapeur générée dans l'évaporateur. Un effet de refroidissement bénéfique se produit pendant le processus de vaporisation. L'unité d'adsorption continue à se refroidir jusqu'à ce que la température minimale soit atteinte.

Les vannes V1 et V3 se ferment et un nouveau cycle commence [57]

II.4 Fluides de travail

Un fluide frigorigène est une substance, ou un mélange de substances, qui évolue dans le circuit d'une machine frigorifique et qui, grâce au phénomène endothermique, consistant en un changement d'état faisant passer la substance de l'état liquide à l'état vapeur dans l'évaporateur, permet de produire du froid retrait de chaleur [58].

II.4.1 Historique

L'eau a été le premier réfrigérant utilisé depuis l'Antiquité et a été utilisée pour la première fois par W. Cullen en 1755. Elle a été utilisée pour la première fois par W. Cullen en 1755, en 1876 et est toujours utilisée dans d'autres types de machines frigorifiques.

Puis on essaya le diéthyléther ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{-O-CH}_3\text{CH}_2$), remarqué par Cullen, proposé par O. Evans en 1805.

De 1830 à 1950, c'est la première génération de réfrigérants, les plus utilisés étant l'ammoniac (NH_3) à partir de 1859, le dioxyde de carbone (CO_2) de 1866 à nos jours, et le dioxyde de soufre (SO_2) de 1875 aux années 1950, qui sont toxiques et inflammables.

À partir de 1990, les scientifiques ont commencé à tirer la sonnette d'alarme sur les effets nocifs des alternatives qui appauvrissent la couche d'ozone et certains composés ont été

interdits - comme les chlorofluorocarbones (CFC), qui sont totalement interdits depuis décembre 2000, et les hydrochlorofluorocarbones (HCFC), qui ont été totalement interdits en janvier 2015 en raison de leur impact dévastateur sur la couche d'ozone [58].

II.4.2 Propriétés nécessaires du fluide frigorigène

Les fluides frigorigènes sont des matériaux ou des mélanges de matériaux utilisés dans les circuits des systèmes de réfrigération tels que : Chambres froides, réfrigérateurs, vitrines réfrigérées... Ces liquides ont la particularité d'avoir une température d'évaporation très basse à la pression atmosphérique, ce qui permet de produire à la fois du froid et de la chaleur.

Le système de réfrigération à cycle de compression de vapeur se compose d'un évaporateur, d'un détendeur, d'un compresseur et d'un condenseur. Le rôle de ces composants est de faciliter les changements d'état et de fonctionnement du fluide frigorigène [59].

L'eau peut être utilisée comme réfrigérant, mais ses propriétés physiques ne sont pas toujours satisfaisantes, notamment son point de fusion (273,16 K à 1 ATM).

II.4.3 Classification des fluides frigorigènes

Les fluides frigorigènes sont divisés en deux grandes familles que sont :

- Les fluides frigorigènes purs.
- Les mélanges.

Les fluides frigorigènes obéissent à une classification qui permet une désignation précise de chaque fluide. [60].

II.4.3.1 Fluides frigorigènes purs

II.4.3.1.1 Fluides frigorigènes naturels

L'ammoniac (NH₃) ou R717 : L'ammoniac a été l'un des premiers liquides utilisés et a toujours donné des résultats satisfaisants. Il s'agit d'un liquide inorganique, incolore, à l'odeur piquante et irritante, dont la température d'ébullition est de -33,4°C.

Pour des raisons de sécurité, des liquides alternatifs ont été développés au début du 21e siècle, l'ammoniac étant classé comme toxique et inflammable [60].

L'eau (H₂O) ou R718 : Il s'agit d'un réfrigérant tout à fait sûr pour l'homme, mais qui ne convient pas aux températures inférieures à 0°C. Il est utilisé pour produire du froid par absorption dans les climatisations et les pompes à chaleur à très haute température (100 à 300°C) en raison de son point critique très élevé.

L'autre composé inorganiques, comme le dioxyde decarbone (CO₂ - R744-) et le dioxyde de soufre (SO₂).

Tableau (II.4) : Classification des Fluides inorganique pure

Fluides inorganique pure		
R717	R718	R744

Fluides hydrocarbures :

Tableau II.5 : Classification des fluides hydrocarbures

Fluides hydrocarbures				
R600- butane-	R290- propane-	R600a- D'isobutane-	R1270- propylene-	RC270- cyclopropane-

II.4.3.1.2 Fluides frigorigènes synthétiques

Dans ce groupe peuvent se trouver des composées qui ont été très largement utilisé mais qui font désormais l'objet d'interdiction, notamment pour des raisons de toxicité environnementale, on a :

A. Les CFC (chlorofluorocarbone)

Complètement substitués par le chlore ou le fluor, ces hydrocarbures ne contiennent plus d'hydrogène (ex : le R11, R12,).

Les CFC font l'objet d'interdiction totale depuis l'an 2000.

Tableau II.6 : Fluides de famille de CFC. [61].

CFC				
R502	R115	R113	R12	R11

B. Les HCFC (hydro chlorofluorocarbone)

Ce sont des composants chimiques formés de fluor, chlore, d'hydrogène et de carbone.

Les HCFC ont fait l'objet d'interdiction totale en 2015.

Tableau II.7: Fluides de famille de HCFC. [62]

HCFC	
R 21	R 142b
R 22	R 401a
R 123	R 402a
R 124	R 408a

C. Les HFC (hydro fluorocarbures)

Les HFC sont composés de carbone, d'hydrogène et de fluor. Il ne présente pas de danger pour la couche d'ozone mais ils peuvent contribuer à l'effet de serre.

Tableau II.8: Fluides de famille HFC. [62]

HFC								
R 25	R 125	R 134a	R 143a	R 152a	R 404a	R 407C	R401A	R 705

II.4.3.2 Mélanges des fluides

Les mélanges de corps purs se regroupent en deux sous-groupes que sont :

A. Mélanges azéotropiques

Il s'agit notamment du R507 (50 % R125 et 50 % R143a) et du R502 (48,8 % R22 et 51,2 % R115).

Il s'agit d'un mélange de deux ou plusieurs liquides purs ayant les mêmes paramètres (températures d'ébullition et de condensation).

B. Mélanges zéotropiques

C'est un mélange entre 2 ou plusieurs fluides purs mais avec des différents paramétrés, Parmi ces fluides en trouve R 404A (52% de 44% R 143a et de R 125 et de 4% de r134a) [58].

II.4.3.3 Nomenclature des réfrigérants

La nomenclature des réfrigérants est très précise ; on utilise une notation telle que : R-XYZ où R signifie « réfrigérant ». Un réfrigérant halogéné contient quatre types d'atomes : Carbone (C), Chlore (Cl), Fluor (F) et Hydrogène (H) [63].

Tableau II.9 : Nom, nomenclature et formule chimique des réfrigérants naturels.

Fluides frigorigènes	Nomenclature d'après le système standard international	Formule chimique	Fluides frigorigènes	Nomenclature d'après le système standard international	Formule chimique
Eau	R718	H ₂ O	Hexafluorure sulfuré	R846	SF ₆
Air	R729	-	Argon	R740	Ar
Ammoniac	R717	NH ₃	Ethane	R170	C ₂ H ₆
Dioxyde de Carbone	R744	CO ₂	Méthane	R50	CH ₄
Dioxyde de Soufre	R764	SO ₂	Propane	R290	C ₃ H ₈
Hélium	R704	He	Isobutane	R600a	CH (CH ₃) ₃
Hydrogène	R702	H ₂	Butane	R600	C ₄ H ₁₀
Azote	R728	N ₂	Propylène	R1270	C ₃ H ₆
Néon	R720	Ne	Ethylène	R1150	C ₂ H ₄
Oxygène	R732	O ₂			

II.5 Critères de choix

Les fluides frigorigènes ont pour rôle d'assurer les transferts thermiques entre l'évaporateur et le condenseur.

➤ Critères thermodynamiques

- - La température du réfrigérant doit être supérieure à la température de condensation.
- La température d'évaporation doit être supérieur autant que possible à la température d'ébullition normale.
- La pression de condensation ne doit pas dépasser 20 à 25 bars.
- Le taux de compression doit rester limité pour une bonne efficacité du compresseur.
- Obtention du rendement optimal.
- Quantité de froid produite doit être le plus élevée possible, elle dépend de la pression

d'aspiration.

- La pression d'évaporation ne doit pas être très basse.

➤ **Critères économiques**

- Le prix
- Disponibilité du frigorigène... stabilité thermique.
- Incidence du choix du fluide frigorifique sur le prix de l'installation [64].

➤ **Critères techniques**

- Action sur les matières plastiques et élastomères (les matériaux de joints) doit être faible ;
- Action sur les métaux doit être faible ou nulle.
- Stabilité thermique.

➤ **Critères de sécurité et d'environnement**

- Effet sur la couche d'ozone.
- Inflammabilité.
- Effet de serre.
- Toxicité.

➤ **Critères technologiques, opérationnels et économiques**

- Pression maximale de fonctionnement : modérée et $> P_{atm}$
- Coût et disponibilité.
- Compatibilité (huile ; matériaux ; stabilité chimique et thermique).
- Masse volumique du liquide élevé = compacité.
- Propriétés aérauliques et thermiques : viscosité faible et conductivité thermique élevée.[64]

II.6 Conclusion

Les machines de réfrigération à absorption sont l'une des machines les plus utilisées dans le domaine de la réfrigération. De nombreuses études ont été menées sur les machines de réfrigération à absorption dans le but d'optimiser le coefficient de performance du cycle et d'atteindre des conditions de fonctionnement optimales.

Ce chapitre est consacré à l'étude de la thermodynamique des machines de refroidissement thermique binaires et surtout ternaires utilisant trois sources de chaleur adaptées à l'utilisation des énergies renouvelables.

