

UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA



N° d'ordre :

N° de série :

FACULTE DES SCIENCES APPLIQUEES

DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE

MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du diplôme de

MASTER

Spécialité: Génie Mécanique

Option: Énergétique

Présenté par:

MESSAOUDI ABOUBAKER & BOUALI MOHAMED CHERIF

- Thème -

UTILISATION DU GAZ NATUREL DANS LA PRODUCTION DE FROID

Soutenu publiquement

Le: 07/06/2015

Devant le jury:

M. Bencheikh Kamel	Université kasdi merbah Ouargla	Président
Mlle. Rahmouni Soumia	Université kasdi merbah Ouargla	Examinatrice
M. Guermit M ^{ed} Taher	Université kasdi merbah Ouargla	Encadreur

ANNÉE UNIVERSITAIRE: 2014/2015

Remerciement

En premier lieu, nous tenons à remercier notre Dieu, notre Créateur, pour le courage et la patience qu'il nous donné pour Accomplir ce travail.

*Nous remercions notre encadreur **Mr Guermit Med Taher** pour ses orientations et conseils. Nous tenon à notifier un remerciement Spécial à tous mes professeurs qui ont contribué à notre formation de Master.*

Nous tenons aussi à exprimer nos profonds remerciements au membres de jury qui ont accepté de jury ce modeste travail.

Nous tenons aussi à remercier nos enseignants de département de Génie mécanique pour la formation que nous avons reçue.

Nos derniers remerciements et qui ne sont pas les moindres, vont À tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour l'aboutissement De ce travail.

MESSAOUDI & BOUALI

Dédicace

Tout d'abord, Je dédie cet évènement à la mémoire de mon père disparu trop tôt.

Mohamed Salah Bouali

J'espère que, de là où il est, il apprécie ce geste comme preuve de reconnaissance de la part de son fils cadet qui a réaliser ce que son père souhaitait, et qu'il y est arrivé. Puisse Dieu, le tout puissant, lui accorder le paradis !

Je dédie également cette thèse à ma chère mère & à ma grande mère.

À toute la famille Bouali, ainsi que la famille Mezouar.

À mes frères et je nomme personnellement, Kamel, Rachid, et leurs épouses, sans oublier Mohamed Ali et Taki Eddine.

À mes sœurs, leurs époux (Saïd, Djamel et Yousef) et leurs enfants respectifs sont également remerciés pour leurs soutiens continus tout au long de mes études.

À tous mes oncles et tantes.

À mes cousins, Abd elhamid, Redhouane, Sofiane, Aissa, Abd elnour, Moussa, à mes cousines et à tous les autres qui ont été présent de près comme de loin.

À mes amis(e), Rahim, Ramzi, Abd elbasset, Mourad, Abd elmoumeim, Mohamed islam, Mohamed yassine, Ahmed toufik, Abd elwahab, Abd elmoudjib, Nadhir, Walid, hamza, Djamel, Djilali, Yasser, Saad, Lamine,

Et Inaam.

Enfin, je saisirai aussi cette occasion pour prononcer un mot de gratitude à notre encadreur, Monsieur M^{ed} Taher Guermit qui ont à contribué d'une manière ou d'une autre à l'élaboration de ce travail et à l'ensemble de mes professeurs et collègues qui ont contribué à la mise à pieds de ce projet.

Qu'il me soit permis de présenter ici mes remerciements à mon entourage, famille, amis, professeurs et voisin, qui ont rendu possible la présente thèse et qui ont contribué à son élaboration sous n'importe quelle forme.

Mohamed Cherif Bouali .

Dédicace

*J'ai le grand honneur de dédier ce travail à celui qui fait
de moi un homme, Ma très chère mère et mon très cher
père **Tedjani.***

Et

*A Ma chère sœur et à mes frères : **Lamri, Fathi, Skire, Khaled, Yusuf,
Hocine.***

*A toute ma famille **Messaoudi.***

*A notre Encadreur **Guermit Taher.***

*A tous mes amis: **Abdallah, Aziz, Omar, Sofiane, Lokman,
Abdakhalek, Habib, Bahi, Ali, Zaki, Amine, Hocine, Mohamed,
Walid, Mourad.***

A tous ceux qui sèment le bonheur sur mon chemin.

*A toutes les enseignantes et tous les enseignants de génie
mécanique et Tous le groupe **M.E.***

*A tous les habitants de **Djamaa.***

A tous ceux que j'aime.

Aboubaker Messaoudi

ملخص

يضمن هذا العمل دراسة على أجهزة التبريد بالنمطين, الميكانيكي المعتمد على الضاغط الكهربائي وجهاز التبريد بالامتصاص حيث تتركز الدراسة على اختيار الغاز الطبيعي و استغلاله كمصدر طاقي مباشر في مجال التبريد في هذا الجهاز هذه الأخيرة التي تشكل موضوع بحث العديد من الباحثين باعتبارها خاصة بالمحيط, و من هذا المنطق عمدنا إلى إعداد حسابات الديناميكا الحرارية بهدف تقييم فعالية الجهازين و دراسة تكلفة الكل منهما, النتائج المتحصل عليها كانت معقولة في بعض الحالات أين سجلنا قيم جيدة لفعالية الجهاز ويمكن أن نعتبرها مشجعة لتطوير هذا الجهاز الذي يعد أن يكون بديل من جهة يقضي على مشكلة الضغط في استهلاك الكهرباء و مربح اقتصاديا نظرا لتكلفة الكهرباء الباهظة مقارنة مع الغاز الطبيعي خاصة في بلادنا و من جهة أخرى فعال مجال الطاقة و البيئة.

الكلمات المفتاحية

جهاز التبريد الميكانيكي - جهاز التبريد بالامتصاص - معامل فعالية - الغاز الطبيعي - التكلفة

RESUME

Le présent travail concerne une étude sur les machines frigorifique à compression mécanique qui basé sur compression mécanique entrainé par un moteur électrique, et les machines à absorption, où ce travail est axé sur le choix du gaz naturel comme source direct dans l'espace de réfrigération, de cette logique on a présenté des calculs thermodynamique générale des deux machines. Les résultats obtenus montrent des bonnes valeurs du coefficient de performance de cette nouvelle configuration de la machine frigorifique à absorption, et l'étude de coût de chaque un, on peut considérer qu'il est encourageant pour le développement de ce dispositif, qui promet d'être une alternative d'une part d'éliminer la pression dans le secteur d'électricité, et qui promet aussi d'être assez performante point de vue économique et énergétique et coté environnement.

Mots clés

Machine à compression mécanique - Machine à absorption - COP - Gaz nature - coût

ABSTRACT

The present work concerns a study on mechanical compression refrigeration machines that based on the electric compressor, and absorption machine, were this work is focused on choosing natural gas as a direct source in the refrigeration space, this logic was present general thermodynamic calculations of the two machines. The results show that quite good values of the coefficient of performance of the new configuration of the absorption refrigeration machine and the study of the cost of each one, we can consider it encouraging for the development of this device, which promises to be an alternative one hand to eliminate the pressure in the electricity sector, and promises to be quite powerful economic and energy point of view and side environment.

Keywords

Mechanical compression machine - Absorption machine - COP - Natural gas - COST

Sommaire

Remerciement

Dédicace

Résumé

Liste des figures

Liste des tableaux

Nomenclature

Recherche bibliographique

Introduction générale 1

Chapitre I: Procèdes de production du froid

I.1	Introduction	3
I.2	Principe de froid	3
I.3	Production de froid	4
I.4	Froid et développement durable	4
I.4.1	Action des frigorigènes	4
I.4.2	Action énergétique	5
I.4.3	Action globale TEWP	5
I.5	Système frigorifique à compression mécanique	5
I.5.1	Principe de fonctionnement	5
I.5.2	Représentation du cycle frigorifique à compression mécanique	6
I.5.3	Avantages et inconvénients d'une installation frigorifique à Compression mécanique	7
I.5.4	Utilisation de propane comme fluide frigorigène	7
I.6	Système frigorifique à absorption	9
I.6.1	Historique d'une installation frigorifique à absorption	9
I.6.2	Description des installations frigorifique à absorption	10
I.6.3	Principe de fonctionnement	10
I.6.3.1	Système à absorption à simple effet	10
I.6.3.2	Installation frigorifique à absorption à double effet	11
I.6.3.3	Système à absorption à plusieurs effets	11

I.6.4	Principe de fonctionnement d'une installation à absorption Avec une solution de NH ₃ /H ₂ O	12
I.6.5	Principe de fonctionnement d'une installation à absorption double effets Avec une solution de H ₂ O/BrLi	13
I.6.6	Avantages et inconvénients d'une installation frigorifique à absorption	13
I.6.7	Les couples utilisés pour les systèmes à absorption	14
I.6.7.1	Caractéristique de couple binaire	14

Chapitre II: Le Gaz naturel utilise comme source d'énergie dans la machine frigorifique À absorption

II.1:	Introduction	15
II.2	Définition	15
II.3	Genèse du gaz naturel	15
II.4	Formes de gaz naturel	16
II.5	Types de gisement	17
II.6	Présentation du gaz naturel	17
II.7	Usages du gaz naturel	20
II.7.1	Industriel	18
II.7.2	Résidentiel et tertiaire	19
II.7.3	Secteur d'automobile	19
II.8:	Convergence gaz électricité	19
II.9:	Transport du gaz naturel	20
II.10:	Aspects géopolitiques	20
II.11:	Production mondiale du gaz naturel	21
II.12	Demande potentielle d'énergie et de gaz	22
II.13	Répartition mondiale des réserves	22
II.15	Reserve de gaz naturel en Algérie	23
II.14	Production de gaz naturel en Algérie	24
II.17	Consommation nationale par forme d'énergie	25
II.18	Consommation de gaz naturel en Algérie	26
II.16	L'exportations de gaz naturel en Algérie	27
II.19	Scénario référence de gaz naturel en Algérie	27

Chapitre III: Résultats et discussions

Partie 1: Méthodologie de calcul

III.1.1	Système frigorifique à compression mécanique	28
	III.1.1.2 Exemple de calcul d'un système frigorifique à compression mécanique simple	29
III.1.2	Système frigorifique à absorption	30
	III.1.2.1 Exemple de calcul d'un système frigorifique à absorption	32

Partie 2: Interprétation des résultats

III.2.1	Interprétation des résultats	34
	III.2.1.1 Système frigorifique à compression	34
	III.2.1.2 Système frigorifique à absorption	36
III.3	Comparaison des Coûts de consommation d'électricité et du gaz naturel Pour La production du froid	37

	Conclusion générale	40
--	----------------------------	----

Références bibliographiques

Annexe I

Annexe II

Liste des figures

Figure N°	Titre	Page N°
Figure I.1	Principe de froid	3
Figure I.2	Schéma d'une installation frigorifique à compression mécanique	6
Figure I.3	Cycle théorique d'une installation frigorifique à compression mécanique	6
Figure I.4	Schéma d'une installation frigorifique à absorption à simple effet	10
Figure I.5	Schéma d'une installation frigorifique à absorption à double effet	11
Figure I.6	Schéma d'un système frigorifique à absorption avec Une solution de NH ₃ /H ₂ O	12
Figure I.7	Schéma d'une installation à absorption double effets avec Une solution de H ₂ O/BrLi	13
Figure II.1	Répartition des réserves de gaz naturel dans le monde	23
Figure II.3	Réserve de gaz naturel en Algérie	23
Figure II.4	Répartition des réserves gazières en Afrique	24
Figure II.2	Production de gaz naturel en Algérie	24
Figure II.5	Répartition de la consommation nationale par forme d'énergie	25
Figure II.6	Consommation de gaz naturel en Algérie	26
Figure II.7	Structure de la production d'énergie primaire	26
Figure III.1	Cycle théorique d'une installation frigorifique à compression mécanique	28
Figure III.2	Cycle d'un Système frigorifique à absorption	30
Figure III.3	Influence de la température du l'évaporateur sur le COP	34
Figure III.4	Influence de la température du condenseur sur le COP	35

Figure III.5	Influence de la puissance théorique sur le COP	36
Figure III.6	Influence de puissance de bouilleur sur le COP	37
Figure III.7	Comparaison entre le coût d'électricité et de gaz	39

Liste des tableaux

Tableau N°	Titre	Page N°
Tableau I.1	Spécification de propane comme fluide frigorigène	7
Tableau I.2	Caractéristiques de propane comme fluide frigorigène	8
Tableau I.3	Couples utilisés pour les systèmes à absorption	14
Tableau II.1	Composés du gaz	18
Tableau II.2	Liste des pays par production de gaz naturel	21
Tableau II.3	Offre potentielle de gaz - Scénario haut	22
Tableau II.4	Scénario référence de gaz naturel en Algérie	27
Tableau III.1	Coût d'électricité en utilisant la compression mécanique Pour différent valeurs de COP	38
Tableau III.2	Coût de gaz en utilisant un système à l'absorption Pour différent valeurs de COP	38

Nomenclature

Symboles

Q_C :	Quantité de chaleur chaud	[kw]
Q_F :	Quantité de chaleur frigorifique	[kw]
SC:	Surs chauffée	
SF:	Surs froid	
P_C :	Pression condenseur	[kpa]
P_E :	Pression évaporateur	[kpa]
P_0 : BP:	Base pression	[kpa]
P_1 : HP:	Haut pression	[kpa]
P :	Pression	[kpa]
T :	Température	[°C]
H :	Enthalpie	[kJ/kg]
S :	Entropie	[kJ/kg.K]
T_C :	Température du condenseur	[°C]
T_E :	Température du l'évaporateur	[°C]
T_A :	Température du l'absorbeur	[°C]
T_G :	Température du générateur	[°C]
Q_m :	Débit massique	[kg/s]
Q_{msr} :	Débit massique de solution riche	[kg/s]
Q_{msp} :	Débit massique de solution pauvre	[kg/s]
W_m :	Travail mécanique	[kJ/kg]

Indices

a:	absorbeur
c:	condenseur
e:	évaporateur
l:	liquide
p:	pauvre
r:	riche
v:	vapeur

Abréviations

FF:	Fluide frigorigène
CFC:	Chlorofluorocarbures
HCFC:	Hydrochlorofluorocarbures
ODP:	Ozone Depletion Potential
GWP:	Global Warning Potential
GOR:	Gas oil ratio
CCGT:	Combined Cycle Gas Turbines
GNL:	Gaz naturel liquéfié
EAU:	Émirat Arabes Unis
BP:	British Petroleum
OPEC:	Organization of the Petroleum Exporting Countries
Tep :	Tonne équivalent pétrole
Mds:	Milliards
USD:	Dollar des États-Unis
Bcm:	Billion cubic metres
Gm³:	Giga mètres cube

Recherche bibliographique:

- (*Mouad Diny, 1996*) Etude du fonctionnement d'une machine frigorifique à adsorption modélisation des transferts de chaleur et de masse et optimisation du fonctionnement de la machine.
- (*Denis Perrin, Rémy Pittet, 2002*) Les machines frigorifiques à absorption.
- (*Farid Belfodil, 2007*) Élaboration d'un programme pour le calcul des paramètres thermodynamiques et énergétiques des nouveaux fluides frigorigènes et application au calcul des cycles frigorifiques.
- (*Lakroune Abdelghani, 2008*) Nouveaux mélanges frigorigènes pour les pompes à chaleur, les couples de fluides étudiés NH₃/LiNO₃ et NH₃/NaSCN en plus des couples classiques : c'est-à-dire NH₃/H₂O et H₂O/LiBr.
- (*Chekirou Wassila, 2008*) Etude et analyse d'une machine frigorifique solaire à adsorption. Ce travail concerne l'étude et l'analyse par simulation numérique d'une machine frigorifique solaire à adsorption utilisant le couple charbon actif AC
- (*Noël Jabbour, 2011*) Intégration des systèmes à absorption solaire de petites puissances aux bâtiments - approche multifonction solaire : ECS et rafraîchissement.
- (*Larkeche Oussila, 2012*) Modélisation d'une machine frigorifique à absorption : Application des équilibres de phases. Le présent travail concerne la modélisation de la performance d'une nouvelle configuration de la machine frigorifique à absorption basée sur la séparation de phases, utilisant les modèles UNIFAC et NRTL pour le calcul des équilibres de phases tels que les équilibres liquide/liquide, liquide/vapeur dans les différents compartiments de la machine.
- (*S.Kherri, D. Zebbar, M. Makhlof, S. Zebbar, K. Mostefa 2012*) Etude et analyse d'une machine frigorifique à absorption-diffusion solaire NH₃-H₂O-H₂. Cet article est consacré à la modélisation mathématique d'un système frigorifique solaire en vue de déterminer ses paramètres énergétiques.
- (*Pinazzo José manuel, Ruiz Valeriano, Canada Javier, 2012*) Installation frigorifique d'absorption appuyée par énergie solaire.
- (*Hadj Imad, Bensidhoum Abdelkader, 2013*) Contribution à l'amélioration des Performances des installations à réfrigération solaire à absorption. L'objectif de ce mémoire est le calcul d'une installation de réfrigération à absorption à base solaire pour but d'amélioration de COP, Leur travail est basé sur des changements sur l'installation elle-même (simple effet et double effet).