L'industrie de la réfrigération a connu l'essor et le déclin d'un grand nombre de réfrigérants au

cours des 150 dernières années. Les CFC ont peut-être été les plus durables jusqu'à ce qu'il soit prouvé qu'ils étaient la principale cause de l'appauvrissement de la couche d'ozone, à l'origine du trou de la couche d'ozone.

Les réfrigérants nocifs pour l'environnement font l'objet de restrictions spécifiques qui limitent leur utilisation dans le monde entier.

Chapitre III

Étude thermodynamique d'une
installation à absorption

Chapitre III

Étude thermodynamique d'une installation à absorption

III.1 Introduction

Dans le chapitre précédent, une étude théorique sur les machines de réfrigération à absorption a été réalisée, dans ce chapitre, le modèle mathématique du cycle de réfrigération à absorption fonctionnant avec de l'eau et du bromure de lithium dans son ensemble et pour chaque composant du cycle sera expliqué en détail.

III.2 Systèmes frigorifiques à absorption Eau – Bromure de lithium (H₂O- LiBr)

Les réfrigérants fonctionnent en absorbant la capacité d'un liquide à réaction exothermique ou d'un réactif endothermique de vapeur pour le chauffage et le refroidissement.... Ces machines utilisent donc un mélange binaire comme fluide de travail, où l'un des composants est plus volatil que l'autre, formant ainsi le réfrigérant.

Le bromure de lithium aqueux (H₂O-LiBr) est l'une des solutions largement utilisées dans les systèmes de chauffage et de refroidissement.[65]

Le composé de solution cryogénique LiBr-H₂O nécessite de la chaleur pour agir d'une part et excrète thermique vers l'extérieur. [66].

Caractéristiques du composé réfrigérant suivantes :

- Une grande chaleur latente du fluide frigorigène est désirable.
- Sécurité, non toxique non inflammable.
- Le fluide frigorigène doit être plus volatile que l'agent absorbant.
- Faible viscosité.
- Stabilité chimique.
- Pressions de travail doit être modérée.

- Absence de corrosion.

III.3 Diagramme thermodynamique utilisés dans les cycles d'absorption

Les deux diagrammes utilisés dans les systèmes sont le diagramme de Merkel et le diagramme de d'Oldham.

III.3.1 Diagramme d'Oldham

C'est sur ce diagramme qu'on peut lire les concentrations en eau (fluide frigorigène) et en bromure de lithium ainsi que les pressions aux différents points de l'installation, en abscisse on a les températures et en ordonnées on peut lire les pressions, les concentrations X sont en axe orthogonal comme on le voit sur la figure (III.1) [67].

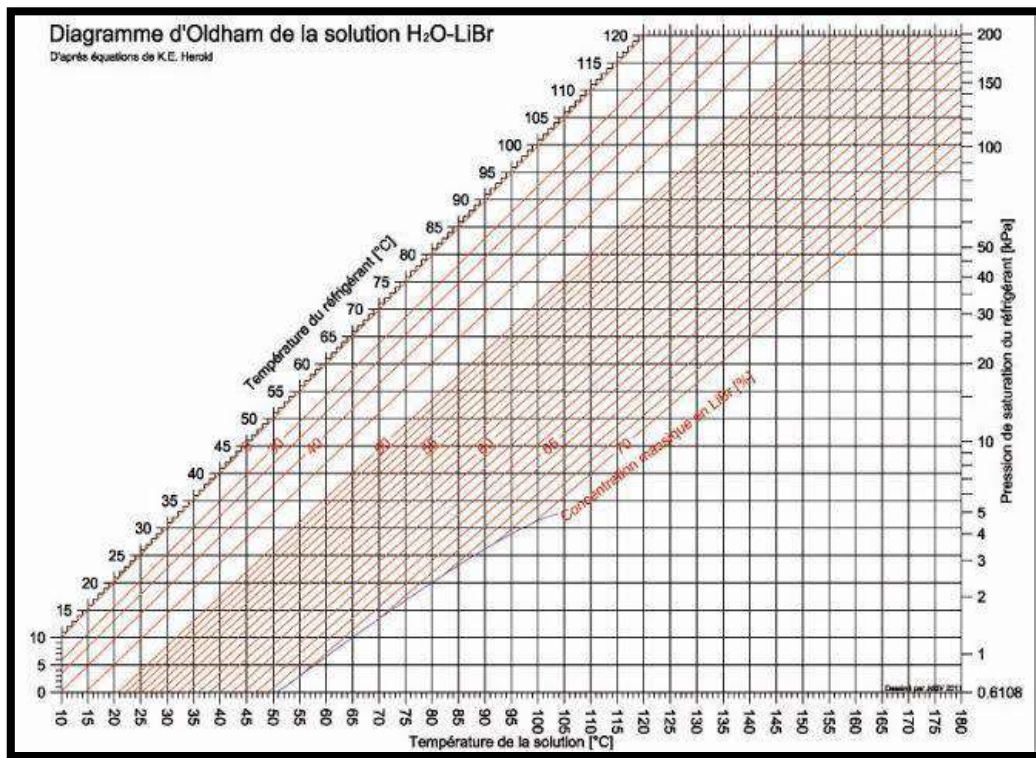


Figure (III.1) : Diagramme de d'Oldham du couple (H₂O-LiBr)

III.3.2 Diagramme de Merkel

Bien que le diagramme d'Oldham fournisse une bonne représentation de la structure, il ne peut être utilisé pour les études énergétiques ou le dimensionnement des machines, ces objectifs nécessitent l'utilisation du diagramme de Merkel. Le diagramme de Merkel est donc complémentaire du diagramme d'Oldham [68].

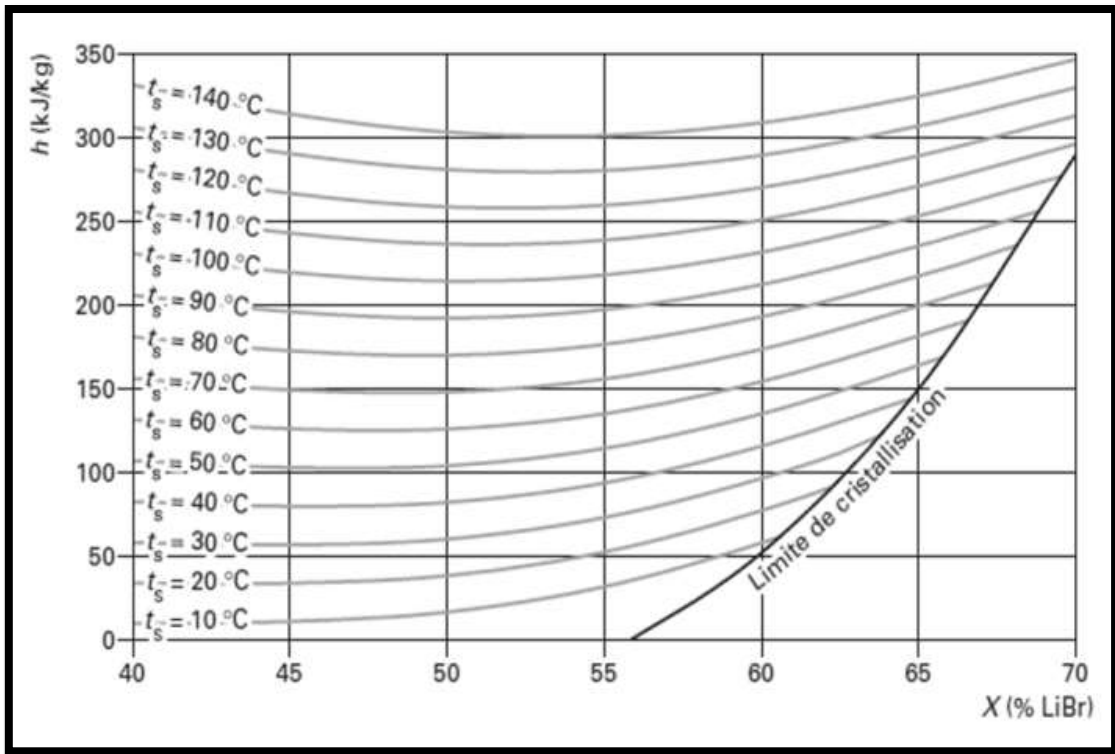


Figure (III.2) : Diagramme de Merkel du couple (H₂O-LiBr)

III.4 Modélisation de cycle simple effet :

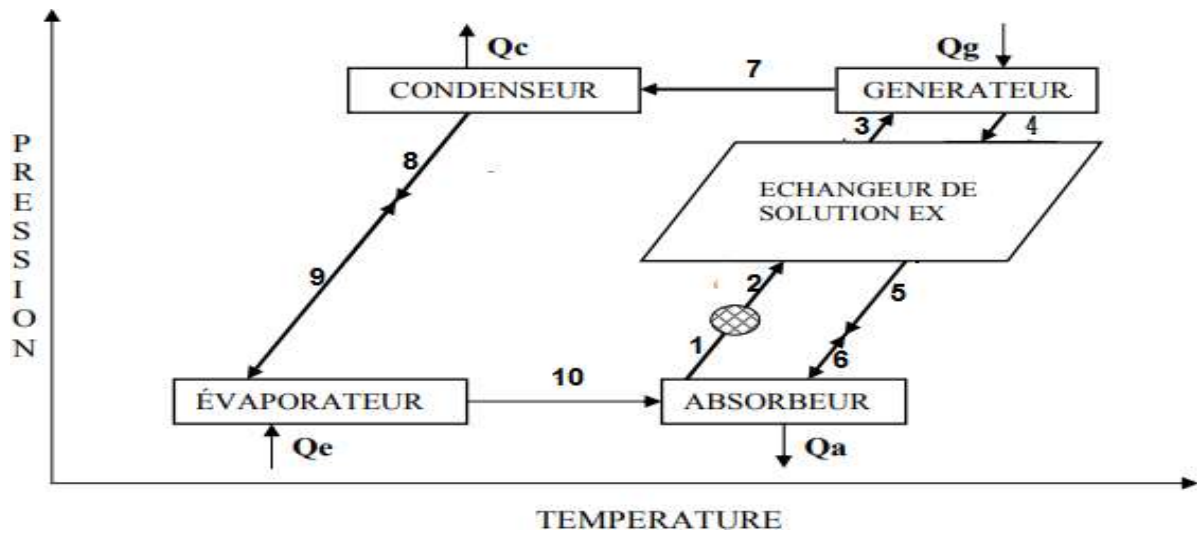


Figure (III.3) : Schéma de fonctionnement d'un cycle à absorption simple effet. [68]

Pour améliorer la performance du cycle, un échangeur de solution est introduit pour chauffer la solution riche en utilisant la chaleur de la solution pauvre [69].

III.4.1: Bilans de masses et d'énergies

Pour évaluer les performances du cycle d'absorption représenté dans la figure [III.3],

Nous avons imposé les informations suivantes :

- Il n'y a pas de changement de pression dans la tuyauterie sauf au détendeur et au niveau de la pompe de solution.
- les points 1 et 4, est à l'état saturée.
- La pompe est isentropique.
- Les détendeurs sont adiabatiques

- **COP Coefficient de performance**

Les équations qui traduisent de l'énergie pour un couple réfrigérant/solvant donné Le point de départ est formé d'une analyse thermodynamique du système d'absorption avec les hypothèses de base mentionnées ci-dessus.

$$COP \equiv \frac{Q_a + Q_c}{W_p + Q_g} \quad (\text{III.1})$$

En climatisation et réfrigération :

$$COP \equiv \frac{Q_e}{W_p + Q_g} \quad (\text{III.2})$$

Avec :

Q_a : La chaleur cédée par l'absorbeur.

Q_e : La chaleur absorbée par l'évaporateur.

Q_c : La chaleur cédée par le condenseur.

Q_g : La chaleur fournit au générateur.

W_p : travail de pompe

Pour le chauffage :

$$COP \equiv \frac{Q_a + Q_c}{Q_g} \quad (\text{III.3})$$

Pour froid et climatisation :

$$COP \equiv \frac{Q_e}{Q_g} \quad (\text{III.4})$$

Le COP idéal de Carnot :

Pour le chauffage :

$$COP \equiv 1 + \left[\left(\frac{T_g - T_a}{T_g} \right) + \left(\frac{T_e}{T_c - T_e} \right) \right] \quad (III.5)$$

Pour froid et climatisation :

$$COP \equiv \left(\frac{T_g - T_a}{T_g} \right) \times \left(\frac{T_e}{T_c - T_e} \right) \quad (III.6)$$

La modélisation thermodynamique réalisée pour les différents cycles frigorifiques se base sur le premier principe de la thermodynamique, la forme générale des équations de conservation de l'énergie et de la masse sont telles que :

Bilan massique :

$$\sum \dot{m}_i \equiv \sum \dot{m}_e \quad (III.7)$$

$$\sum \dot{m}_i \times x_i \equiv \sum \dot{m}_e \times x_e \quad (III.8)$$

Bilan énergétique :

$$\sum Q + \sum W \equiv \sum \dot{m}_e \times h_e - \sum \dot{m}_i \times h_i \quad (III.9)$$

- **Générateur :**

Le fluide est séparé de la solution par la chaleur utilisée à l'extérieur du générateur, et l'échelle
Ecrit :

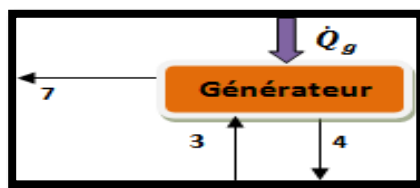


Figure (III.4) : Générateur

Bilan massique :

$$\dot{m}_3 \cdot x_3 = \dot{m}_4 \cdot x_4 \quad (III.10)$$

Bilan énergétique :

$$Q_{gen} = \dot{m}_4 h_4 + \dot{m}_7 h_7 - \dot{m}_3 h_3 \quad (III.11)$$

h_7 : Enthalpie de la vapeur du condenseur.

h_3 : Enthalpie de la solution riche .

h_4 : Enthalpie la solution pauvre du condenseur.

\dot{m}_7 : Débit du réfrigérant.

\dot{m}_3 : Débit massique dans point 3.

\dot{m}_4 : Débit massique dans point 4 .

- **Condenseur :**

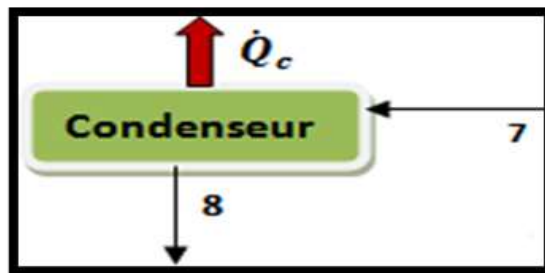


Figure (III.5) : Condenseur

Bilan massique :

$$\dot{m}_7 = \dot{m}_8 \quad (III.12)$$

Bilan énergétique :

$$Q_{cond} = \dot{m}_7(h_7 - h_8) \quad (III.13)$$

h_8 : Enthalpie du liquide saturé du frigorigène du condenseur.

\dot{m}_8 : Débit du fluide réfrigérant.

- **Évaporateur :**

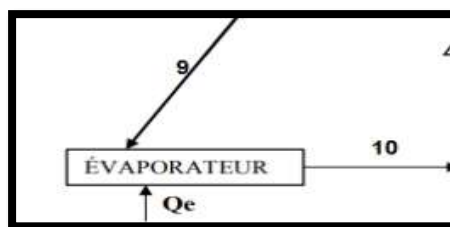


Figure (III.6) : Évaporateur

Bilan massique :

$$\dot{m}_9 = \dot{m}_{10} \quad (\text{III.14})$$

Bilan énergétique :

$$Q_{evap} = \dot{m}_{10}(h_{10} - h_9) \quad (\text{III.15})$$

- Absorbeur :

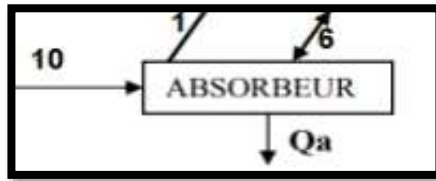


Figure (III.7) : Absorbeur

Bilan massique :

$$x_1 \dot{m}_1 = x_6 \dot{m}_6 \quad (\text{III.16})$$

Bilan énergétique :

$$Q_{abs} = \dot{m}_{10}h_{10} + \dot{m}_6 h_6 - \dot{m}_1 h_1 \quad (\text{III.17})$$

h_1 : Enthalpie du liquide à la sortie de l'absorbeur T_a à la fraction riche.

- Pompe de solution :

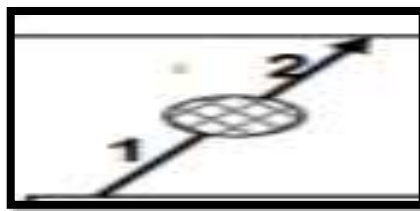


Figure (III.8) : Pompe de solution

:

Bilan massique :

$$\dot{m}_2 = \dot{m}_1 \quad (\text{III.18})$$

Bilan énergétique :

$$W_p = v_1 \cdot (P_2 - P_1) \quad (\text{III.19})$$

$$W_p = m_2 \cdot (h_2 - h_1) \quad (\text{III.20})$$

\dot{m}_1 : Débit au point 1 .

h_2 : Enthalpie du liquide de la solution riche haut pression .

- **Echangeur de chaleur :**

Au niveau de cet élément, l'échange de chaleur s'effectue entre la solution pauvre et la solution riche et le bilan énergétique s'écrit comme suit.

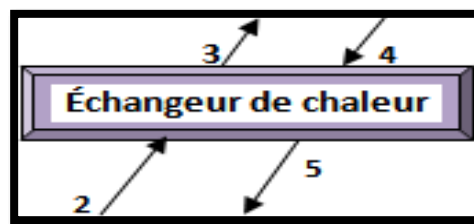


Figure (III.9) : Echangeur de chaleur

Bilan massique :

$$\dot{m}_2 = \dot{m}_3 \quad (\text{III.21})$$

$$\dot{m}_4 = \dot{m}_5 \quad (\text{III.22})$$

Bilan énergétique :

$$Q_{echa} = \dot{m}_3 h_3 - \dot{m}_2 h_2 \quad (\text{III.23})$$

$$Q_{echa} = \dot{m}_4 h_4 - \dot{m}_5 h_5 \quad (\text{III.24})$$

- **Détendeur :**

Bilan massique :

$$\dot{m}_8 = \dot{m}_9 \quad (\text{III.25})$$

$$\dot{m}_5 = \dot{m}_6 \quad (III.26)$$

Bilan énergétique :