- (*Amziane Mohamed Amziane, 2014*) Etude comparative entre les systèmes de climatisation classiques et solaires application à la climatisation d'un immeuble .Le but de ce travail est de présenter la mise en place de la simulation et de comparer entre une installation de climatisation solaire et une installation de climatisation classique.

Introduction Générale

La recherche de meilleures conditions de vie et de confort a conduit l'homme à une intensification de consommation de l'énergie sous ses différentes formes (pétrole, gaz, charbon, électricité, etc.). Cette tendance a engendré des effets néfastes pour la planète tels que la pollution de l'atmosphère, l'effet de serre, la désertification, la fonte des glaciers, la perforation de la couche d'ozone, etc.

La prise de conscience mondiale des dangers qui guettent la terre, a conduit les chercheurs et les industriels à développer des modes d'utilisation rationnelle et efficace de l'énergie dans les procédés industriels.

Dans ce contexte, la revalorisation des chaleurs résiduelles générées par de nombreux procédés industriels, par le biais des machines de refroidissement, est une mesure attractive aux niveaux énergétique et économique.

Pour atteindre cet objectif, deux catégories des machines frigorifiques peuvent être envisagées:

- Les machines frigorifique à compression;
- Les machines frigorifique à absorption;

Les machine frigorifique a compression sont les plus répandues, ce qui relègue les deux autres types à des utilisations limitées voir marginales. Mais l'interdiction récente de l'utilisation des CFC comme fluides de travail dans les pompes à chaleur à compression mécanique, à cause de leurs implications dans la destruction de la couche d'ozone a offert une perspective de développement des machines frigorifiques à absorption.

Partant de ces considérations, ce travail s'inscrit dans l'axe du développement de la machine frigorifique à absorption ainsi que la recherche de fluides frigorigènes alternatifs et moins agressifs envers l'environnement.

L'objectif de ce travail est d'utiliser le gaz naturel pour la production du froid en utilisant une machine frigorifique à absorption, qui utilise des fluides frigorigènes qui n'ont pas d'effets néfastes sur l'environnement, et diminuer la consommation de l'énergie électrique.

Le premier chapitre présente des notions sur les deux machines frigorifiques.

Le deuxième chapitre présente le gaz naturel qui est la source principale utilisée pour la production du froid dans cette étude.

Le troisième chapitre présente les méthodes des calculs des deux systèmes avec des résultats obtenus ainsi que leurs discussions.

Finalement le travail est clôturé par une conclusion générale.

CHAPITRE

I

❖ Procèdes de production du froid

I.1 Introduction:

Fournir du froid à un corps ou à un milieu c'est lui extraire de la chaleur ce qui se traduit par un abaissement de sa température et aussi bien souvent par des changements d'états : condensation, solidification, etc. Ce sont ces effets du froid qui sont dans leur grande diversité au service de l'homme moderne. Les machines frigorifiques permettent moyennant un apport énergétique d'extraire de la chaleur aux milieux à refroidir. Elles rejettent cette chaleur accompagnée de l'équivalent thermique de l'énergie reçue à température plus élevée dans le milieu ambiant. Ces machines peuvent aussi être utilisées comme systèmes de chauffage.

I.2 Principe de froid:

Le but recherché est l'extraction de chaleur d'un corps, ou d'un milieu, pour le refroidir ou le maintenir à une température inférieure à celle de l'ambiance, le système qui effectue cette opération prend naturellement le nom de machine frigorifique. L'effet utile est la chaleur extraite (ou le froid produit) à la source froide (Figure I.1). [1]

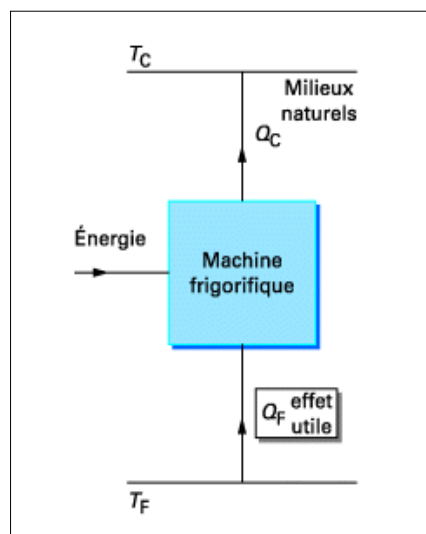


Figure I.1: Principe de froid

I.3 Production de froid:

L'homme s'est rapidement rendu compte que les denrées périssables pouvaient être mieux conservées en hiver qu'en été, d'où l'idée d'utiliser du froid par le biais de la production de la glace, de manière naturelle sans l'usage de machines. Cette glace était généralement ramenée de régions froides ou à forte gelée en hiver et conservée dans des glaciers dont les parois sont thermiquement isolantes. Le fait de constater que le mélange de certains sels avec l'eau abaisse notablement la température, a aussi permis d'entrevoir des possibilités de production de froid.

Toutes ces idées simples et naturelles, accompagnées de l'approfondissement des connaissances en thermodynamique pour la production de la chaleur et du froid ont encouragé la mise au point des premières machines frigorifiques. [2]

I.4 Froid et développement durable:

Les machines frigorifiques, toutes applications confondues, consomment à elles seules 15 % de l'énergie électrique totale disponible dans les pays industrialisés. Mais en plus, elles « consomment » des fluides frigorigènes, dont certains ne sont pas innocents vis-à-vis du climat de la planète. [4]

I.4.1 Action des frigorigènes:

L'influence des fluides frigorigènes sur l'environnement s'exerce de deux manières :

- une action participative et destructive de la couche d'ozone, par les CFC (chlorofluorocarbures) et les HCFC (hydrochlorofluorocarbures), du fait de la présence de chlore dans leur molécule. Cette action (moindre pour les HCFC) est caractérisée par l'ODP (Ozone Depletion Potential). La production des CFC est interdite depuis 1998 ; il semblerait que ; depuis, le « trou d'ozone » se soit stabilisé ;
- un effet réverbératif des HCFC et HFC (hydrofluorocarbures), dénommé « effet de serre », caractérisé par le GWP (Global Warning Potential) qui contribue au réchauffement planétaire. [4]

I.4.2 Action énergétique:

Pratiquement toutes les machines frigorifiques à compression de vapeur utilisent de l'énergie électrique produite, pour l'essentiel, par des centrales consommant des énergies d'origines : fossile, hydraulique ou nucléaire. Suivant sa politique énergétique, chaque nation utilise des proportions plus ou moins importantes de ces ressources. La combustion des produits fossiles (gaz, houille, pétrole) pour produire de l'électricité, dégage des quantités plus ou moins importantes de CO₂. [4]

I.4.3 Action globale TEWP:

Cette action résulte de la somme de l'impact de la molécule, considérée comme GES (gaz à effet de serre), et celui de la consommation énergétique, étendue à la durée de vie de la machine, traduite en production de tonnes de CO₂. Elle est caractérisée par le TEWP (Total Equivalent Warming Potential), qui fait apparaître l'importance de la qualité du système en matière de confinement et d'utilisation optimale de l'énergie. Ce dernier facteur joue à la fois sur la qualité énergétique du système et sur le mode de production de l'énergie électrique (fossile, hydraulique, nucléaire ou autre). [4]

I.5 Système frigorifique à compression mécanique:

I.5.1 Principe de fonctionnement:

Le système frigorifique à compression de vapeur le plus courant fonctionne grâce à un frigorigène situé dans un circuit fermé comprenant un compresseur, un condenseur, un organe de détente, un évaporateur et des tuyauteries de raccordement (Figure I.2).

La vapeur du frigorigène comprimée à haute pression est condensée à haute température dans le condenseur par transfert de chaleur (Q_C) vers le milieu environnant.

La pression du frigorigène à l'état liquide est réduite dans le détendeur. A basse pression et basse température, le frigorigène se vaporise, ce qui permet d'extraire la chaleur (Q_F) de la substance à refroidir. Pour compléter le cycle, à la sortie de l'évaporateur, la vapeur du frigorigène à basse pression est comprimée et portée à haute pression par le compresseur. La chaleur totale rejetée au niveau du condenseur correspond à la somme de la chaleur extraite à l'évaporateur et de l'énergie (w_m) consommée par le compresseur. [5]

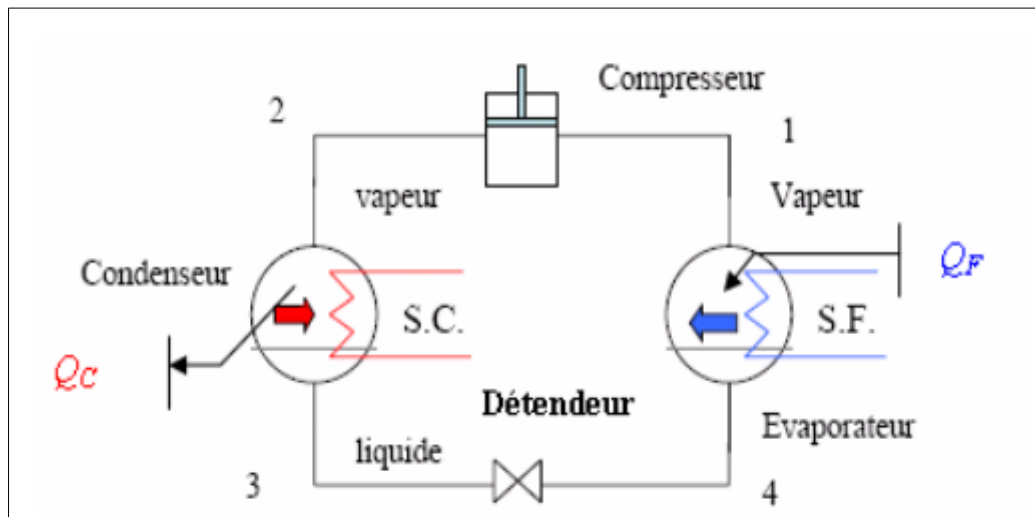


Figure I.2: Schéma d'une installation frigorifique à compression mécanique

I.5.2 Représentation du cycle frigorifique à compression mécanique:

Le cycle frigorifique est composé des transformations suivantes:

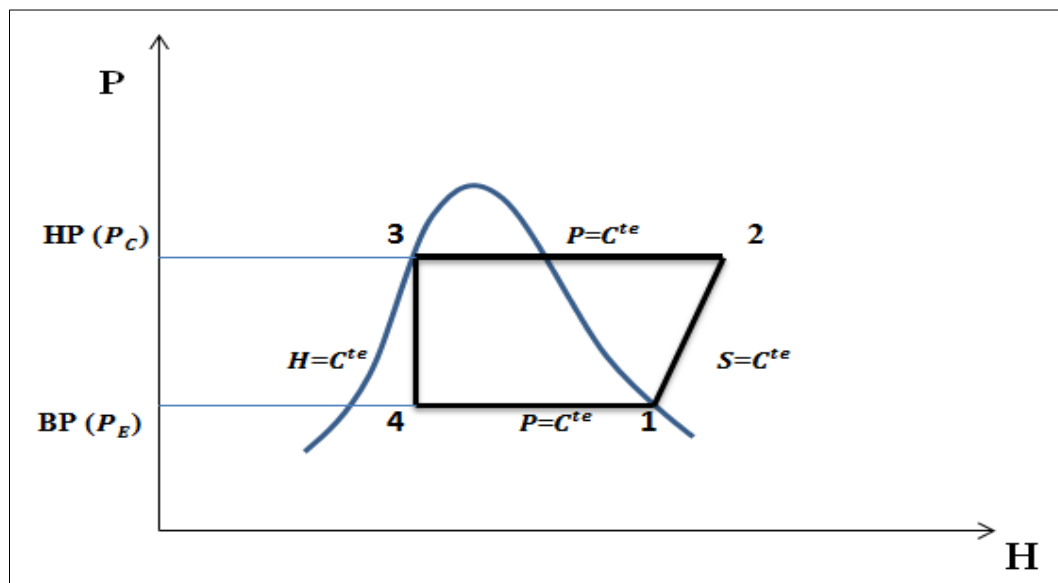


Figure I.3: cycle théorique d'une installation frigorifique à compression mécanique

- 1 → 2** Compression: augment la pression fluide frigorigène de P_E (BP) à la pression P_C (HP) (transformation isentropique).
- 2 → 3** Condensation: le gaz frigorigène réchauffé, cède une partie de ses calories au milieu chaud (dont la température est moins élevée) et se transforme au fur et à mesure en liquide (transformation isobare).
- 3 → 4** Détente: diminue la pression condensation à la pression évaporation (transformation isenthalpique).

4 → 1 L'évaporation: sa température étant plus basse que celle du milieu froid, le fluide en capte les calories, se transforme progressivement en vapeur et le cycle recommence (transformation isobare).

I.5.3 Avantages et inconvénients d'une installation frigorifique à compression mécanique:

- **Avantagées:**

- ✓ Très bon coefficient de performance.
- ✓ Simplicité du cycle et de machine.
- ✓ Bonne sécurité d'emploi, mais avec les frigorigènes actuels qui sont mis en accusation.
- ✓ Variation de puissance facile à mettre en œuvre.

- **Inconvénients:**

- ✓ L'énergie consommée par ce système est coûteuse.
- ✓ Utilisation d'une machine tournante entraînant des bruits et maintenance fréquente.
- ✓ Problèmes posés par certains frigorigènes, polluants. [6]

I.5.4 Utilisation de propane comme fluide frigorigène:

Le R290 est un propane utilisé comme fluide frigorigène.

a. Performances:

De très haute pureté (> 99,5 %), le R290 assure une longue durée de vie au matériel en contact avec le produit.

b. Spécifications:

Le tableau suivant montre les caractéristiques standards avec leurs valeurs limites :

Caractéristiques standards	Valeurs limites
Aspect	clair
Tension de vapeur à 20 °C	7,3 ± 0,2 bar
Composition :	
propane	≥ 99,5 % volume
isobutane	≤ 0,40 % volume
n-butane	≤ 0,15 % volume
Insaturés C4	≤ 0,01 % volume
propylène	≤ 0,04 % volume
Odeur	sans
Teneur en eau	≤ 0,0012 % volume

Tableau I.1 Spécification de propane comme fluide frigorigène [27]

c. Caractéristiques:

Le tableau I.2 présente les caractéristiques de propane comme fluide frigorigène:

		Unités	Valeurs
Formule chimique			$\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_3$
Masse molaire		g/mol	44,09
Température d'ébullition	sous 1,013 bar	°C	-42,1
Masse volumique du liquide	à 20°C	kg/dm ³	0,500
Masse volumique de la vapeur	à 20°C	kg/dm ³	0,018
Pression absolue	à 20°C	bar	8,5
Température critique		°C	96,67
Pression critique	absolue	bar	42,50
Tension superficielle (interface liquide/vapeur)	à +10°C	dyne/cm ⁻¹	8,35
	à -50°C		13,59
Limite inférieure d'inflammabilité	dans l'air à 20°C	% en volume	2,2
Limite supérieure d'inflammabilité	sous 1,013 bar		9,5
Température d'auto-inflammation		°C	480

Tableau I.2 Caractéristiques de propane comme fluide frigorigène [27]

d. Conditions d'utilisation

Le personnel qui manipule ce produit doit recevoir une formation sur ses risques et les mesures préventives.

✓ **Le R290 est compatible avec :**

- Les matériaux plastiques :

- Polyuréthane
- Chlorure de polyvinyle (PVC)
- Polyamide

- Les matériaux élastomères :

- Butadiène nitrile acrylique (BUNA)

- Tout métal classique comme :

- Acier ordinaire

✓ **Le R290 est incompatible avec :**

- Polyéthylène
- Polystyrène
- Polyisobutylène [27]

I.6 Système frigorifique à absorption:

I.6.1 Historique d'une installation frigorifique à absorption:

Le principe de refroidissement par absorption a été démontré vers la fin du 19^{ème} siècle(1859), mise au point par un français, FERDINAND Carré, le fluide utilisé est un mélange binaire, il se compose d'eau et d'acide sulfurique, mais le fonctionnement se faisait de façon discontinue. Dix ans plus tard, FERDINAND Carré a adopté le mélange (eau/ammoniac) et il a obtenu par la même occasion un fonctionnement continu.

- Vers 1899, la théorie des mélanges fut établie par Duhem.
- De 1890 à 1900, de nombreuses machines à absorption sont installées dans l'industrie du pétrole et les installations de fabrication des produits chimiques.
- Dans les années 1900, les installations à compressions mécanique prennent de plus en plus d'importance pour finalement dominer le marché devant le déclin de la machine à absorption.

Néanmoins, les recherches n'ont jamais cessé pour développer ce type de machines.

- Les savants tels que PLANK, ALTENKIRCH, MAIURI ont contribué au perfectionnement de cette machine ; il faut citer aussi les travaux de Von Platen et MUTERS sur le cycle à absorption-diffusion pour les réfrigérateurs à absorption sans pompe.

Depuis, différents concepteurs, chercheurs et scientifiques parmi eux ALBERT Einstein ont essayé d'étudier et de perfectionner cette machine.

L'essor de cette technologie est véritablement intervenu après la deuxième guerre mondiale.

- De 1950 à 1965, l'absorption connaît un succès commercial important, en particulier aux Etats-Unis ; deux couples sont alors en compétition : ammoniac/eau ($\text{NH}_3/\text{H}_2\text{O}$) et eau/bromure de lithium ($\text{H}_2\text{O}/\text{LiBr}$).
- En 1965 environ 30 % des machines de fortes puissances frigorifique aux Etats-Unis utilisaient le principe de l'absorption (15 % en 1958).

L'année 1970 marque le début de la production et de la commercialisation des groupes à absorption KWAZAKI machine utilise ($\text{H}_2\text{O}/\text{LiBr}$), cycle à double effet avec un brûleur à gaz. [7]

I.6.2 Description des installations frigorifique à absorption:

Les installations frigorifique à absorption est compose de quatre éléments essentiels et des éléments intermédiaires et une source de production de froid, les éléments suivant :

- un générateur (bouilleur).
- un absorbeur.
- un condenseur.
- un évaporateur.
- une pompe.
- un rectificateur.
- un détendeur.
- un échangeur de chaleur.
- une source de production de froid (capteur solaire, **gaz naturel**,.....).

I.6.3 Principe de fonctionnement:

I.6.3.1 Système à absorption à simple effet:

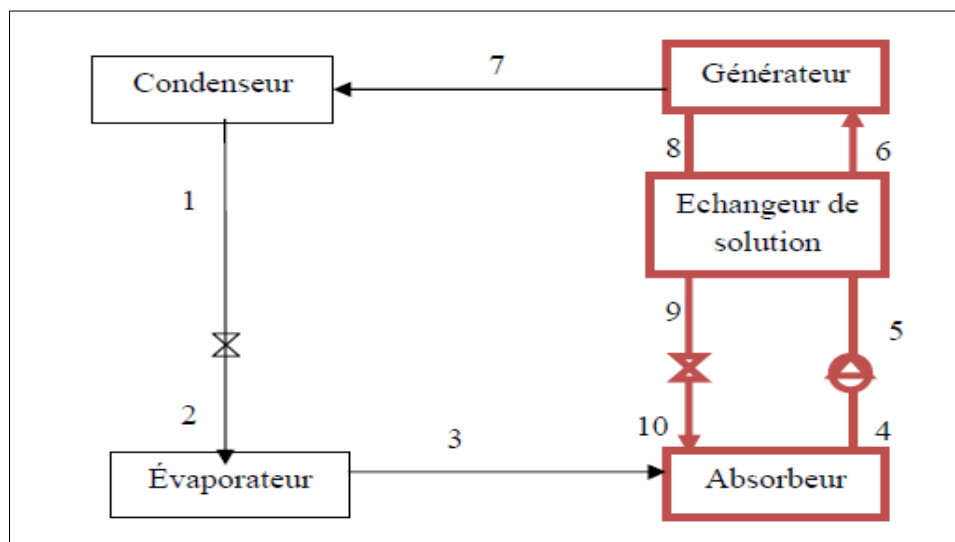


Figure I.4: Schéma d'une installation frigorifique à absorption à simple effet

Le principe de fonctionnement d'une machine à absorption est le même que pour un système classique à compression, avec un fluide frigorigène qui se vaporise à basse température (production de froid) et se condense à plus haute température (Rejet de chaleur). [8]

Les machines frigorifiques à absorption permettent de remplacer la compression en phase vapeur du réfrigérant par une compression en phase liquide d'une solution binaire. Cette solution est composée du réfrigérant et d'un absorbant. La quantité d'énergie

électrique consommée par la pompe est presque négligeable. Il faut néanmoins disposer d'une source de chaleur pour pouvoir dissocier le réfrigérant de l'absorbant et pour pouvoir fonctionner ainsi en cycle fermé. [9]

Le schéma de principe de ce type de machines est représenté à la figure I.4.

I.6.3.2 Installation frigorifique à absorption à double effet:

Le cycle à absorption à double effet a été introduit entre 1956 et 1958, la figure I.5 montre un tel système fonctionnant avec H₂O/LiBr.

Le générateur à haute pression est chauffé par une source de chaleur extérieure, les vapeurs frigorigènes produites sont ensuite utilisées comme source d'énergie à la génératrice basse pression ce qui permet la séparation d'avantage du frigorigène.

Ce cycle fonctionne à trois niveaux de pression. La pression dans le 1^{er} générateur peut être très importante ce qui nécessite des températures élevées pour permettre la séparation et, en plus, il y a risque de dépassement de la plage de solubilité du mélange utilisé donc il faut choisir correctement le fluide de travail. Ce problème ne se pose pas dans le cas du bromure de lithium. [8]

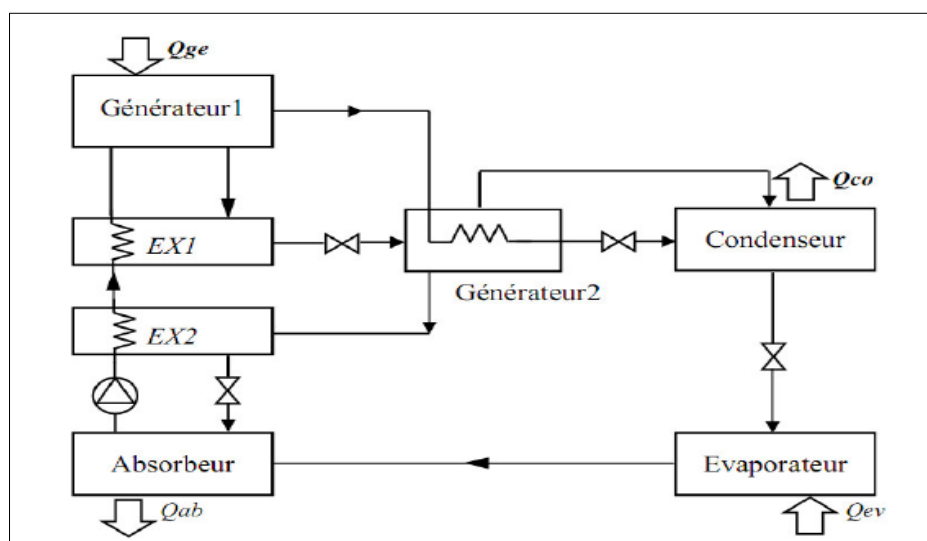


Figure I.5: Schéma d'une installation frigorifique à absorption à double effet

I.6.3.3 Système à absorption à plusieurs effets:

Pour des sources de chaleur à hautes températures, les cycles à plusieurs effets donnent la possibilité d'atteindre des performances supérieures à celles du cycle conventionnel à simple effet. Donc l'objectif principal de ces cycles est d'obtenir des COP plus élevés. Ils peuvent être considérés comme une combinaison de plusieurs cycles à simple effet. La structure de ces

machines permet de faire "travailler" la chaleur introduite à la source chaude plusieurs fois, d'où le terme plusieurs effet. Plusieurs structures sont développées actuellement. [10]

I.6.4 Principe de fonctionnement d'une installation à absorption avec une solution de NH_3/H_2O :

Le schéma d'une installation frigorifique à absorption est représenté sur la figure I.6. Nous allons traiter le cas d'une solution binaire constituée d'eau (le constituant le moins volatil) et d'ammoniac (le constituant le plus volatil).

Dans le cas d'une installation à absorption, on utilise de l'ammoniaque (NH_3) comme agent réfrigérant. Comme dans une installation frigorifique à compression, l'ammoniaque liquide s'évapore dans un évaporateur, se chargeant de chaleur. Dans un absorbeur, l'ammoniaque en forme de vapeur est ensuite dissoute dans de l'eau. La solution ammoniacale est chauffée, de telle sorte que se dégage de l'ammoniaque sous forme de vapeur. Dans un condenseur, la vapeur ammoniacale est de nouveau condensée pour en faire de l'ammoniaque liquide.

Afin de pouvoir établir une différence de température entre l'évaporation et la condensation, il faut créer une différence de pression. L'arrivée de l'énergie d'entraînement s'effectue via le bouilleur et elle est uniquement thermique. Le réchauffement du bouilleur peut s'effectuer avec du gaz. [11]

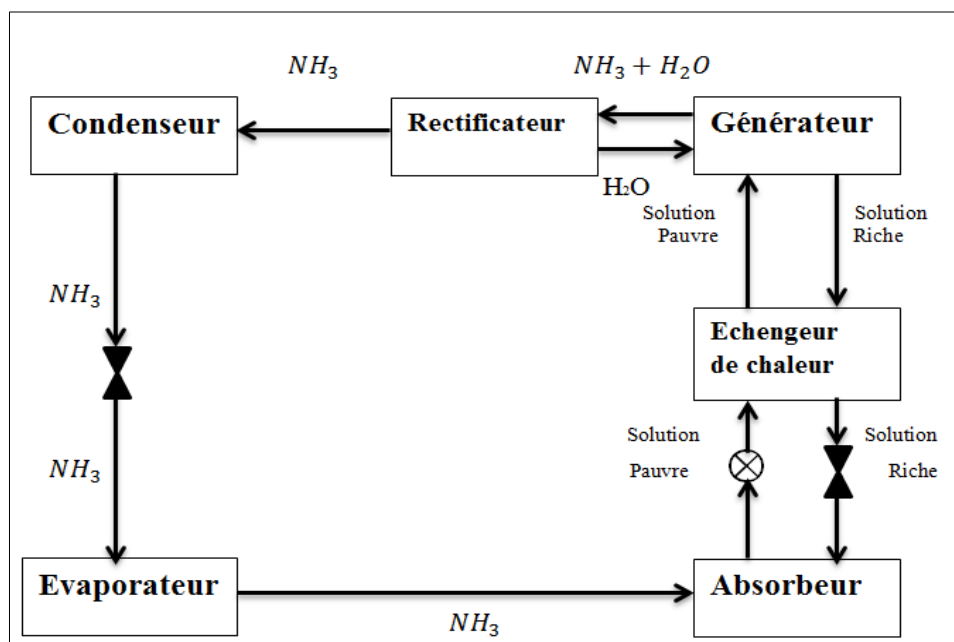


Figure I.6: Schéma d'un système frigorifique à absorption avec une solution de NH_3/H_2O

I.6.5 Principe de fonctionnement d'une installation à absorption avec une solution de H₂O/BrLi:

L'eau est le fluide frigorigène alors que l'agent absorbant est le bromure de Lithium (BrLi) pur est un sel solide mais quand il est mélangé avec suffisamment d'eau, on obtient une solution liquide homogène.

La caractéristique principale de ce système est que le BrLi n'est pas volatil, donc dans le bouilleur il n'y aura que de la vapeur d'eau qui se forme.