$$Q_{8-9} = \dot{m}_9 h_9 - \dot{m}_8 h_8 \quad (III.27)$$

$$Q_{5-6} = \dot{m}_6 h_6 - \dot{m}_5 h_5 \quad (III.28)$$

III.5 Modélisation de cycle double effet

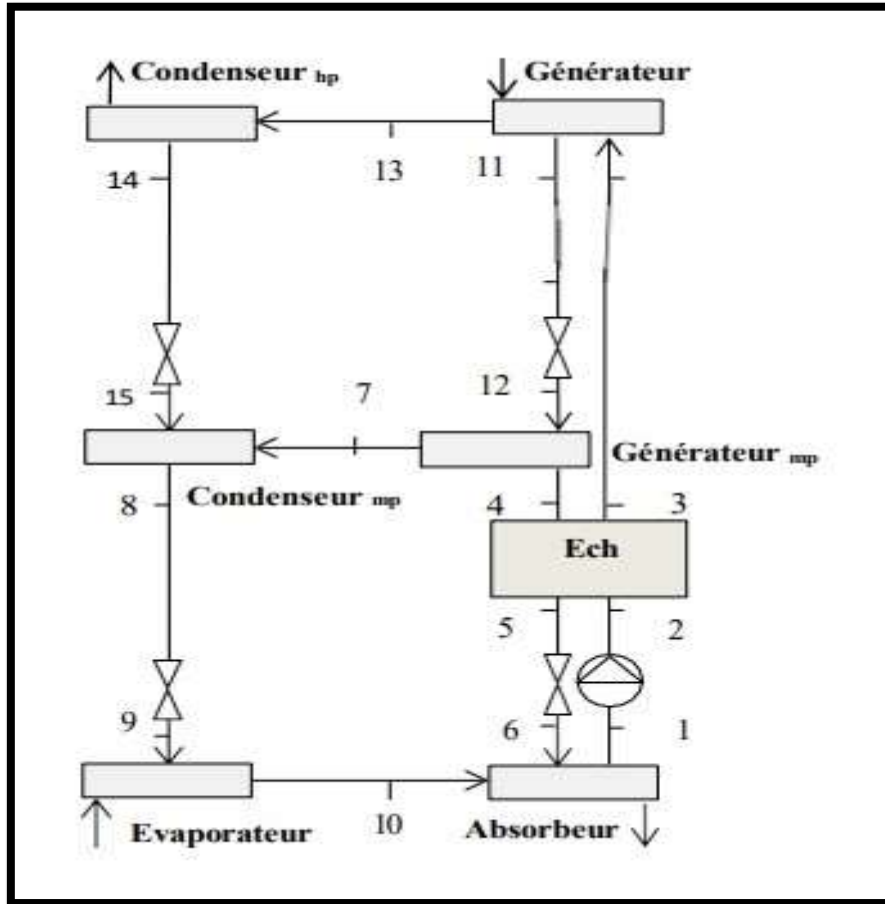


Figure (III.8) : Schéma de fonctionnement d'un cycle à absorption double effet

III.5.1 Bilan énergétique

• Bouilleur 1 (Générateur)

$$Q_{bou1} = (\dot{m}_{11} h_{11} + \dot{m}_{13} h_{13}) - \dot{m}_3 h_3 \quad (III.29)$$

\dot{m}_{11} : Débit massique au point 11 (kJ / s).

\dot{m}_{13} : Débit massique au point 13 (kJ / s).

• **Bouilleur 2 :**

$$Q_{bou2} = (\dot{m}_7 h_7 + \dot{m}_4 h_4) - \dot{m}_{12} h_{12} \quad (\text{III.30})$$

h_4 : Enthalpie du solution dans deuxième bouilleur (Tb) et (Pm).

h_{12} : Enthalpie du solution riche dans point 12 .

• **Condenseur hp :**

$$Q_{com} = \dot{m}_{14} h_{14} + \dot{m}_{13} h_{13} \quad (\text{III.31})$$

• **Condenseur mp :**

$$Q_{com} = \dot{m}_8 h_8 + \dot{m}_7 h_7 - \dot{m}_{15} h_{15} \quad (\text{III.32})$$

• **Evaporateur :**

$$Q_{\text{évap}} = \dot{m}_{10} h_{10} - \dot{m}_9 h_9 \quad (\text{III.33})$$

• **Absorbeur :**

$$Q_{abs} = \dot{m}_1 h_1 - (\dot{m}_{10} h_{10} + \dot{m}_6 h_6) \quad (\text{III.34})$$

• **Détendeur :**

cette point est isenthalpique ($h = \text{cst}$) dans détendeurs. Donc,

$$h_5 = h_6 \quad (\text{III.35})$$

$$h_{14} = h_{15} \quad (\text{III.36})$$

$$h_{11} = h_{12} \quad (\text{III.37})$$

$$h_8 = h_9 \quad (\text{III.38})$$

• **Pompe de solution :**

$$W_{p_2} = \dot{m}_2 h_2 - \dot{m}_1 h_1$$

$$W_{p_2} = \dot{m}_2 (h_2 - h_1) \quad (\text{III.39})$$

$$W_{p_2} = \dot{V}_1 (p_2 - p_1)$$

• **Echangeur liquide-liquide :**

$$h_3 - h_2 = \frac{\dot{m}_4}{\dot{m}_3} (h_4 - h_5) \quad (\text{III.40})$$

La relation de T_3 est donnée par l'expression suivante :

$$T_3 = T_5 \cdot \text{eff} + T_4 (1 - \text{eff})$$

III.5.2 Bilan de masses

• Bouilleur 1 :

$$\begin{aligned}\dot{m}_3 &= \dot{m}_{11} + \dot{m}_{13} \\ \dot{m}_3 x_3 &= \dot{m}_{11} x_{11} + \dot{m}_{13} x_{13}\end{aligned}\quad (\text{III.41})$$

\dot{m}_3 : Débit au point 3 haut pression (kJ / s).

\dot{m}_{11} : Débit au point 11 (kJ / s).

• Bouilleur 2 :

$$\begin{aligned}\dot{m}_{12} &= \dot{m}_4 + \dot{m}_7 \\ \dot{m}_{12} x_{12} &= \dot{m}_4 x_4 + \dot{m}_7 x_7\end{aligned}\quad (\text{III.42})$$

\dot{m}_3 : Débit au point 3 pression (kJ / s).

• Condenseur hp :

$$\begin{aligned}\dot{m}_{14} &= \dot{m}_{13} \\ \dot{m}_{14} x_{14} &= \dot{m}_{13} x_{13}\end{aligned}\quad (\text{III.43})$$

• Condenseur mp :

$$\begin{aligned}\dot{m}_8 &= \dot{m}_7 + \dot{m}_{15} \\ \dot{m}_7 x_7 + \dot{m}_{15} x_{15} &= \dot{m}_8 x_8\end{aligned}\quad (\text{III.44})$$

• Evaporateur :

$$\begin{aligned}\dot{m}_9 &= \dot{m}_{10} \\ \dot{m}_9 x_9 &= \dot{m}_{10} x_{10}\end{aligned}\quad (\text{III.45})$$

• Absorbeur :

$$\begin{aligned}\dot{m}_6 + \dot{m}_1 &= \dot{m}_{10} \\ \dot{m}_1 x_1 + \dot{m}_6 x_6 &= \dot{m}_{10} x_{10}\end{aligned}\quad (\text{III.46})$$

\dot{m}_{10} : Débit au point 10 (kJ / s).

• Détendeur :

$$\dot{m}_5 x_5 = \dot{m}_6 x_6 \qquad \dot{m}_5 = \dot{m}_6 \qquad \text{(III.47)}$$

$$\dot{m}_{11} x_{11} = \dot{m}_{12} x_{12} \qquad \dot{m}_{11} = \dot{m}_{12} \qquad \text{(III.48)}$$

$$\dot{m}_{14} x_{14} = \dot{m}_{15} x_{15} \qquad \dot{m}_{14} = \dot{m}_{15} \qquad \text{(III.49)}$$

$$\dot{m}_8 x_8 = \dot{m}_9 x_9 \qquad \dot{m}_8 = \dot{m}_9 \qquad \text{(III.50)}$$

• Pompe de solution :

$$\dot{m}_1 x_1 = \dot{m}_2 x_2 \qquad \dot{m}_1 = \dot{m}_2 \qquad \text{(III.51)}$$

\dot{m}_1 : Débit au point 1 (kJ / s).

\dot{m}_2 : Débit au point 2 (kJ / s).

• Coefficient de performance

En utilisant les bilans enthalpiques, on trouve l'expression du coefficient de performance de la machine :

$$COP = \frac{Q_{\text{évap}}}{Q_{\text{bou1}} + Q_{\text{bou2}} + W_p} \qquad \text{(III.52)}$$

Où : $x_m = 1$

III.6 Conclusion

Dans cette unité, nous avons présenté une analyse thermodynamique d'un cycle à simple effet et à double effet et la relation entre différents débits massiques et coefficients de performance.

Chapitre IV

Simulation des résultats

Chapitre IV

Étude paramétrique

IV.1 Introduction

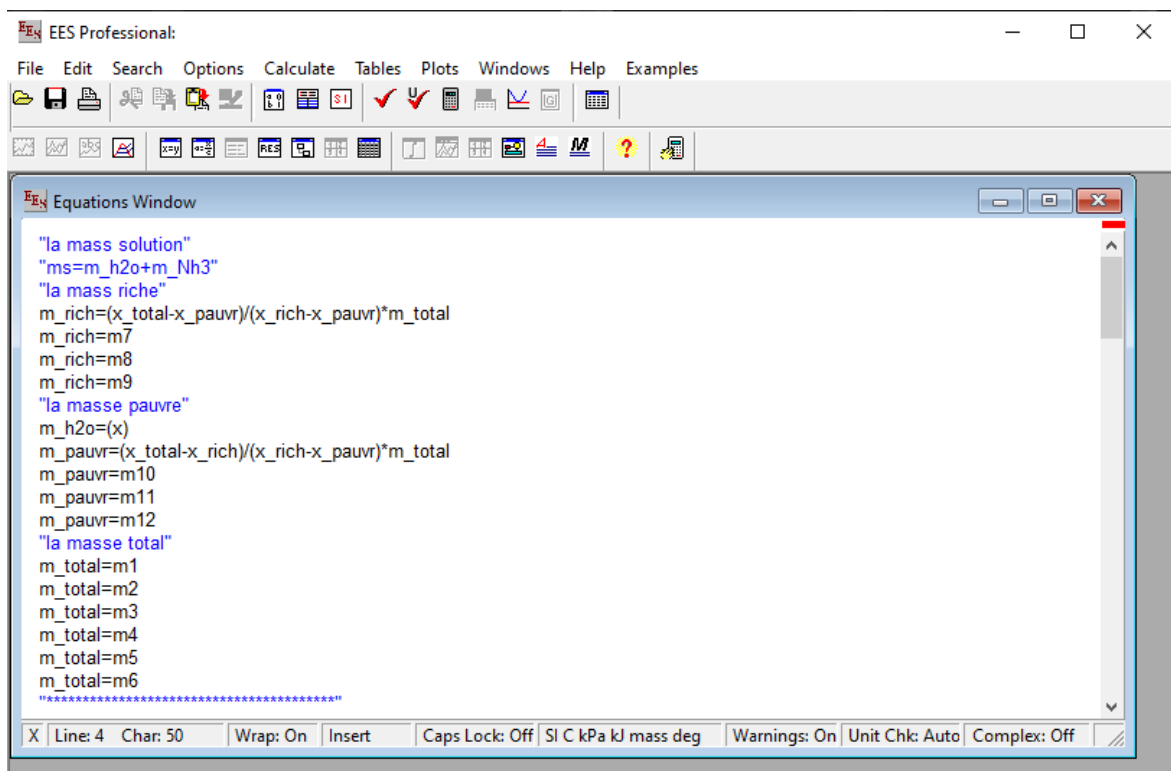
Pour les installations à absorption fonctionnent Avec le binaire (H₂O-LiBr) le refroidissement s'effectue à basse température, le coût d'installation est très élevé et le COP est plus faible.