Cependant l'inconvénient principal du système est la limitation d'évaporation à des valeurs relativement élevées (T° d'évaporation supérieure à 0°C) puisque l'eau se solidifie à des $T^{\circ} < 0^{\circ}\text{C}$, l'autre inconvénient est la pression de travail à l'intérieure de la machine, qui est le vide (avec tous les problèmes spécifiques au vide). [12]

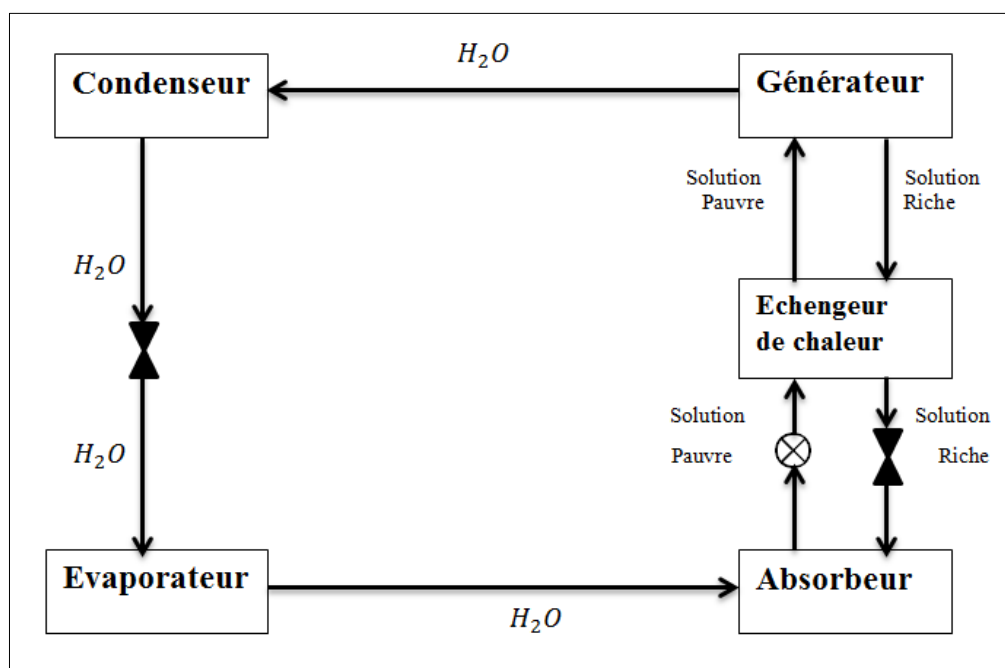


Figure I.7: Schéma d'une installation à absorption double effets avec une solution de H₂O/BrLi

I.6.6 Avantages et inconvénients d'une installation frigorifique à absorption:

A. Les avantages:

- ✓ Consomme essentiellement de l'énergie calorifique qui peut être récupérée d'un autre système.
- ✓ Ne nécessite que peu de machine tournante donc pas de vibration et aucuns bruits.

- ✓ Les refroidisseurs à absorption peuvent être alimentés séparément de multiples sources de chaleur (gaz méthane/combustible direct).
- ✓ Haute fiabilité du système, très peu de pannes.
- ✓ Un large choix d'appareils et en petite profondeur.
- ✓ Peu de maintenance et grande longévité du matériel.

B. Les inconvénients:

- ✓ Coefficients de performance modestes.
- ✓ Une grande puissance thermique est à évacuer vers l'extérieur.
- ✓ Étanchéité de la machine pour éviter l'intrusion de gaz incondensable.
- ✓ Problème de cristallisation des absorbants.
- ✓ Coût de fabrication est coûteux.
- ✓ Un grand volume, qui suppose un encombrement dans Perte de place.
- ✓ Besoin d'être installé parfaitement à l'horizontal. [13, 6]

I.6.7 Les couples utilisés pour les systèmes à absorption:

On donne quelques exemples de couples utilisés (Tableau I.3), l'exemple le plus courant est le couple H_2O -LiBr et le plus ancien est le couple $NH_3 - H_2O$. Ces couples sont les mieux connus et les plus étudiés.

Fluide Frigorigène	Agent Absorbant
Ammoniac NH_3	Eau
Eau	LiBr (Bromure de Lithium)
R_{22}	Diméthyléther du tétraéthylène glycol
Méthyl amine	Eau
Méthanol	LiBr

Tableau I.3 couples utilisés pour les systèmes à absorption [6]

I.6.7.1 Caractéristique de couple binaire:

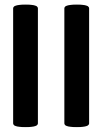
Les deux substances fluide frigorigène- agent absorbant qui doivent former le couple binaire ou solution dans les cycles frigorifiques à absorption doivent remplir un certain nombre de critères. [12]

Les caractéristiques désirées dans les systèmes à absorption sont les suivantes :

- 1- La solubilité du réfrigérant dans l'absorbant doit être anormalement élevée à température de l'absorbeur et à la pression correspondant à la température l'évaporateur.

- 2- La distillation doit permettre de récupérer une proportion importante de la teneur en réfrigérant dans la solution riche, afin de diminuer le débit de solution nécessaire.
- 3- L'absorbant doit être beaucoup moins volatil que le réfrigérant, afin de minimiser son entrainement dans le condenseur.
- 4- La viscosité de la solution doit être faible afin de faciliter l'absorption rapide et de diminuer la puissance de pompage.
- 5- Le rapport de la chaleur latente de vaporisation du réfrigérant à la chaleur nécessaire pour séparer le réfrigérant de l'absorbant doit être voisin de 1. [14]

CHAPITRE



- ❖ **Le Gaz naturel utilise comme source d'énergie dans la machine frigorifique à absorption**

II.1 Introduction:

Le gaz naturel a su trouver sa place dans les utilisations les plus diverses, domestiques et industrielles, mais il n'a pas de marché captif, car le plus souvent, Cependant, sous certaines conditions économiques, il pourrait, partiellement et momentanément, se substituer au pétrole dans les transports sous sa forme de carburant synthétique (*GTL, Gas To Liquid*).

Le gaz naturel représente plus de 20 % de la consommation énergétique globale, La demande mondiale en gaz naturel a augmenté de 2,9 % par an en moyenne ces dix dernières années présentant ainsi une croissance sensiblement plus rapide que celle de l'énergie et du pétrole qui n'ont cru respectivement sur la même période que de 2,4 % et de 1,4 %.

La croissance de la consommation gazière est liée en grande partie à son développement dans le secteur de la production d'électricité. [15]

II.2 Définition:

Le gaz naturel est une énergie primaire non renouvelable bien répartie dans le monde propre et de plus en plus utilisé. Dispose de nombreuses qualités.

Le gaz naturel est une énergie fossile comme l'huile ou le charbon présent naturellement dans des roches poreuses sous forme gazeuse. C'est un mélange dont le constituant principal, de 70% à 95% est de méthane (CH₄). [16]

II.3 Genèse du gaz naturel:

Sur notre planète, vivent et meurent en permanence une multitude d'organismes, appartenant aux règnes animal et végétal, composés pour l'essentiel de carbone, d'hydrogène, d'azote et d'oxygène. Ils constituent la biomasse. À leur mort, une faible partie de cette biomasse se retrouve incluse dans le processus global de sédimentation des couches minérales affectant la surface terrestre. Ce processus lent et permanent qui accumule, après érosion, transport et dépôt, les sédiments au fond des océans et des lacs, produit certes peu d'effets à l'échelle d'une vie humaine, mais est d'une importance capitale à l'échelle des temps dits « géologiques » : quelques millions à quelques milliards d'années.

Tous les sédiments formés, s'ils sont minéraux en première analyse, comportent une fraction de matière organique, 1 % en moyenne, qui se retrouve piégée dans la matrice du sédiment. Au début de la sédimentation, cette fraction organique subit une première transformation par les bactéries qui conduit à la formation d'un composé solide appelé « kérogène ».

Ce constituant organique présent dans « la roche mère » pourra donner du pétrole et du gaz naturel si les conditions de température et de pression sont favorables.

Bien qu'en règle générale, il ne soit présent qu'en faibles proportions dans les sédiments, le kérogène représente à l'échelle de la planète une masse totale de 10 000 000 Gt. Si seulement 0,1 % du kérogène total forme le charbon, le gaz et le pétrole représentent chacun 0,003 % du kérogène total en ordre de grandeur, c'est-à-dire quelques centaines de milliards de tonnes.

À partir de 50 à 120 C°, le kérogène subit, en anaérobie, une décomposition thermique, la pyrolyse. Dans un premier temps, cette décomposition « extrait » l'eau et le CO₂ du kérogène puis, les températures croissant continuellement au fil de la compaction, le kérogène expulse des hydrocarbures liquides et gazeux: pétrole et gaz naturel. [15]

II.4 Formes de gaz naturel:

Il existe plusieurs formes de gaz naturel, se distinguant par leur origine, leur composition et le type de réservoirs dans lesquels ils se trouvent. Néanmoins, le gaz est toujours composé principalement de méthane et issu de la désagrégation d'anciens organismes vivants.

- ✓ **Le gaz conventionnel non associé** est la forme la plus exploitée de gaz naturel. Son processus de formation est similaire à celui du pétrole. On distingue :
 - **le gaz thermogénique primaire**: issu directement de la pyrolyse du kérogène.
 - **le gaz thermogénique secondaire** formé par la pyrolyse du pétrole.

Le gaz thermogénique comprend, outre le méthane, un taux variable d'hydrocarbures plus lourds, pouvant aller jusqu'à l'heptane (C₇H₁₆). On peut y trouver aussi du dioxyde de carbone (CO₂), du dioxyde de soufre (SO₂), du sulfure d'hydrogène appelé aussi « gaz acide » (H₂S) et parfois de l'azote (N₂) et de petites quantités d'hélium (He). C'est principalement ce type de gaz conventionnel non associé qui alimente le marché.
- ✓ **Le gaz associé**, présent en solution dans le pétrole, est quant à lui séparé lors de l'extraction de ce dernier. Pendant longtemps, il a été considéré comme un sous-produit fatal, faute d'infrastructures susceptibles d'en assurer le débouché commercial, et brûlé en torchère. [15]

II.5 Types de gisement:

Dans les gisements de gaz associé, le gaz peut être présent sous trois formes:

1. Il peut être dissous dans le pétrole, car la pression des fluides à cette profondeur permet d'y dissoudre une forte quantité de gaz naturel par unité de volume. Quand le pétrole est produit en surface, il se dégaze selon un ratio volume de gaz/volume de pétrole appelé GOR (*gas oil ratio*).
2. Le gaz associé peut aussi s'accumuler au-dessus du pétrole, du fait de sa densité moindre, et constituer ainsi un « chapeau » appelé aussi (*gas cap*). Dans certains cas, le *gas cap* est si important qu'il ne laisse qu'un anneau sous-jacent pétrole.
3. Les deux formes précédentes peuvent être combinées.

En dehors des gisements « conventionnels » de gaz naturel, il existe des gisements dits « non conventionnels » dont l'importance devient croissante en termes de réserve et de localisation géographique.

1. Le **Tight Gas** (*gaz serrés*) se trouve dans des roches compactées très peu poreuses et perméables qui nécessitent une fracturation hydraulique de la roche préalable à la production.
2. Le **Shale Gas** (*gaz de schiste*) se trouve dans des roches à grains fins qui sont dominées par des argiles où le gaz est, soit adsorbé, soit contenu dans la porosité de la matrice (couches de silt ou de grès dans les argiles).
3. Le **Coalbed Méthane** (*méthane de houille*) est récupéré à partir du charbon, par désorption en pression, selon trois voies : drainage dans les mines existantes, extraction dans les mines abandonnées et exploitation par forage des couches de charbon non exploitées, par production préalable de l'eau interstitielle.
4. Les **hydrates de méthane** sont produits par déplacement des hydrates hors de leur zone d'équilibre en pression et/ou température; difficilement exploitables en raison du caractère peu contrôlable de la réaction in situ. [15]

II.6 Présentation du gaz naturel:

Le gaz naturel traité en vue d'être commercialisé est incolore, inodore, insipide, sans forme particulière. Il contient entre 81 et 97 % de CH₄ et est donc moins dense que l'air : sa densité par rapport à l'air est de 0,6 et sa masse volumique d'environ 0,8 kg/m³. Il se présente sous sa forme gazeuse au-delà de – 161 C° environ, à pression atmosphérique. Sa limite inférieure d'inflammabilité est de 5 % et sa limite supérieure d'inflammabilité de 15 % .

Autres composants:

- Des hydrocarbures plus lourds que le méthane de C_2 à C_8 .
- Du dioxyde de soufre SO_2 .
- Du sulfure dihydrogène appelé aussi gaz acide N_2S .
- Du dioxyde de carbone CO_2 .
- De l'azote N_2 .
- Parfois de petites quantités d'hélium H_2 et mercure H_g .

Et le tableau suivant rassemble les différents composés du gaz:

Composés du gaz	Masse molaire	Débit des composants	Fraction molaire %
N2	28	725,18	5,8
CO2	44	1,25	0,01
H2	4	22,33	0,18
CH4	16	10377,17	83,06
C2 H2	30	887,65	7,1
C3 H8	44	281,35	2,25
iC4 H10	58	50,02	0,4
nC4 H10	58	75,03	0,6
iC5 H12	72	0,12	0,12
nC5 H14	72	18,76	0,15
nC6 H14	86	12,5	0,1
C7 H16	100	7,5	0,06
C8 H18	114	2,49	0,02
H2O	18	17,2	0,14
	Masse molaire moyenne= 19	12493,49	100

Tableau II.1: Composés du gaz [16]

II.7 Usages du gaz naturel:

II.7.1 Industriel:

L'utilisation du gaz naturel ne produit pas de poussières, presque pas de NO_x , ne laisse pas de cendres et s'il a été correctement « désoufré », quasiment pas de SO_x . Cela a une conséquence économique directe par rapport aux énergies fossiles concurrentes : une installation de type centrale à cycle combiné, chaufferie, cimenterie ou autre, brûlant du charbon a besoin de dispositifs de dépollution pour extraire les SO_x , les NO_x et les poussières des fumées, installations coûteuses à construire et à entretenir. Avec le gaz naturel, ces procédés coûteux sont inutiles.

C'est une source d'énergie de plus en plus utilisée par l'industrie pour produire de la chaleur (chauffage, fours...) et de l'électricité, que ce soit en cogénération décentralisée ou en cogénération centralisée avec des centrales à cycles combinés (Combined Cycle Gas Turbines ou CCGT). Au niveau mondial, plus de 30 % de l'électricité est produite à partir de gaz naturel et cette part ne cesse d'augmenter. Depuis plus d'une décennie, plus d'un million de véhicules au gaz naturel roulent dans le monde. Globalement, l'usage du gaz naturel est en expansion, la plupart des pays favorisant son usage accru partout où il peut se substituer au pétrole.