Dans ce chapitre, les résultats obtenus seront analysés et les meilleures conditions de travail pour la machine de refroidissement par absorption seront déduites à l'aide du logiciel EES.

IV.2. EES (Engineering Equation Solver)

Le logiciel EES (Engineering Equation Solver) est un outil de calcul et de simulation.

Il permet de résoudre des systèmes d'équations algébriques et différentielles non linéaires, souvent complexes, qui sont couramment rencontrés en thermodynamique, transfert de chaleur, mécanique des fluides, et autres disciplines de l'ingénierie Nous essayons d'utiliser ce programme pour en savoir plus sur les cycles de refroidissement à absorption simple et double effet .



```

EES Professional:
File Edit Search Options Calculate Tables Plots Windows Help Examples
[Icons]
[Icons]
EES Equations Window
"la mass solution"
"ms=m_h2o+m_Nh3"
"la mass riche"
m_rich=(x_total-x_pauvr)/(x_rich-x_pauvr)*m_total
m_rich=m7
m_rich=m8
m_rich=m9
"la masse pauvre"
m_h2o=(x)
m_pauvr=(x_total-x_rich)/(x_rich-x_pauvr)*m_total
m_pauvr=m10
m_pauvr=m11
m_pauvr=m12
"la masse total"
m_total=m1
m_total=m2
m_total=m3
m_total=m4
m_total=m5
m_total=m6
*****
X Line: 4 Char: 50 Wrap: On Insert Caps Lock: Off SI C kPa kJ mass deg Warnings: On Unit Chk: Auto Complex: Off

```

Figure [IV. 1] : Logiciel EES

IV.3 Présentation de lieu de l'implantation de l'installation

Notre station d'absorption est située à Tlemcen, dans le nord-ouest de l'Algérie, et contient les données suivantes :

IV.3.1 Données géographiques

Pour choisir l'emplacement optimal du capteur, il faut connaître la position du soleil par rapport à la Terre.

Le tableau [IV .1] présente les coordonnées géographiques de quelques régions de l'Algérie.

Tableau [IV.1] : Caractéristiques de quelques zones du pays.

	Tlemcen	Alger	Chlef	Biskra	Batna	Adrar	Tamanrasset
Latitude	35°00'	36°72'	36°22'	34°81'	35°55'	27°82'	22°72'
Longitude	1°19'O	2°53'E	1°21'E	5°44'E	6°11'E	0°17'O	5°31'E
Altitude	806m	300m	112m	124m	1040m	286m	1400m

IV.3.2 Données Métrologiques

Ces éléments ne sont pas les mêmes, mais on peut retrouver le tableau des moyennes mensuelles [IV 2] Pour certains états du pays.:

Tableau [IV.2] : La température ambiante moyenne mensuelle en °C.

	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

Echangeur de chaleur :

$$\varepsilon=0.4$$

A. Pour la température de bouilleur $T=80\text{ °C}$

Tableau [IV.3] : Caractéristiques d'une installation à absorption simple effet pour $T=80\text{ °C}$

Points	T (°C)	P (Kpa)
1	25	0.8
2	25	3
3	47	3
4	80	3
5	58	3
6	58	0.8
7	80	3
8	25	3
9	5	0.8
10	5	0.8

$$Q_{b1} = m_7 \cdot h_7 + m_4 \cdot h_4 - m_3 \cdot h_3 = 150$$

$$Q_{e1} = m_8 \cdot h_8 - m_7 \cdot h_7 = 110$$

$$W_{p1} = V_1 \cdot (P_2 - P_1) = 39.6$$

$$COP_1 = Q_{e1} / (Q_{b1} + W_{p1}) = 0.58$$

B. Pour la température de générateur $T=90\text{ °C}$

Tableau [IV.4] : Caractéristiques d'une installation à absorption simple effet pour $T=103\text{ °C}$

Point	T (°C)	P (Kpa)
1	25	0.9
2	25	5
3	51	5
4	90	5
5	64	5
6	64	0.9
7	90	5
8	25	5
9	6	0.9
10	6	0.9

$$Q_{b2} = m7.h7 + m4.h4 - m3.h3 = 352$$

$$Q_{e2} = m8.h8 - m7.h7 = 284$$

$$W_{p2} = V_1.(P2-P1) = 42.4$$

$$COP2 = Q_{e2} / (Q_{b2} + W_{p2}) = 0.78$$

C. Pour la Température de générateur $T_b=110\text{ °C}$

Tableau [IV.5] : Caractéristiques d'une installation à absorption simple effet pour $T=110\text{ °C}$

Points	T (°C)	P (Kpa)
1	25	1
2	25	12
3	59	12
4	110	12
5	76	12
6	76	1
7	110	12
8	25	12
9	8.1	1
10	8.1	1

$$Q_{b3} = m_7 \cdot h_7 + m_4 \cdot h_4 - m_3 \cdot h_3 = 424$$

$$Q_{e3} = m_8 \cdot h_8 - m_7 \cdot h_7 = 384$$

$$W_{p3} = V_1 \cdot (P_2 - P_1) = 44.3$$

$$COP_3 = Q_{e3} / (Q_{b3} + W_{p3}) = 0.82$$

V.4.1. Simulation de l'installation simple effet

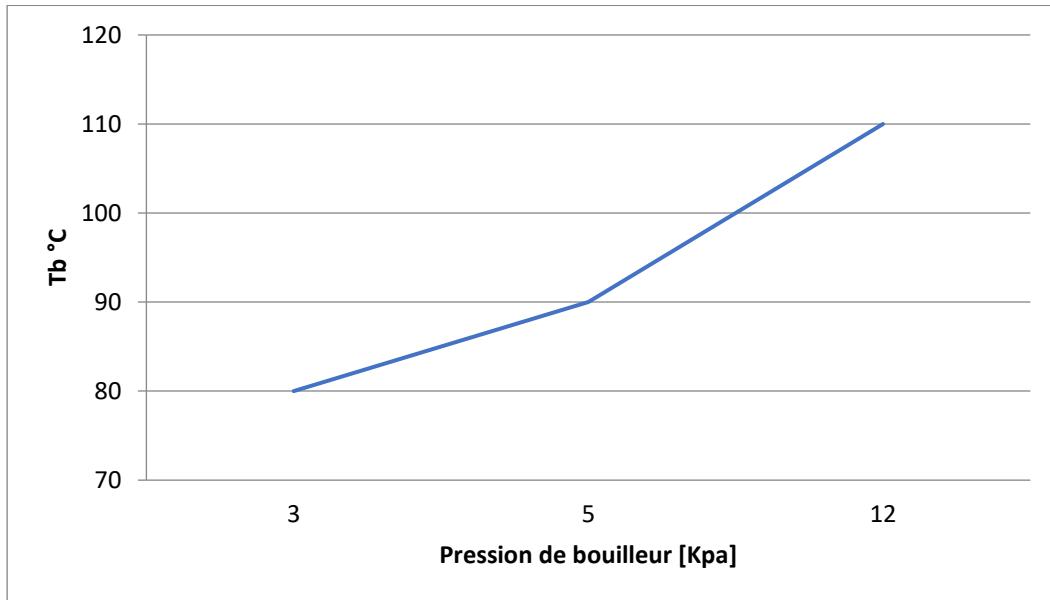


Figure [IV. 3] : Influence de température du générateur sur la pression

Courbe COP=f(Tb) :

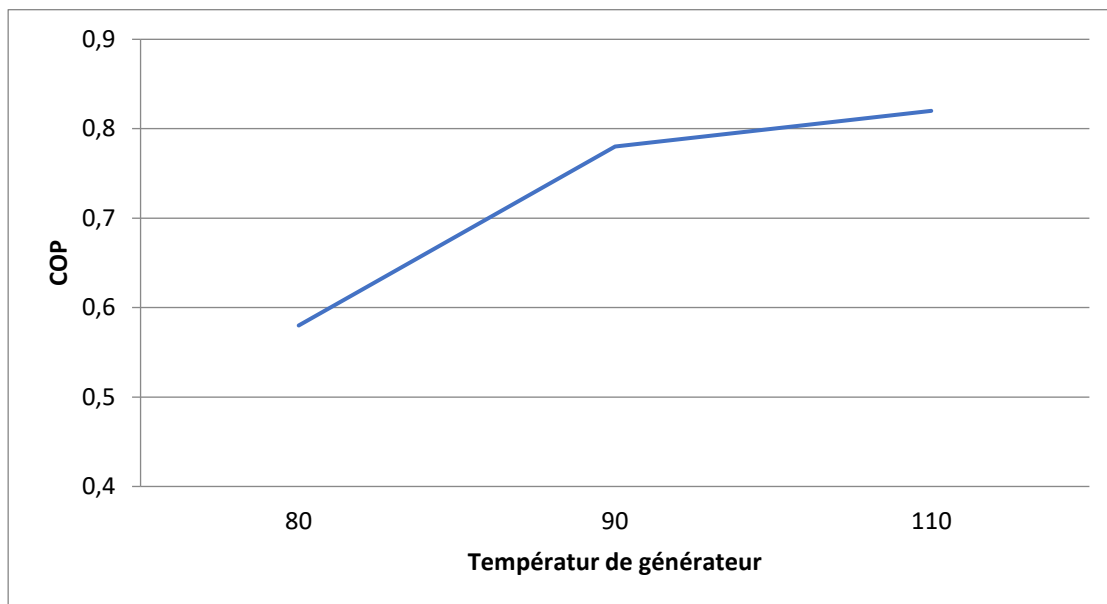


Figure [IV. 4] : Influence de COP en fonctionne de Température du générateur

La pompe :**Entrées :**

$P_1 = 0.8 \text{ Kpa}$

$T_1 = 25 \text{ °C}$

$m = 1 \text{ Kg/s}$

$x_1 = 0.45$

Sortie :