Le gaz naturel est utilisé dans l'industrie chimique, notamment pour la pétrochimie et le raffinage, son utilisation dans les pays industrialisés est de 25%, la synthèse d'ammoniac à partir du gaz naturel permet de fabriquer des engrais pour l'agriculture et la synthèse du méthanol à partir du gaz naturel est utilisée en chimie de spécialités et comme base d'additif des essences. [15]

II.7.2 Résidentiel et tertiaire:

Le gaz naturel est traditionnellement utilisé comme combustible dans la production de chaleur pour la cuisson, l'eau chaude sanitaire ou le chauffage. Ce marché représente 38 % de la consommation de gaz naturel en Algérie et 31 % au niveau africain. Si la cuisinière au gaz naturel reste un usage traditionnel, le gaz naturel est maintenant utilisé dans des applications de plus haute technologie comme les piles à combustibles, la micro-cogénération et les pompes à chaleur à gaz. L'usage du gaz naturel dans ce secteur est favorisé par le fait qu'il ne nécessite pas de stockage. [15]

II.7.3 Secteur d'automobile:

Les moteurs au gaz naturel offrent par ailleurs un bon rendement énergétique combiné à un potentiel important de réduction d'émissions de CO₂, donc l'utilisation du gaz naturel est particulièrement intéressante car elle ne nécessite pas de transformation majeure du moteur.[17]

II.8 Convergence gaz électricité:

Une centrale à cycle combiné, est une centrale thermique qui associe deux types de turbines, l'une au gaz, l'autre à vapeur, qui entraînent chacune un alternateur. Installée sur champ de production de gaz naturel elle génère du gas to wire (gaz à fil).

Dans une centrale à cycle combiné, les gaz issus de la combustion à haute pression et haute température (jusqu'à 1 500 C°) du gaz naturel actionnent une turbine ; à son aval, ils sont encore suffisamment chauds pour générer de la vapeur dans une chaudière via un échangeur de chaleur, la vapeur ainsi produite entraînant à son tour une turbine. Il est enfin nécessaire de disposer d'une source froide (eau de rivière, eau de mer, aéro-réfrigérant) pour évacuer la chaleur nécessairement produite par le cycle.

Cette technologie, qui est portée par une amélioration lente mais constante du rendement énergétique qui est de 56 % dans le meilleur des cas, mais qui pourrait atteindre théoriquement 60 %. [15]

II.9 Transport du gaz naturel:

Le transport du gaz naturel est par nature beaucoup plus difficile et onéreux que celui du pétrole en raison de son état gazeux induisant une forte compressibilité et une faible densité énergétique. Cela explique que, pendant longtemps, les gisements de gaz n'intéressaient les compagnies que s'ils étaient relativement proches des lieux de consommation, tandis que les gisements trouvés dans des endroits isolés n'étaient développés que si leur taille justifiait les infrastructures nécessaires.

Pour transporter le gaz naturel des gisements vers les lieux de consommation, les gazoducs sont le moyen le plus courant. Mais une part croissante, maintenant supérieure à 30 %, du gaz consommé est transportée sous forme liquide, à -162 C° et à pression atmosphérique, dans des navires méthaniers de la proximité du lieu de production vers les lieux de consommation. Cette technologie dite du « gaz naturel liquéfié » (GNL), qui permet de « condenser » l'énergie gazeuse sous un volume réduit, exige des investissements très lourds, tant pour la liquéfaction que pour le transport. [15]

II.10 Aspects géopolitiques:

Viennent ensuite 16 acteurs « mineurs », assez bien répartis sur le plan géographique, avec des réserves comprises entre 1 et 5 % du total (par ordre décroissant des réserves) : Arabie Saoudite, Émirat Arabes Unis (EAU), USA, Nigéria, Algérie, Venezuela, Irak, Kazakhstan, Turkménistan, Indonésie, Malaisie, Australie, Norvège, Chine, Ouzbékistan et Égypte. [15]

II.11 Production mondiale du gaz naturel:

La liste des pays par production de gaz naturel fournit le classement annuel et l'évolution de la production par les différents États. Plusieurs unités de mesure sont couramment utilisées pour exprimer cette production, le volume est exprimé en milliards de mètres cubes par an (m³, en anglais Bcm) ou en pieds cubes par jour (Bcf per day), tandis que le pouvoir calorifique est exprimé en millions de tonnes d'équivalent pétrole (TEP, en anglais toe).

Le tableau suivant présente la liste des pays par production en milliards de mètres cube par an:













États	2010	2011	2012	2013
 États-Unis	603,6	648,5	681,2	687,6
 Russie	588,9	607,0	592,3	604,8
 Iran	152,4	159,9	165,6	166,6
 Qatar	116,7	145,3	150,8	158,5
 Canada	159,9	159,7	156,0	154,8
 Chine	94,8	102,7	107,2	117,1
 Norvège	107,3	101,3	114,7	108,7
 Arabie saoudite	87,7	92,3	99,3	103,0
 Algérie	80,4	82,7	81,5	78,6
 Indonésie	82,0	75,9	71,1	70,4
 Malaisie	65,3	65,3	66,5	69,1
 Pays-Bas	70,5	64,2	63,9	68,7
 Turkménistan	42,4	59,5	62,3	62,3
 Royaume-Uni	72,1	69,6	59,7	57,1
 Mexique	57,6	58,3	56,9	56,6
 Égypte	61,3	61,4	60,9	56,1
 Émirats arabes unis	51,3	52,3	54,3	56,0
 Ouzbékistan	59,6	57,0	56,9	55,2
 Australie	45,2	44,9	43,4	42,9
 Trinité-et-Tobago	44,8	42,9	42,7	42,8
 Thaïlande	36,3	37,0	41,4	41,8

Tableau II.2: Liste des pays par production de gaz naturel [19]

L'offre mondiale croît rapidement pour se situer dans l'intervalle 2520-2890 Gm³/an en 2000, puis dans l'intervalle 2960-3640 Gm³/an en 2010. Cette croissance se ralentit ensuite dans les deux scénarios, le niveau d'offre potentielle en 2030 étant compris entre 3110 et 4130Gm³/an.

Le tableau II.3 présente un scénario de l'offre potentielle de gaz

<i>Unité: Gm³</i>	<i>Réalisé</i>	<i>Potentiel</i>			
<i>1 Gm³ = 10⁹m³</i>	<i>1995</i>	<i>2000</i>	<i>2010</i>	<i>2020</i>	<i>2030</i>
<i>Afrique</i>	82	136	199	229	230
<i>Asie Centrale & de l'Est</i>	77	142	187	224	255
<i>Asie du Sud Est & Océanie</i>	125	180	219	269	305
<i>Europe de l'Est - Asie du Nord</i>	698	984	1289	1397	1400
<i>Proche-Orient</i>	143	242	373	476	552
<i>Amérique du Nord</i>	714	746	880	943	1026
<i>Amérique du Sud</i>	75	117	163	181	199
<i>Europe Centrale & Occidentale</i>	250	344	330	269	166
<i>Monde</i>	2,164	2,891	3,640	3,988	4,133

Tableau II.3: Offre potentielle de gaz - Scénario haut (en Gm3) [21]

II.12 Demande potentielle d'énergie et de gaz:

Le scénario de référence pour la demande potentielle de gaz se place dans ce contexte. Selon ce scénario la demande mondiale atteindra 2550 Gm3 en 2000, 3200Gm3 en 2010 et 4100Gm3 en 2030. [23]

II.13 Répartition mondiale des réserves:

Bien que limitées, ces réserves sont très importantes et les estimations concernant leur taille continuent de progresser à mesure que de nouvelles techniques d'exploration ou d'extraction sont mises en œuvre. Les ressources de gaz naturel sont abondantes et assez largement distribuées à travers le monde ; on estime qu'une quantité significative de gaz naturel reste encore à découvrir (Figure II.1).

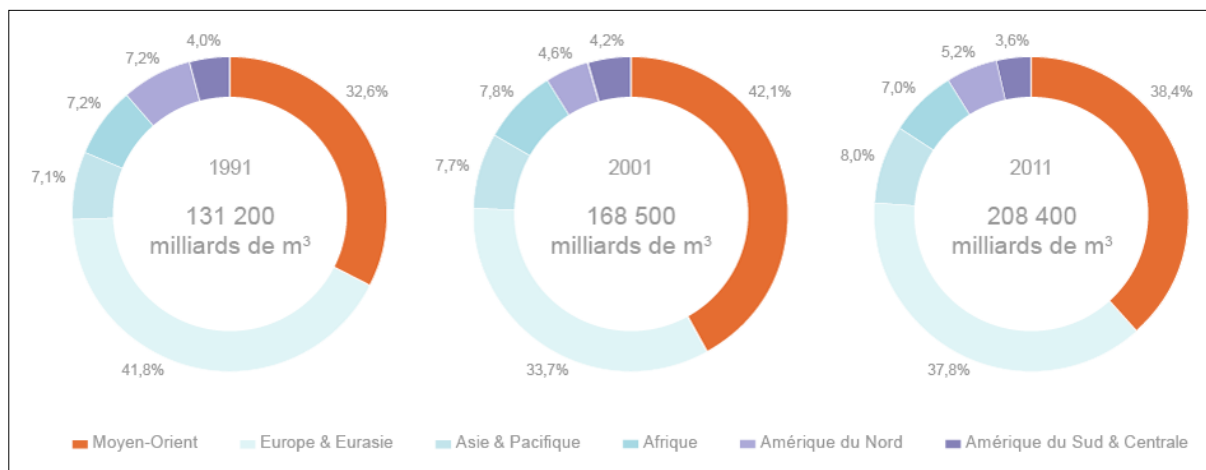


Figure II.1: Répartition des réserves de gaz naturel dans le monde à fin 1991, 2001 et 2011 [22]

II.14 Réserve de gaz naturel en Algérie:

L'Algérie possède des réserves immenses en gaz naturel dépassent 4.5 Bcm durant les 13 ans dernière (Figure II.3), ce qui nous classe au deuxième rang en Afrique presque 31% des réserves africaine (Figure II.4), et le quatrième dans le monde (environ 10% des réserves mondiales).

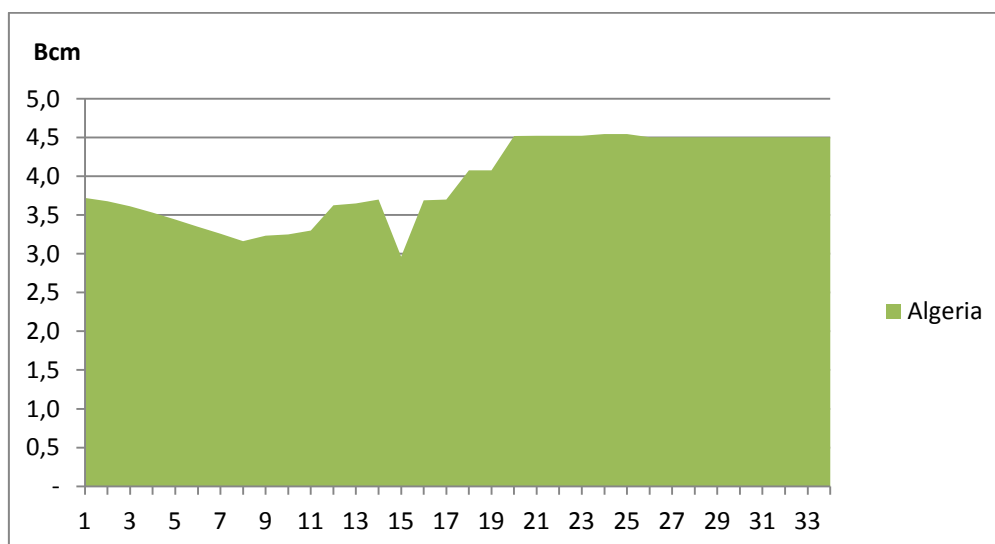


Figure II.3: Réserve de gaz naturel en Algérie (1980-2013) [21]

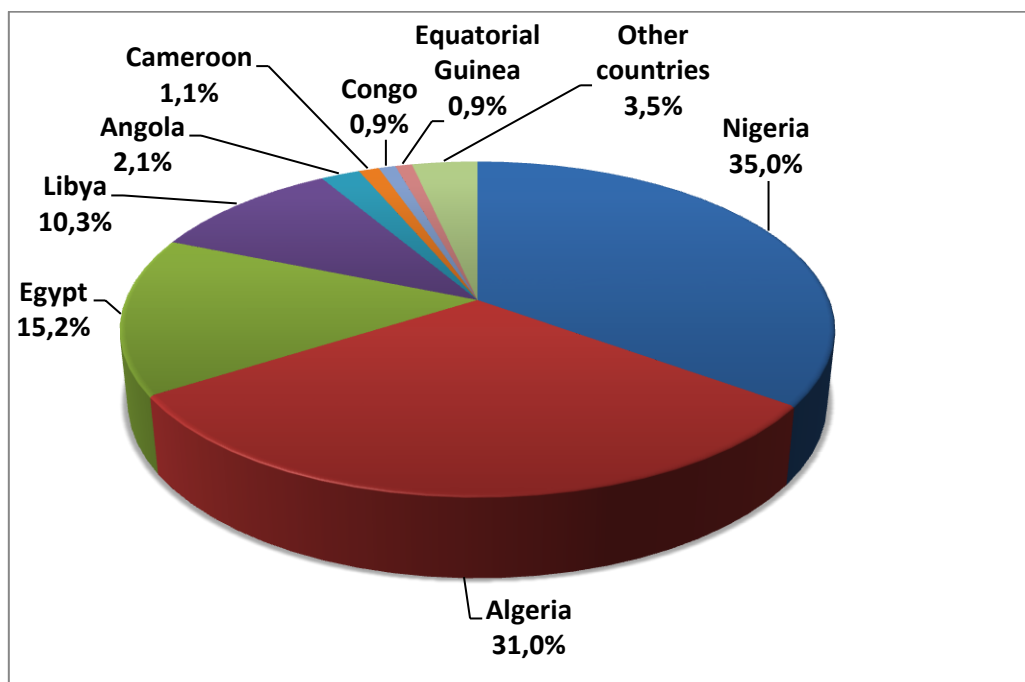


Figure II.4: Répartition des réserves gazières en Afrique

II.15 Production de gaz naturel en Algérie:

A l'échelle mondiale, les capacités gazières algériennes sont très significatives. Le pays possède entre 1,3% soit 2000 Mds1 m³ et 2,4% soit environ 4 500 Mds de m³ des réserves mondiales de gaz, et a produit en 2012, 73,4 Mds m³ de gaz naturel commercialisable soit 2,4% de la production mondiale, ce qui place l'Algérie au 9^{ème} rang des pays producteurs de gaz, certes loin donc derrière les « géants » (Etats-Unis, Russie, Iran), mais juste après les « grands » (Norvège, Qatar, Chine) et elle en est le premier (producteur) en Afrique. [24]

La production algérienne du gaz naturel est évaluée par 77.058 Million tep (prouvée en 2013), ce qui classe notre pays au premier rang dans l'Afrique, la figure II.2 indique l'augmentation de la production de gaz naturel en Algérie durant la période (1980-2013).