$P_2 = 30 \text{ Kpa}$

Générateur hp :

$T_{11} = T_{13} = 100 \text{ °C}$

$X_{11} = 0.6$

Générateur bp :

$T_7 = T_4 = 85 \text{ °C}$

$x_4 = 0.7$

Evaporateur :

$T_{10} = 3 \text{ °C}$

$x_{10} = 1$

Echangeur de chaleur :

$\varepsilon = 0.4$

A. Pour la Température de générateur haut $T = 100 \text{ °C}$:

Tableau [IV.6] : Caractéristiques d'une installation à absorption double effet pour $T = 100 \text{ °C}$

Points	T (°C)	P (Kpa)
1	25	0.8
2	25	30
3	56	30
4	85	10
5	61	10
6	61	0.8
7	85	10
8	25	10

9	3	0.8
10	3	0.8
11	100	30
12	100	10
13	100	30
14	25	30
15	25	10

$$Q_{b1} = m_{11}.h_{11} + m_{13}.h_{13} - m_3.h_3 = 851 \text{ Kw}$$

$$Q_{b2} = m_7.h_7 + m_4.h_4 - m_{11}.h_{11} = 734.2 \text{ Kw}$$

$$Q_{e1} = m_8.h_8 - m_7.h_7 = 1990.32 \text{ Kw}$$

$$W_{p1} = V_1 (P_2 - P_1) = 73.4 \text{ Kw}$$

$$COP_1 = Q_{e1} / (Q_{b1} + Q_{b2} + W_{p1}) = 1.2$$

B. Pour la Température de générateur haut $T = 110 \text{ }^\circ\text{C}$

Tableau [IV.7] : Les caractéristiques d'une installation à absorption simple effet pour $T = 110 \text{ }^\circ\text{C}$

Points	T (°C)	P (Kpa)
1	25	0.9
2	25	35
3	53.8	35
4	97	15
5	66.4	15
6	66.4	0.9
7	97	15
8	25	15
9	6	0.9
10	6	0.9
11	110	35
12	110	15
13	110	35
14	25	35
15	25	15

$$Q_{b2} = m_{11}.h_{11} + m_{13}.h_{13} - m_3.h_3 = 873.12 \text{ Kw}$$

$$Q_{b2} = m_7.h_7 + m_4.h_4 - m_{11}.h_{11} = 762 \text{ Kw}$$

$$Q_{e2} = m_8.h_8 - m_7.h_7 = 2266.19 \text{ Kw}$$

$$W_{p2} = V_1 (P_2 - P_1) = 94.8 \text{ Kw}$$

$$COP_2 = Q_{e1} / (Q_{b1} + Q_{b2} + W_{p1}) = 1.31$$

C. Pour la Température de générateur haut , 120 °C :

Tableau [IV.8] : Les caractéristiques d'une installation à absorption simple effet pour T=120 °C

points	T (°C)	P (Kpa)
1	25	1
2	25	40
3	55.8	40
4	102	24
5	77.2	24
6	77.2	1
7	102	24
8	25	24
9	10	1
10	10	1
11	120	40
12	120	24
13	120	40
14	25	40
15	25	24

$$Q_{b3} = m_{11} h_{11} + m_{13}.h_{13} - m_3.h_3 = 903.2 \text{ Kw}$$

$$Q_{b3} = m_7.h_7 + m_4.h_4 - m_{11}.h_{11} = 842 \text{ Kw}$$

$$Q_{e3} = m_8.h_8 - m_7.h_7 = 2549.68 \text{ Kw}$$

$$W_{p3} = V_1 (P_2 - P_1) = 102.4 \text{ Kw}$$

$$COP_3 = Q_{e1} / (Q_{b1} + Q_{b2} + W_{p1}) = 1.38$$

IV.5 .1 Simulation de l'installation double effet

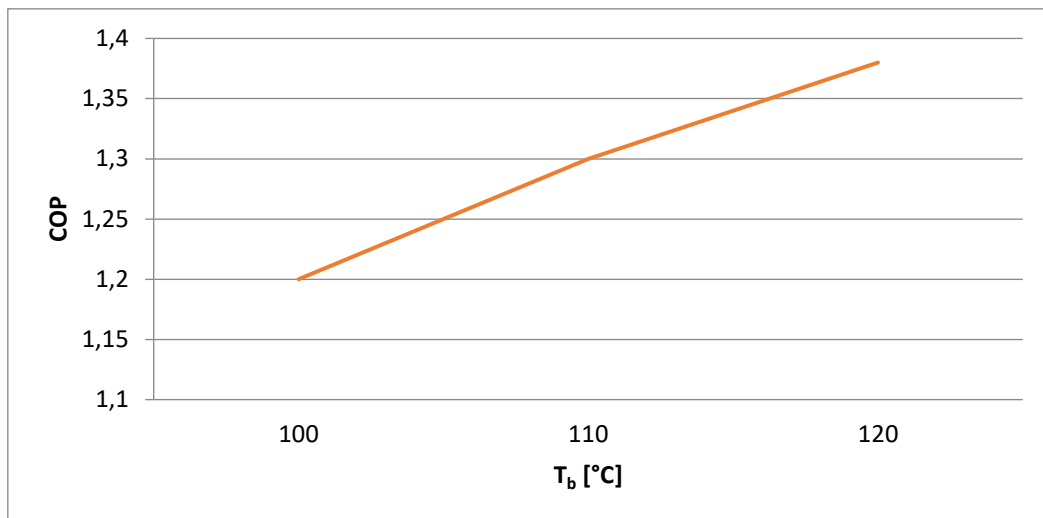


Figure [IV. 6] : Influence de COP en fonctionne de Température générateur

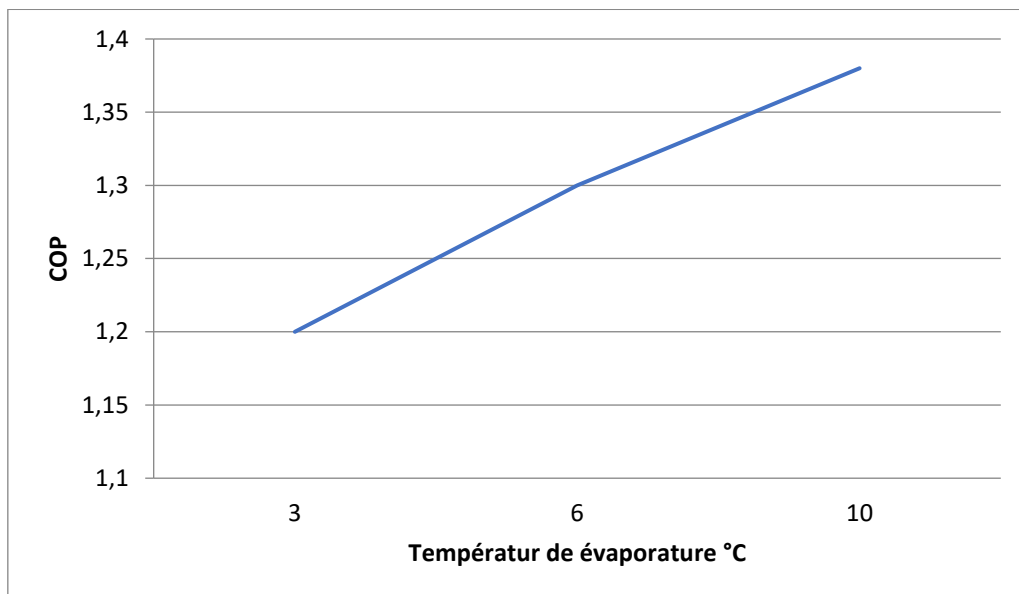


Figure [IV. 7] : Influence de COP en fonctionne de Température évaporateur

Commentaire :

- On remarque que la pression augmente c'est la température augmente .
- Aussi on remarque que la pression augmente, plus le COP est mieux .
- On remarque la valeur maximale de COP dans cycle double effet en série est 1.38 .

IV.5.2 Comparaison entre COP simple et double effet

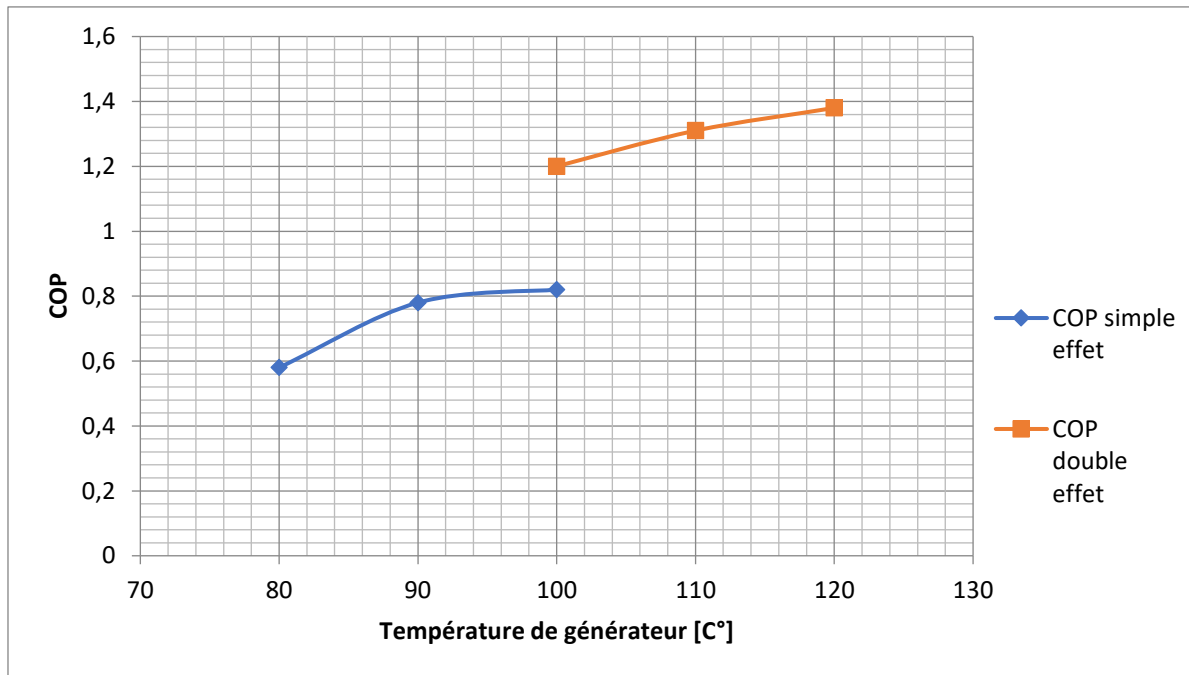


Figure [IV. 8] : Comparaison le COP de cycle simple et double effet

Commentaire :

- On remarque que le COP de cycle double effet est mieux que COP de cycle simple effet .
- On a le coefficient de performance de cycle simple effet est inférieur a 1 .
- Par contre le coefficient de performance de cycle double effet est supérieur a 1 .

IV.6 Interprétation des courbes

- Il est important de déterminer les bonnes températures des fonctionnements d'une machine à absorption ($H_2O/LiBr$) au niveau du bouilleur, évaporateur et condenseur.
- On a dans le graphe de la figure [IV. 3] l'augmentation de la température dans générateur est à cause de l'augmentation de pression dans ce dernier
- Dans le graphe de la figure [IV. 4] , on remarque que l'amélioration de COP dans cycle simple effet est proportionnelle avec une augmentation de la température dans le générateur ou il s'améliore progressivement sur l'intervalle de température 80°C et 100° C ensuite il devient stable en dépassant la température 110° C .

- Dans le graphe [IV. 6] l'amélioration de COP dans cycle double effet, avec une augmentation de la température dans le générateur HP ou ça s'améliore progressivement sur intervalle de température 100°C et 120°C puis après la température 120°C ça devient stable.
- La figure [IV. 7] présente l'amélioration COP dans machine double effet cela affect légèrement l'augmentation de la température dans évaporateur, allant de 3 C° lorsqu'elle devient COP=1.2 et devient 10 C° lorsqu'elle le COP =1.38.
- Dans graphe [IV. 8] le COP de double effet être meilleur que COP de simple effet à cause de l'existence de deux générateurs dans double effet.

VI.7. Conclusion

Dans ce chapitre, les résultats de la simulation du cycle de réfrigération à absorption d'eau et du bromure de lithium ont été analysés, , qui ont été obtenus à l'aide du programme de simulation EES (Engineering Equation Solver) .

L'étude de sensibilité paramétrique nous a permis de voir l'influence de quelques paramétriques sur le fonctionnement optimal de la machine à absorption. Où la courbe de coefficient de performance et la variation du coefficient de pression dans le cycle ont été obtenues en fonction de chacune des températures du générateur, l'évaporateur, le condenseur et l'absorbeur. On note essentiellement par cette étude, que le paramètre influant le plus sur les performances de notre système (puissance frigorifique Q_e et coefficient de performance COP) est la température de générateur T_b .

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale

La réfrigération que ce soit pour la climatisation des habitations ou pour la conservation de divers produits, est généralement obtenue par des machines fonctionnant selon le cycle de compression-détente. Ces machines consomment de grandes quantités d'électricité et finissent par polluer l'environnement. Les efforts des chercheurs pour éliminer ces inconvénients ont abouti à de nouvelles installations qui utilisent l'énergie solaire pour produire du froid.

Une méthode pour évaluer les caractéristiques et les performances d'une machine à absorption (H₂O-LiBr) à simple et double effet a été présentée, la chaleur nécessaire et les équations de transfert de masse et les équations appropriées décrivant les propriétés des fluides de travail ont été précisées.

Le but de ce travail est d'étudier les performances de la machine d'absorption qui fonctionne avec la solution binaire (H₂O-LiBr) et de connaître sa performance en fonction des différentes températures et des différentes pressions de chaque échangeur.

Le coefficient de performance COP est un critère important pour évaluer la performance du système, en analysant les résultats obtenus grâce à la simulation, on a été atteint.

Chaque élément du cycle de réfrigération à absorption a été simulé à l'aide du programme EES, et les résultats de la variation de pression dans chaque échangeur de chaleur ont été extraits, ainsi que la variation du coefficient de performance su cycle frigorifique a absorption en fonction des différentes températures.

Les résultats ont montré que les cycles à double effet ont un coefficient de performance (COP) plus élevé que le cycle à simple effet permet de fonctionner à des températures plus élevées.

Références bibliographie

- [1] Bernard. MULTON Agrégé de génie électrique et Hamid BEN AHMED, Consommation d'énergie, ressources énergétiques et place de l'électricité Maître de conférences HDR à l'école normale supérieure de Cachan site de Bretagne Chercheur au laboratoire SATIE – CNRS.
- [2] C. BESSALEM, et al. « LES TRANSITIONS ENERGETIQUES A L'HORIZON 2030 ET 2050, LE RETOUR EN GRACE DES SCENARIOS ET DE LA PROSPECTIVE ». Revue Francophone du Développement Durable. (France), vol.67, pp-3-5, n° 19, Mars 2022.
- [3] Site internet : [<https://news.un.org/fr/story/2023/03/1133417>] Consulté le 15/3/2024
- [4] C. BESSALEM, et al. « Les transitions énergétiques a l'horizon 2030 et 2050, le retour en grâce des scenarios et de la prospective ». Revue Francophone du Développement Durable. (France), vol.67, pp-36-37, n° 19, Mars 2022.
- [5] Comité professionnel du pétrole CPDP ; Oil and Gas Journal.
- [6] H.A. Meryem, B.Z. Fadela « Modélisation des composants d'un système de rafraîchissement solaire à absorption ». Université Abou Bekr Belkaid-Tlemcen-2012.
- [7] MEDJELDI ZINEB. « Pour une démarche Haute Performance Énergétique des équipements sanitaires à Guelma ». Université 08 Mai 1945 -Guelma-juin 2018.
- [8] MHU, « La revue de l'habitat », revue d'information du ministère de l'habitat et de l'urbanisme N° 03- Mars 2009, Alger, 74p.
- [9] Site internet : [<https://www.energy.gov.dz/?rubrique=energies-nouvelles-renouvelables-et-maitrise-de-lrenergie>.] Consulté le 16/3/2024
- [10] T, STRANGE, A, BAYLEY ; (2008). LE DÉVELOPPEMENT DURABLE, À la croisée de l'économie, de la société et de l'environnement, édition OECD Insights, 164P.
- [11] Nadia Benalouache. L'énergie solaire pour la production d'électricité au Maghreb : transition énergétique et jeux d'échelles. Géographie. Aix-Marseille ; Université de Sfax 2017. Français.
- [12] KOVATS, R.S., AND HAINES, A., “global climate change and health: recent findings and future steps” *cmaj* [journal de l'association médicale canadienne], 15 FÉVRIER 2005; 172P.
- [13] H.A. Meryem, B.Z. Fadela « Modélisation des composants d'un système de rafraîchissement solaire à absorption ». Université Abou Bekr Belkaid-Tlemcen-

- 2012.
- [14] : Nadia Benalouache. L'énergie solaire pour la production d'électricité au Maghreb : transition énergétique et jeux d'échelles. Géographie. Aix-Marseille ; Université de Sfax 2017. Français.
- [15] H.A. Meryem, B.Z. Fadela « Modélisation des composants d'un système de rafraîchissement solaire à absorption ». Université Abou Bekr Belkaid-Tlemcen-2012.
- [16] Site internet : [<https://www.notre-planete.info/indicateurs/CO2-emissions.php>] Consulté le 16/03/2024
- [17] Site internet : [<https://www.planetoscope.com/co2/261-emissions-mondiales-de-co2-dans-l-atmosphere.html>]. Consulté le 16/03/2024
- [18] Site internet : [<https://ourworldindata.org/co2-emissions>]. Consulté le 16/03/2024
- [19] Dr Fatih Birol Executive Director International Energy Agency.
- [20] Site internet : [<https://www.connaissancedesenergies.org/laie-detaille-les-implications-dun-scenario-de-neutralite-carbone-lhorizon-2050-240320>]. Consulté le 17/03/2024
- [21] Site internet : [<https://www.hellowatt.fr/blog/pays-energies-renouvelables/>]. Consulté le 17/03/2024
- [22] IRENA. (International renewable energy agency) Statistiques de capacité renouvelable 2020.
- [23] E. CHENTOUF, S. BENBRIK « Modélisation de gisement solaire par lois paramétrique dans la zone d'Adrar ». Université Ahmed Draia-Adrar-2022.
- [24] Détermination du gisement solaire par imagerie satellitaire avec -UNIVERSITE AFRICANE AHMED DRAIA- ADRAR -2019
- [25] Francis Cordon, (2012), « Transfert radiatif bilan énergétique », Note du cours, Université Pierre et Marie Curie-Paris 6, France
- [26] KHADRAOUI, z. (2017). Eude d'une centrale solaire thermique. Mémoire de master Université Badji Mokhtar-Annaba.]
- [27] Konrad Mertens, (2014), « Photovoltaics : Fundamentals, technology, and practice», Chichester, Wiley, P. 280 , ISBN 9781118634165.
- [28] Kassewa A., Tchapo.Singo, (2006), « Système d'alimentation photovoltaïque avec, stockage hybride pour l'habitat énergétiquement autonome. », Thèse de Doctorat de l'Université, Henri. Poincaré, Nancy-I.
- [29] H.A. Meryem, B.Z. Fadela « Modélisation des composants d'un système de rafraîchissement solaire à absorption ». Université Abou Bekr Belkaid-Tlemcen-