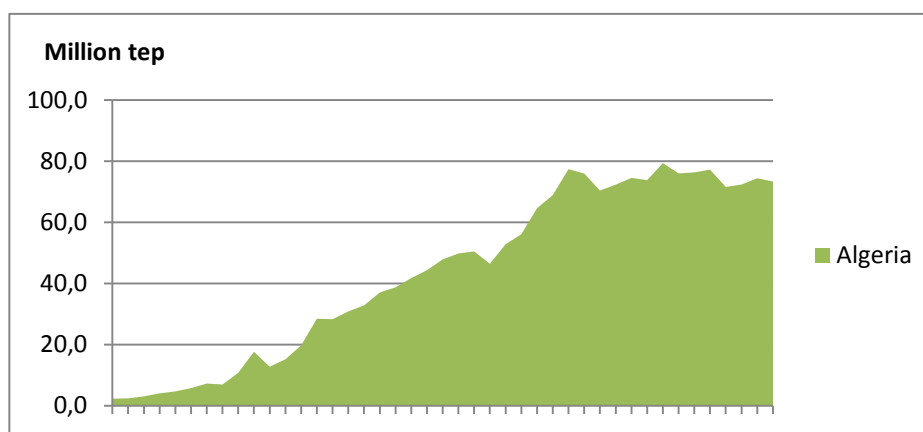


Figure II.2: Production de gaz naturel en Algérie (1970-2013) [21]

L'Algérie devrait atteindre une production de 151 milliards de m³ de gaz naturel en 2019 à la faveur de l'entrée en production de plusieurs gisements.

Durant l'année 2014, Sonatrach produit l'équivalent de 131 milliards de m³ de gaz naturel, dont 27 milliards de m³ elle a été exportés via gazoduc et 28 millions de m³ sous forme de GNL via des méthaniers. A moyen terme nous prévoyons d'augmenter notre capacité de production pour atteindre les 151 milliards de m³ d'ici à 2019", confie la même source.

Cette augmentation de la production proviendra de plusieurs gisements qui vont entrer progressivement en production durant les cinq prochaines années, ajoute la même source.

Il s'agit, entre autres, des champs gaziers développés en effort propre par Sonatrach, situés à Tinhert (Illizi), Gassi Touil (Ouargla), Ahnet (In Salah), Menzel Ledjmet Est (Illizi) et Bir Berkine (Ouargla). [25]

II.16 Consommation nationale par forme d'énergie:

La structure de la consommation nationale d'énergie reste dominée, comme indiqué dans le graphe ci-après, par le gaz naturel (35%), suivi par les produits pétroliers (30%) et l'électricité (28%).

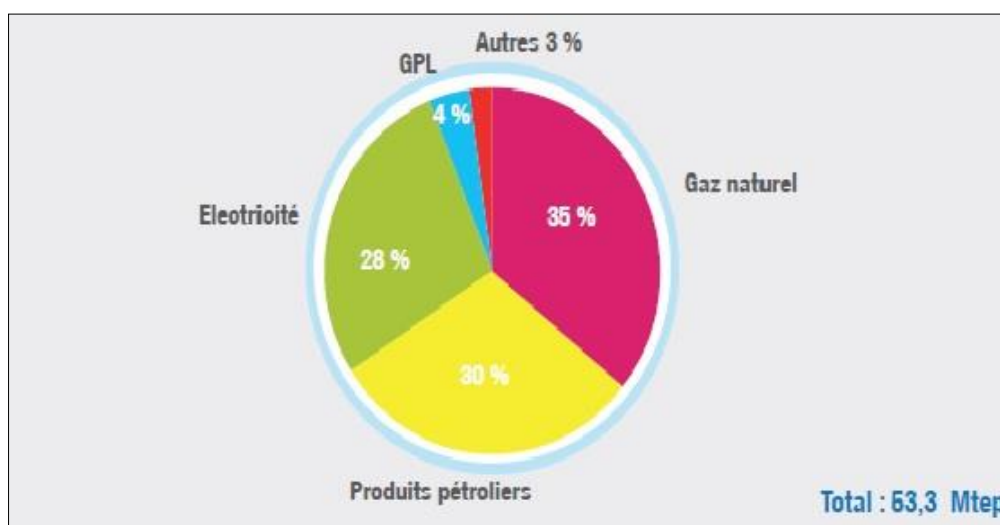


Figure II.5: Répartition de la consommation nationale par forme d'énergie [20]

II.17 Consommation de gaz naturel en Algérie:

Cette courbe indique la consommation de gaz dans notre pays qui dépasse 29.1 million tep en 2013 (Figure II.6), on observe que la consommation est très élevée durant les 36 années dernière cette augmentation est justifié l'importance de gaz qui reste la première source d'énergie primaire dans l'Algérie a 57 % (Figure II.7).

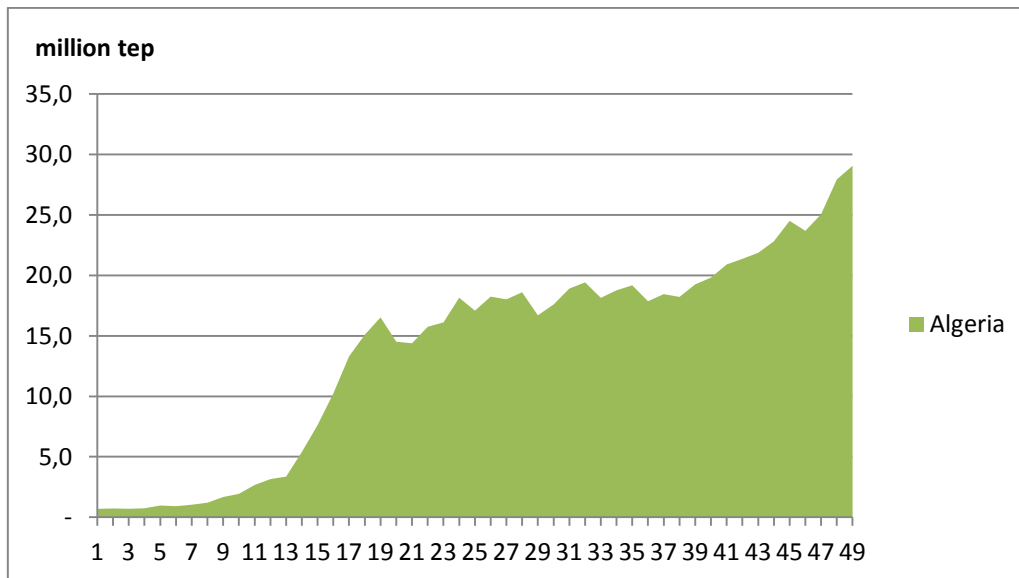


Figure II.6: Consommation de gaz naturel en Algérie (1965-2013) [21]

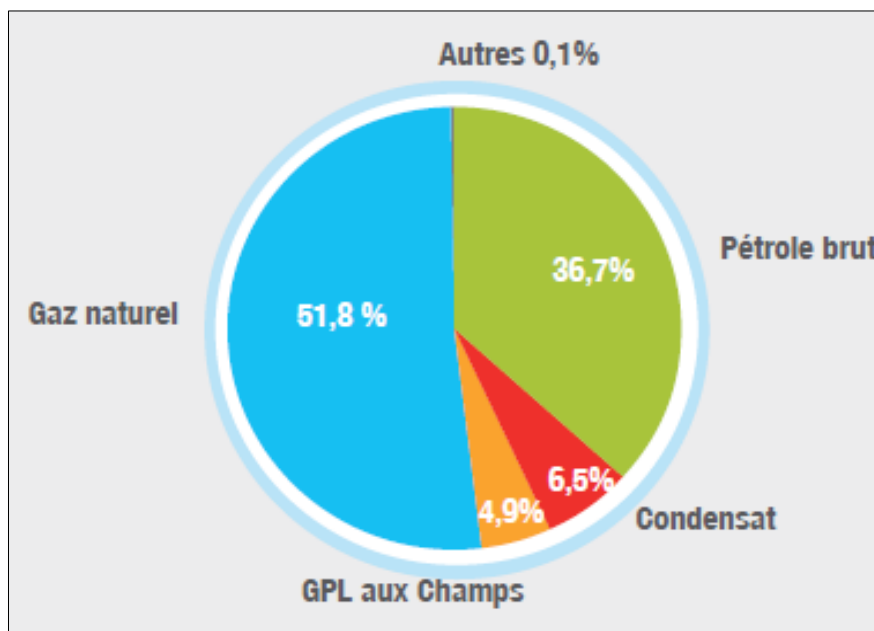


Figure II.7: Structure de la production d'énergie primaire [20]

II.18 L'exportations de gaz naturel en Algérie:

L'Algérie est le 6ème exportateur mondial de gaz et le 10^{ème} de pétrole brut. Le gaz algérien est exporté à 70 % par gazoduc et 30 % sous forme de gaz naturel liquéfié, plaçant l'Algérie au 7^{ème} rang mondial des exportateurs de GNL. Les exportations d'hydrocarbures et produits dérivés ont généré 72 Mds USD de recettes, soit 97% du total de la valeur des exportations algériennes en 2011. Elles se composent de 13,6 Mds USD pour le gaz, de 28,8 Mds USD pour le pétrole brut et de 22,7 Mds USD pour les produits dérivés (condensats, produits raffinés et GPL). [22]

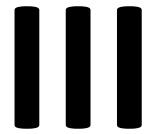
II.19 Scénario référence de gaz naturel en Algérie:

(Bcm)	2009	2015	2020	2025	2030
production	81.4	102.3	124.3	143	160.6
Exportation	52.8	64.9	80.3	89.1	96.8
Consummation	11	16.5	20.9	25.3	30.8

Tableau II.4: Scénario référence de gaz naturel en Algérie [26]

D'après le tableau ci-dessus on peut faire des prédictions sur la (production, exportation) qui seront accroître durant les années.

CHAPITRE

A graphic element consisting of three thick, vertical black bars of equal height and width, arranged horizontally and centered within a dotted circular border.

❖ Résultats et discussions

Partie 1: Méthodologie de calcul

III.1.1 Système frigorifique à compression mécanique:

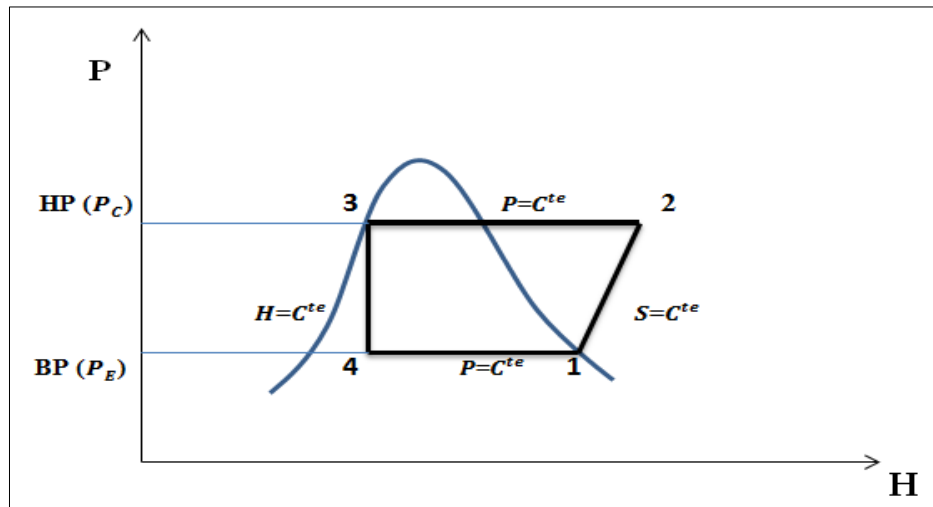


Figure III.1: cycle théorique d'une installation frigorifique à compression mécanique

Le travail massique (w_m):

$$w_m = h_2 - h_1 \quad (k_j/k_g) \quad (I.1)$$

Capacité de réfrigération massique (q_{0m}):

$$q_{0m} = h_1 - h_4 \quad (k_j/k_g) \quad (I.2)$$

Le débit massique (Q_m):

$$Q_m = \frac{\phi_0}{q_{0m}} \quad (k_g/s) \quad (I.3)$$

ϕ_0 : la puissance frigorifique (k_W)

La puissance thermique conservée par le compresseur (p_t):

$$p_t = Q_m \cdot w_m = Q_m \cdot (h_2 - h_1) \quad (k_W) \quad (I.4)$$

La puissance calorifique du condenseur (ϕ_c):

$$\phi_c = Q_m \cdot (h_2 - h_3) \quad (k_W) \quad (I.5)$$

Le coefficient de performance :

$$\text{COP} = \frac{q_{0m}}{w_m} \quad (I.6)$$

III.1.1.2 Exemple de calcul d'un système frigorifique à compression mécanique simple:

Avec (R₂₉₀): (ANNEXE:01)

$$T_C = 40 \text{ °C} \quad T_E = 16 \text{ °C} \quad \phi_0 = 50 \text{ kW}$$

❖ L'utilisation de diagramme d'enthalpie pour détermine H_1, H_2, H_3, H_4 .

$$H_1 = 587.5 \text{ (kJ/kg)}$$

$$H_2 = 625 \text{ (kJ/kg)}$$

$$H_3 = H_4 = 304.54 \text{ (kJ/kg)}$$

- Le travail massique (w_m):

$$w_m = H_2 - H_1$$

$$w_m = 37.5 \text{ (kJ/kg)}$$

- Capacité de réfrigération massique (q_{0m}):

$$q_{0m} = H_1 - H_4$$

$$q_{0m} = 282.96 \text{ (kJ/kg)}$$

- Le débit massique (Q_m):

$$Q_m = \frac{\phi_0}{q_{0m}}$$

$$Q_m = 0.176 \text{ (kg/s)}$$

ϕ : la puissance frigorifique kW

- La puissance thermique conservée par le compresseur (p_t):

$$p_t = Q_m \cdot w_m = Q_m \cdot (H_2 - H_1)$$

$$p_t = 6.6 \text{ (kW)}$$

- La puissance calorifique du condenseur (ϕ_c):

$$\phi_c = Q_m \cdot (H_2 - H_3)$$

$$\phi_c = 56.4 \text{ (kW)}$$

❖ Le coefficient de performance :

$$\text{COP} = \frac{q_{om}}{w_m}$$

$$\text{COP} = 7.54$$

III.1.2 Système frigorifique à absorption:

❖ Diagramme de Meckel

L'utilisation de ce diagramme permet la détermination des enthalpies échangées dans le système. (Annexe II)

❖ Diagramme d'Oldham

L'utilisation de ce diagramme permet d'évaluer les pressions de fonctionnement de machine ainsi que les concentrations du fluide à partir des pressions-températures-concentrations. (Annexe II)

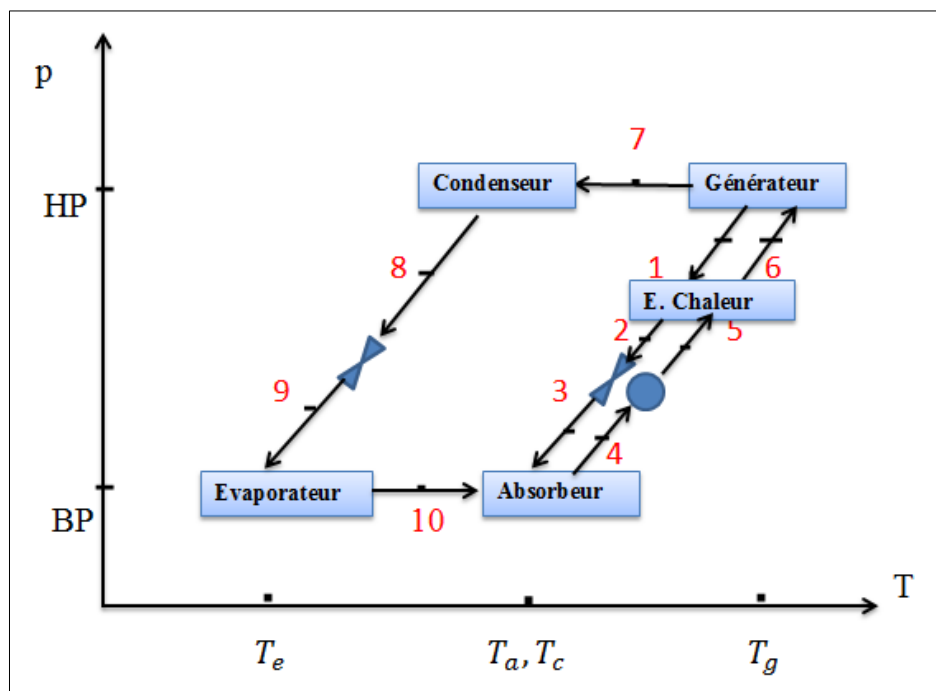


Figure III.2: Cycle d'un Système frigorifique à absorption

Le condenseur:

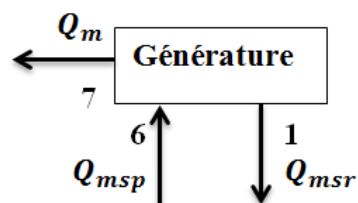
La puissance calorifique du condenseur (ϕ_c)

$$\phi_c = Q_m(h_7 - h_8) \quad (k_W) \quad (I.7)$$

L'évaporateur:

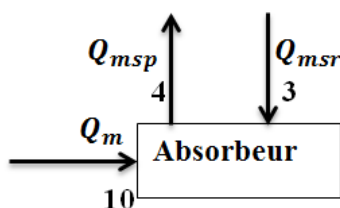
La puissance frigorifique du évaporateur (ϕ_e)

$$\phi_e = Q_m(h_{10} - h_9) \quad (k_W) \quad (I.8)$$

Le générateur:

La puissance du générateur (ϕ_g)

$$\phi_g = Q_m h_7 + Q_{msr} h_1 - Q_{msp} h_6 \quad (k_W) \quad (I.9)$$

L'absorbeur :

La puissance du l'absorbeur (ϕ_a)

$$\phi_a = Q_m h_{10} + Q_{msr} h_3 - Q_{msp} h_4 \quad (k_W) \quad (I.10)$$

La pompe :

La puissance thermique conservée par le compresseur (ϕ_p)

$$\phi_p = Q_{msp}(h_5 - h_4) \quad (k_W) \quad (I.11)$$

La pompe est considérée négligeable ($h_5 \approx h_4$)

Le coefficient de performance :

$$\text{COP} = \frac{\phi_e}{\phi_g} = \frac{Q_m(h_{10} - h_9)}{Q_m h_7 + Q_{msr} h_1 - Q_{msp} h_6} \quad (\text{I.12})$$

III.1.2.1 Exemple de calcul d'un système frigorifique à absorption:

$$T_B = 80 \text{ °C}, T_C = 40 \text{ °C}, T_E = 16 \text{ °C}, T_A = 30 \text{ °C}, T_o = 30 \text{ °C}, \phi_o = 50 \text{ kW}$$

❖ L'utilisation de diagramme (P.T.X) pour déterminer X_{SR} , X_{SP} .

$$T_C = P_C \text{ Donc } X_{SR} = 58\%$$

$$T_E = P_E \text{ Donc } X_{SP} = 43.44\%$$

❖ Calcule thermodynamique:

- $H_7 = T_B * 1.88 + 2501$
 $H_7 = 2651.4 \text{ (kJ/kg)}$
- $H_8 = H_9 = T_C * 4.19$
 $H_8 = H_9 = 167.6 \text{ (kJ/kg)}$
- $H_{10} = T_E * 1.88 + 2501$
 $H_{10} = 2531.08 \text{ (kJ/kg)}$
- $Q_{me} = \frac{\phi_o}{H_{10} - H_9}$
 $Q_{me} = 0.021 \text{ (kg/s)}$
- $Q_{msp} = \frac{Q_{me}}{(1 - \frac{X_{SP}}{X_{SR}})}$
 $Q_{msp} = 0.081 \text{ (kg/s)}$
- $Q_{msr} = \frac{Q_{me}}{(\frac{X_{SR}}{X_{SP}} - 1)}$
 $Q_{msr} = 0.06 \text{ (kg/s)}$

❖ La détermination des enthalpies par l'utilisation de diagramme (h.t.x):

- $H_1 (T_B = 80 \text{ °C}, X_{SR} = 58)$
Donc $H_{10} = 184.78 \text{ (kJ/kg)}$
- $H_5 = H_4 = (T_A = 30 \text{ °C}, X_{SP} = 43.44)$

Donc:

$$H_5 = H_4 = 56.52 \text{ (kJ/kg)}$$

- $H_6(T_6 = 57^\circ\text{C}, X_{SP} = 43.44)$
 $H_6 = 106.74 \text{ (kJ/kg)}$

- Calcule $H_2=H_3$:

$$Q_{msp}(H_6 - H_5) = Q_{msr}(H_1 - H_2)$$

$$\text{Donc } H_2 = H_1 - \frac{Q_{msp}(H_6 - H_5)}{Q_{msr}}$$

$$H_2 = H_3 = 116.98 \text{ (kJ/kg)}$$

❖ Calcule puissance ϕ_C, ϕ_A, ϕ_B

- $\phi_C = Q_{me}(H_7 - H_8)$
 $\phi_C = 52.15 \text{ (Kw)}$
- $\phi_A = Q_{msr}H_3 + Q_{me}H_{10} - Q_{msp}H_4$
 $\phi_A = 55.42 \text{ (kw)}$
- $\phi_B = Q_{me}H_7 + Q_{msr}H_1 - Q_{msp}H_6$
 $\phi_B = 58.12 \text{ (kw)}$
- $\phi_0 + \phi_B = \phi_C + \phi_A$
 $108.12 \approx 107.57$

❖ Le coefficient de performance:

- $COP = \frac{\phi_0}{\phi_B}$
 $COP = 0.86$

Partie 2: Résultats et discussion

III.2.1 Interprétation des résultats:

L'étude de l'influence des certains paramètres sur le coefficient de performance dans la machine frigorifique à compression mécanique et aussi dans la machine frigorifique à absorption pour trouver les valeurs optimal afin d'améliorer le fonctionnement.

III.2.1.1 Système frigorifique à compression:

a. L'influence de température d'évaporateur sur le COP :

La figure III.2 représente la variation du COP en fonction de température d'évaporateur pour différentes valeurs de température de condenseur.

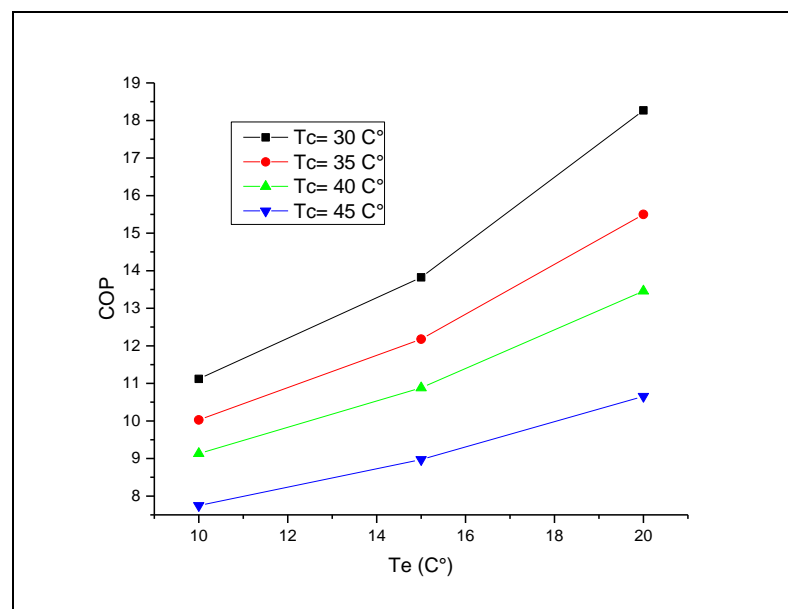


Figure III.3: Influence de la température du l'évaporateur sur le COP

On constate que la variation du COP s'accroît avec la diminution de la température de condensation (donc un bon refroidissement du ff), et le COP augmente avec le croissement de la température d'évaporation. (Le travail de compressions diminuées, donc le COP augmente).

b. L'influence de température de condenseur sur le COP:

La figure III.3 représente la variation du COP en fonction de température du condenseur pour différentes valeurs de température du l'évaporateur.

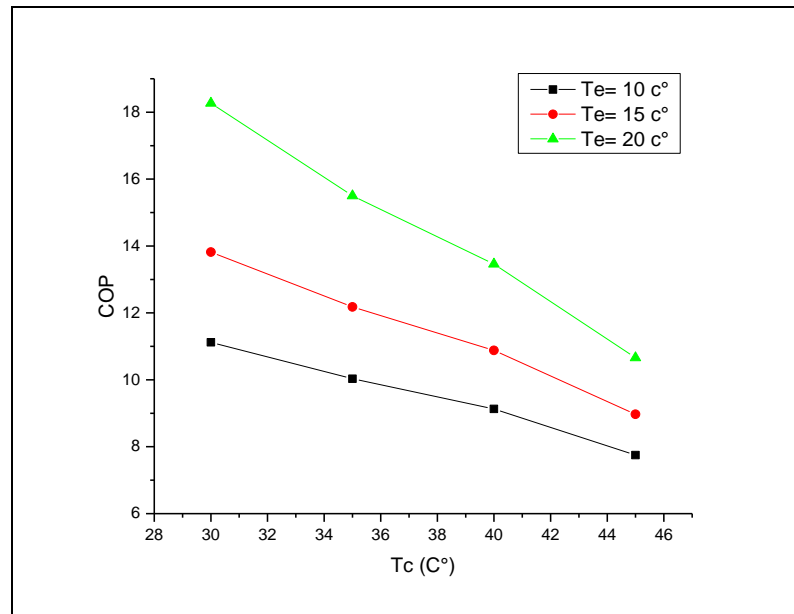


Figure III.4: Influence de la température du condenseur sur le COP

Les résultats montrent que la croissance de la température du condenseur fait diminuer la valeur du COP. (Cela influe directement sur le refroidissement du ff à HP au niveau du condenseur), d'autre part pour une température d'évaporation relativement élevée (température de climatisation), le COP augmente C'est à dire que la machine frigorifique atteint la température désiré sans que le compresseur fournit un travail de compression important.

c. L'influence de puissance théorique consommée par le compresseur sur le COP:

La figure III.4 représente de la variation du COP en fonction de puissance théorique pour des différentes valeurs de puissance frigorifique (ϕ_0).

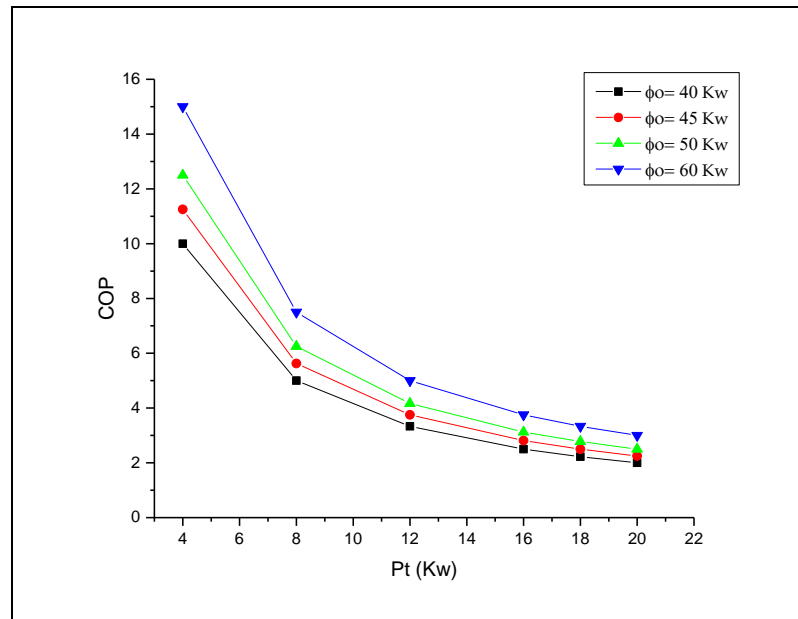


Figure III.5: Influence de la puissance théorique sur le COP

Les résultats montrent que le COP croît en diminuant la puissance théorique consommée par le compresseur P_t , on a un meilleur COP pour un travail de compression réduit (on sait que le travail de compression influence sur la puissance théorique consommée par le compresseur d'après le calcul thermodynamique on peut constater que le COP est proportionnel à la puissance frigorifique et inversement proportionnel à la puissance théorique consommée par le compresseur).

III.2.1.2 Système frigorifique à absorption:

a. L'influence de la puissance de bouilleur sur le COP:

La figure III.6 représente la variation du COP en fonction de la puissance de bouilleur (Φ_b) pour des différentes valeurs de puissance frigorifique (Φ_o).

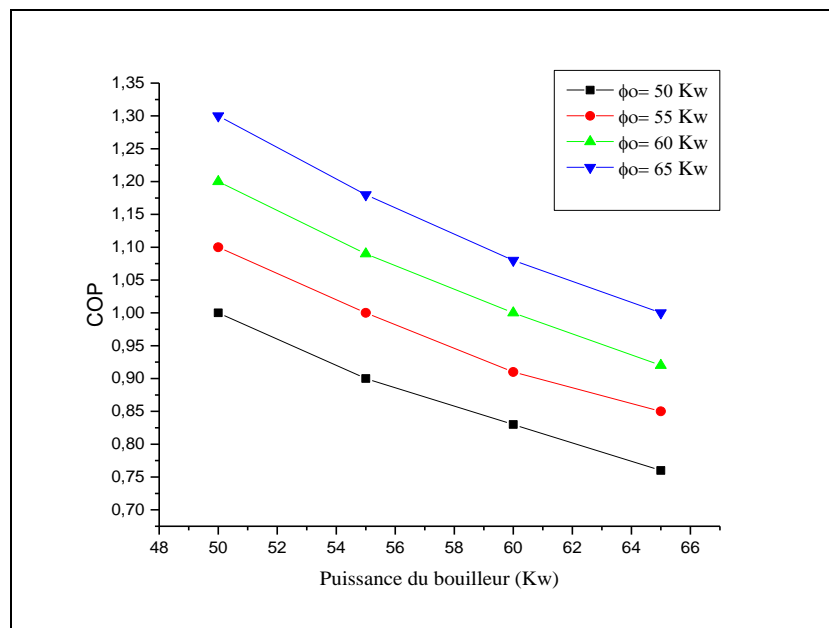


Figure III.6: Influence de puissance de bouilleur (ϕ_b) sur le COP

Le COP diminue avec l'augmentation de la puissance de bouilleur (ϕ_b). (Le COP est inversement proportionnel à la puissance de bouilleur (ϕ_b), si (ϕ_b) augmente donc coût élevé.