- 2012.
- [30] LE PHOTOVOLTAÏQUE – MODULE 4 – FACTEURS INFLUENÇANT LA PRODUCTION NOVEMBRE 2010
- [31] Site internet: [<https://fanack.com/ar/algeria/geography-of-algeria/>] Consulté le 18/05/2024
- [32] YASSAA. N. khelif.K. CEREFÉ.(2020) .Rapport.Transition énergétique en algérie : leçons, état des lieux et perspectives pour un développement accéléré des énergies renouvelables.Commissariat aux énergies renouvelables et à l'efficacité énergétique, premier ministre, Alger
- [33] Site internet : [<https://www.energy.gov.dz/?rubrique=energies-nouvelles-renouvelables-et-maitrise-de-lrenergie>.] Consulté le 18/03/2024
- [34] MENHOUDJ, S. (2018). Intégration des systèmes à énergies renouvelables dans le bâtiment : évaluation des performances énergétiques (doctoral dissertation, université Mohamed Boudiaf. Oran
- [35] Ministère de l'Énergie | Algérie (energy.gov.dz)
- [36] CHERIFI.S. HADDAD.M. (2019). L'énergie solaire : un moteur du développement durable en Algérie les cahiers du Cread, vol. 35 - n° 03
- [37] FEKRAOUI. A et ABOURICHE. M. Ressources Géothermiques du Nord de l'Algérie.
- [38] SAÏAH, B. D. S. (2017). Analyse prospective de la production de l'énergie électrique en Algérie. Doctoral dissertation, université Mohamed Boudiaf. Oran.
- [39] : Olivier PERROT, « Cours de Machine Frigorifique », I.U.T. de Saint-Omer Dunkerque, 2011.
- [40] : Bulletin N°2002-1 Institut International du Froid historique (IIF).
- [41] : M. Duminil. Théorie des machines frigorifiques, Machine à compression mécanique B 9 730, traité Génie énergétique, Techniques de l'Ingénieur, (1996).
- [42] : CHekirou Wassila, Etude et analyse d'une machine frigorifique solaire à adsorption, thèse de doctorat, Université Mentouri, Constantin, 2008.
- [43] : Francis MEUNIER, Paul RIVET ; Marie-France ; TERRIER « Froid industriel » ; 2005.
- [44] : Farid Belfodil, Mémoire de magister Génie Mécanique (Élaboration d'un Programme pour le Calcul des Paramètres Thermodynamiques et Énergétiques des Nouveaux Fluides Frigorigènes et Application au Calcul des Cycles Frigorifiques).

- Université Ibn Khaldoun -Tiaret- 2007.
- [45] : Mouad Diny. « Etude du fonctionnement d'une machine frigorifique a adsorption modélisation des transferts de chaleur et de masse et optimisation du fonctionnement de la machine ». Thèse de doctorat Mécanique et Energétique, Université Henri Poincaré- Nancy1.
- [46]: X. Zhai, M. Qu, Y. Li et R. Wang, « A review for research and new design options of solar absorption cooling systems, » *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 15, pp. 4416-4423, 2011.
- [47]: T. Ishibashi, « The operation results of the Yazaki experimental solar house, » chez *Silver Jubilee Congress of ISES*, Atlanta, USA, 1979.
- [48] : R. Daoudi, Thermo frigo pompe à absorption à eau –bromure de lithium pour hautes température : Modélisation, conception, et analyse exégétique, thèse de doctorat, INPL, 1999.
- [49] :S. Aprhornratana et I. W. Eames, « Thermodynamic analysis of absorption refrigeration cycles using the second law of thermodynamics method », *Int. J. Refrig.*, vol. 18, no 4, p. 244 - 252, mai 1995.
- [50] : F. Yettou1, A. Gama, C. Hamouda et A. Malek, *Revue des Energies Renouvelables* (2008).
- [51] : ALIANE Abd-Ennour « Utilisation de l'énergie solaire thermique pour la production du froid » Mémoire de Doctorat : Energétique. Université Aboubakr Belkaïd – Tlemcen –2019.
- [52] : TIERNEY M.J, options for solar-assisted refrigeration trough collectors and double effect chillers, *renewable energy*, 2007
- [53]: Handbook. ASHRAE, HVAC Systems and equipment, American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Atlanta, 2012.
- [54]: Sarbu I, Sebarchievi. C, Review of solar refrigeration and cooling systems. *Energy Building* 67 (2013) 286-97.
- [55] : Mouad Diny. « Etude du fonctionnement d'une machine frigorifique a adsorption modélisation des transferts de chaleur et de masse et optimisation du fonctionnement de la machine ». Thèse de doctorat Mécanique et Energétique, Université Henri Poincaré- Nancy1.
- [56] : Chekirou. W, Étude et analyse d'une machine frigorifique solaire à adsorption, thèse de

- doctorat, Constantine, 2008.
- [57] : W. Chekirou., « Étude et analyse d'une machine frigorifique solaire à adsorption ». Thèse de doctorat- Constantine- 2008.
- [58] : D.S KIM, C.A INFANTE Ferreira, solar refrigeration options, a state of the art review,international journal of refrigeration, 2008.
- [59] : D. MOHAMED « Etude d'une machine frigorifique a absorption NH₃/H₂O ». Mémoire de Master : Energétique. Université Badji Mokhtar-ANNABA-2016.
- [60] : Hamdouche.K., « Modélisation des propriétés thermodynamiques des fluides frigorigènes ».2004.
- [61] : A. Riad H. Amir. « Étude et dimensionnement d'une chambre froide - CEVITAL ELKSEUR Bejaia » Mémoire de Master : Energétique. Université Abderrahmane Mira-BEJAIA-2019.
- [62] : L. Mohammed et D. Sofiane « Etude des Fluide frigorigène de Substitution » Mémoire de Master : Energétique. Université Kasdi Merbah -Ouargla-2021
- [63] : Francis MEUNIER, Paul RIVET ; Marie-France ; TERRIER « Froid industriel » ; 2005.
- [64] : Zoubeyr, «M.Etude et Modélisation des fluides frigorigifiques » -Doctoral dissertation, université de batna -2- 2015.
- [65] : K. E. Herold, R. Radermacher et S. A. Klein, « ABSORPTION CHILLERS ANDHEAT PUMPS », Nex York : CRC Press, 2016.
- [66] : G.A Florides, S.A. Kalogirou, S.A. Tasso, L.C. Wrobel « Design and constructionof a LiBr-water absorption machine », Energy conversion management, 2003.
- [67] Bennoui Mohamed Salah, Optimisation Des Procédés De Climatisation Solaire, thèse de magister, Université de Constantine 2013.
- [68] : Sun D.W, Variable geometry ejectors and their applications in ejector refrigeration systems Energy, 1996.
- [69] : Michel Wakim. Etude des machines à absorption pour la valorisation de la chaleur fatale basse température. Thermique [physics.class-ph]. PSL Research University, 2017. Français.

المخلص

يتم الحصول على التبريد، سواء لتكييف الهواء في المنازل أو لحفظ المنتجات المختلفة (الأغذية، والمستحضرات الصيدلانية، وما إلى ذلك)، بشكل عام بواسطة آلات تعمل بدورة الضغط والتمدد. وتستهلك هذه الآلات كمية كبيرة من الكهرباء، كما أنها ملوثة للبيئة في نهاية المطاف. وقد أسفرت جهود الباحثين للقضاء على هذه العيوب عن ظهور منشآت جديدة تستخدم الطاقة الشمسية لإنتاج البرودة.

وفي هذا العمل، بدأنا في دراسة نمذجة ومحاكاة لآلة تبريد بالامتصاص أحادية المفعول ومزدوجة المفعول تعمل بالزوج الثنائي (H₂O/LiBr)

تم تحليل تأثير درجات حرارة التشغيل لكل مكون على معامل الأداء وكفاءة النظام.

تم عرض النتائج التي تم الحصول عليها ومناقشتها.

الكلمات المفتاحية: آلة الامتصاص، الطاقة الشمسية، آلات التبريد، معامل الأداء.

Abstract

Refrigeration, whether for air-conditioning of homes or preservation of various products (food, pharmaceuticals, etc.), is generally obtained by machines operating on a compression-expansion cycle. These machines consume a considerable amount of electrical energy and are the ultimate polluters of the environment. Researchers' efforts to eliminate these drawbacks have resulted in the emergence of new systems that use solar energy to produce cold.

In this work, we have undertaken a modeling and simulation study of a single-acting and double-acting absorption refrigeration machine operating with the binary couple (H₂O/LiBr).

The effect of the operating temperatures of each element on the system's coefficient of performance (COP) and efficiency was analyzed. The results obtained are presented and discussed.

Key-words : Absorption machine, Solar energy, Refrigeration machines, Coefficient of performance.

Résumé

Le froid, que ce soit pour la climatisation des habitats ou la préservation des différents produits (alimentaires, pharmaceutiques etc.), s'obtient généralement par des machines fonctionnant suivant un cycle compression-détente. Ces dernières sont caractérisées par une consommation considérable d'énergie électrique et sont des pollueuses par excellence de l'environnement. L'effort des chercheurs pour éliminer ces inconvénients s'est soldé par l'émergence de nouvelles installations qui usent de l'énergie solaire pour la production du froid.

Dans ce travail nous avons entamé une étude de modélisation et de simulation d'une machine frigorifique à absorption simple effet et double effet fonctionnant avec le couple binaire (H₂O/LiBr).

L'effet des températures de fonctionnement de chaque élément sur le coefficient de performance (COP) et l'efficacité du système a été analysé. Les résultats obtenus sont présentés et discutés

Mots clés : Machine à absorption, Energie solaire, Machines frigorifiques, COP