III.3 Comparaison des Coûts de consommation d'électricité et du gaz naturel pour La production du froid:

La comparaison à été faite par les modèles mathématiques suivant :

Local de (4 (m) *5 (m)), Surface = 20m²

1 euro = 115 DA

1 kWh (ele) = 4,26(euro/m²)

1 kWh (gaz) = 0,166(euro/m²)

$Cout_{ele} = P_t(kWh) * 4,26(euro/m^2) * 20(m^2)$

$Cout_{gaz} = \phi_B(kWh) * 0,166(euro/m^2) * 20(m^2)$ [28]

		ϕ_0 (kWh)	0,014	0,02	0,022	0,03	0,045	0,05	0,07
Electrique	COP= 2,5	Pt (kWh)	0,0056	0,008	0,0088	0,012	0,018	0,02	0,028
		Euro (€)	0,023856	0,03408	0,037488	0,05112	0,07668	0,0852	0,11928
		Dinar (DZ)	2,5946978	3,7067112	4,0773823	5,5600668	8,3401002	9,266778	12,973489
	COP= 5	Pt (kWh)	0,0028	0,004	0,0044	0,006	0,009	0,01	0,014
		Euro (€)	0,011928	0,01704	0,018744	0,02556	0,03834	0,0426	0,05964
		Dinar (DZ)	1,2973489	1,8533556	2,0386912	2,7800334	4,1700501	4,633389	6,4867446
	COP= 8	Pt (kWh)	0,00175	0,0025	0,00275	0,00375	0,005625	0,00625	0,00875
		Euro (€)	0,007455	0,01065	0,011715	0,015975	0,0239625	0,026625	0,037275
		Dinar (DZ)	0,8108431	1,1583473	1,274182	1,7375209	2,6062813	2,8958681	4,0542154

Tableau III.1: Coût d'électricité en utilisant la compression mécanique pour différent valeurs de COP

		ϕ_0 (kWh)	0,014	0,02	0,022	0,03	0,045	0,05	0,07
Absorption	COP= 0,2	ϕ_b (kWh)	0,07	0,1	0,11	0,15	0,225	0,25	0,35
		Euro (€)	0,01162	0,0166	0,01826	0,0249	0,03735	0,0415	0,0581
		Dinar (DZ)	1,2638493	1,805499	1,9860489	2,7082485	4,0623728	4,5137475	6,3192465
	COP= 0,8	ϕ_b (kWh)	0,0175	0,025	0,0275	0,0375	0,05625	0,0625	0,0875
		Euro (€)	0,002905	0,00415	0,004565	0,006225	0,0093375	0,010375	0,014525
		Dinar (Dz)	0,3159623	0,4513748	0,4965122	0,6770621	1,0155932	1,1284369	1,5798116
	COP= 1,4	ϕ_b (kWh)	0,01	0,0142857	0,0157143	0,0214286	0,0321429	0,0357143	0,05
		Euro (€)	0,00166	0,0023714	0,0026086	0,0035571	0,0053357	0,0059286	0,0083
		Dinar (DZ)	0,1805499	0,2579284	0,2837213	0,3868926	0,580339	0,6448211	0,9027495

Tableau III.2: Coût de gaz en utilisant un système à l'absorption pour différent valeurs de COP

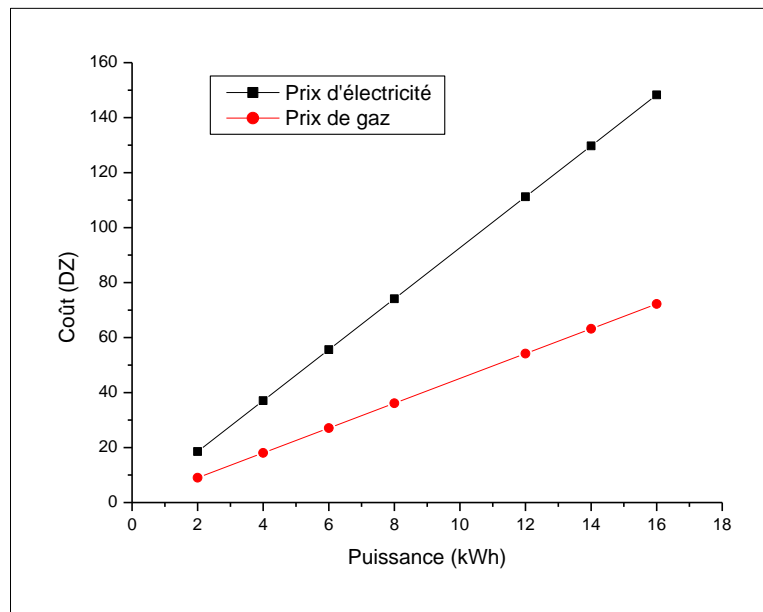


Figure III.7: Comparaison entre le coût d'électricité et de gaz

D'après les résultats de calcul, on constate que le coût de production du froid, en utilisant les systèmes frigorifique à absorption (la chaleur fournie au niveau du bouilleur par le gaz naturel) est inférieur au système à compression mécanique utilisant le propane comme fluide frigorigène (consommation d'électricité), surtout que le gaz naturel en Algérie est subventionné par l'état, une grande différence par rapport à l'énergie électrique.

Conclusion générale

L'Algérie possède des réserves immenses en gaz naturel, et placée au quatrième rang en possédant 10% environ des réserves mondiales, donc l'exploitation du gaz naturel est justifiée afin d'apaiser la pression sur la grande consommation d'électricité qui est coûteuse surtout dans le domaine de la climatisation.

Cette étude a permis de confirmer le gain offert par la machine frigorifique à absorption qui axé sur le choix du gaz naturel comme source directe dans l'espace de réfrigération, d'une part sur l'investissement de gaz comme source d'énergie et d'autre part, par rapport aux systèmes à compression sur la substitution des fluides frigorigènes qui n'a aucune incidence néfaste envers l'environnement.

Les résultats montrent que la croissance de la température du condenseur fait diminuer la valeur du COP, cela influe directement sur le refroidissement du fluide à HP au niveau du condenseur, d'autre part pour une température d'évaporation relativement élevée (température de climatisation), le COP augmente. C'est à dire que la machine frigorifique atteint la température désirée sans que le compresseur fournisse un travail de compression important.

Pour une machine frigorifique à absorption, le COP diminue avec l'augmentation de la puissance de bouilleur (ϕ_b). (Le COP est inversement proportionnel à la puissance de bouilleur (ϕ_b)).

On constate que le coût de production du froid, en utilisant les systèmes frigorifiques à absorption (la chaleur fournie au niveau du bouilleur par le gaz naturel) est inférieur au système à compression mécanique (consommation d'électricité), surtout que le gaz naturel en Algérie est subventionné par l'état.

Cette étude peut être complétée par une étude économique approfondie du système de production du froid en général.

Références bibliographiques

- [1] Maxime Duminil, Généralités, BE9730, Théorie des machines frigorifiques, Techniques de l'Ingénieur, 2012.
- [2] Bulletin N°2002-1 Institut International du Froid historique (IIF).
- [3] Jean-Pierre, Machine à compression mécanique, BE9740, Théorie des machines frigorifiques, Techniques de l'Ingénieur, 2014.
- [4] Georges VRINAT, Froid et développement durable, BE9740, Machines frigorifiques industrielles, Techniques de l'Ingénieur, 2009.
- [5] 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.
- [6] Mouad Diny, Thèse de doctorat Mécanique et Energétique (Etude du fonctionnement d'une machine frigorifique a adsorption modélisation des transferts de chaleur et de masse et optimisation du fonctionnement de la machine), Université Henri Poincaré-Nancy1.
- [7] Chougui Mohamed Lamine, Mémoire de magister Génie Climatique (simulation et étude comparée de cycle à Absorption (BrLi/H₂O) à usage de froid, Cas de L'unité de production de détergent Henkel) Université de Mentouri Constantine, 2010.
- [8] Amziane Mohamed Amziane, Mémoire de magister Energies renouvelables (Etude comparative entre les systèmes de climatisation classiques et solaire Application à la climatisation d'un immeuble), Université Abou Berk Belkaid-Tlemcen, 2014.
- [9] Jean Lebrun et Vincent Lemort (Machines et systèmes Thermiques), Université de Liège, 2007.
- [10] Lakroune Abdelghani, Mémoire de magistères génie-Climatique (Nouveaux mélanges frigorigènes pour les pompes à chaleur), Université de Mentouri-Constantine, 2008.
- [11] Chekirou Wassila, Thèse de doctorat énergétique (Etude et analyse d'une machine frigorifique solaire à adsorption), Université de Mentouri-Constantine, 2008.
- [12] Hadj Imad, Bensidhoum Abdelkader, Mémoire de master Génie Thermique et Energies Renouvelables (Contribution à l'amélioration des performances des installations à réfrigération solaire à absorption), Université Aboubakr Belkaid Tlemcen, 2013.

- [13] Derdari Mohamed, Dou Brahim, Drihem Omar. Mémoire d'ingénieur Génie Mécanique (Etude d'un cycle à éjecto-compression), Université d'Ouargla 2011.
- [14] Chara Ahmed, Slimani Abdelaziz, Mémoire de master Génie Mécanique Energétique (Etude d'un système de réfrigération solaire cas d'une machine frigorifique a absorption), Université Ouargla 2013.
- [15] Gilles KIMMERLIN, BE8555, Gaz naturel, Techniques de l'Ingénieur, 2010.
- [16] Berretima El Hadj Belkacem, Aribi Lakhdar, Mémoire de master Génie des Procédés (La déshydratation du gaz Techniques et Problèmes), Université d'Ouargla, 2013.
- [16] Zane Brahim, Berkat Soumaya, Mémoire de master Génie des Procédés (Etude et vérification de la capacité déshydratation de gaz par tamis moléculaire au niveau de complexe GL1K SKIKDA), 2013.
- [17] Yahiaoui Amirouche, Mémoire de master Génie des procédés (Etude de la faisabilité de l'augmentation de la charge liquide sur le fonctionnement des équipements de la section de stabilisation du condensat), Université de houari Boumediene, 2009.
- [19] CIA World Factbook, 2010-2013.
- [20] Bilan énergétique national de l'année 2013, Sonatrach.
- [21] Cedigaz and the OPEC secretariat, 2013.
- [22] BP Statistical Review of World Energy, 2013.
- [23] Nini Issam, Bezzi Ahmed, Mémoire de magistères Génie des procédés chimiques et pharmaceutiques (détermination des paramètres opératoires de debutaniseur dans le but de réduire le bilan énergétique de l'installation) Université M'Hamed Bougara Boumerdes 2005.
- [24] FMI, Annexe statistique de l'Algérie, 2013.
- [25] APS, Economie, Sonatrach, 2015.
- [26] Wp 4b-Energy and climate change miligation, MEDPRO Technical Report N°18, 2012.
- [27] INVENTEC, Performance chemicals, 69802 St priest, France, 2009.
- [28] Khamouli Adem, Mémoire de master Energétique (Evaluation of energy in the residential sector in algeria and 2040 outlook) Université d'Ouargla, 2014.

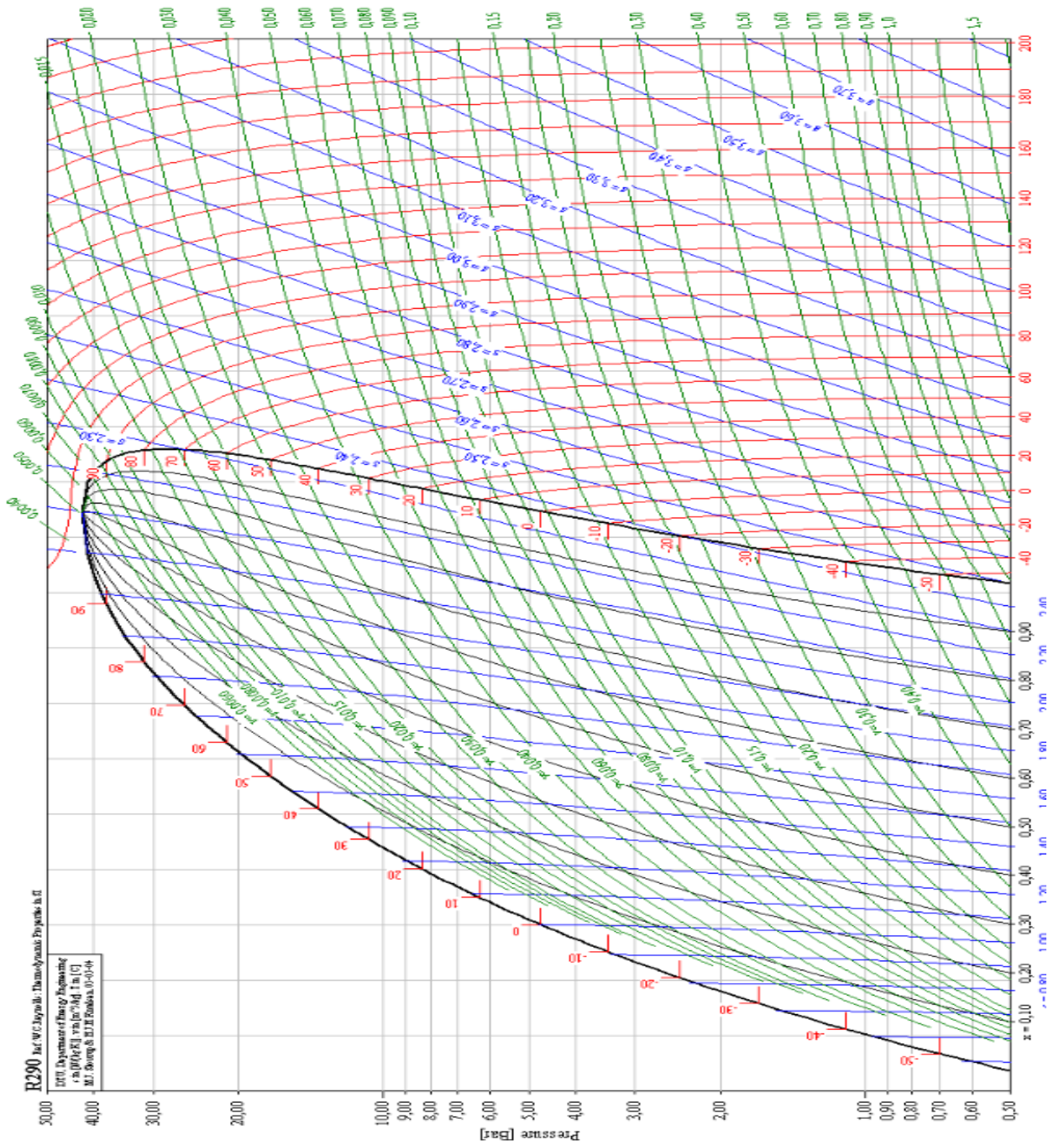
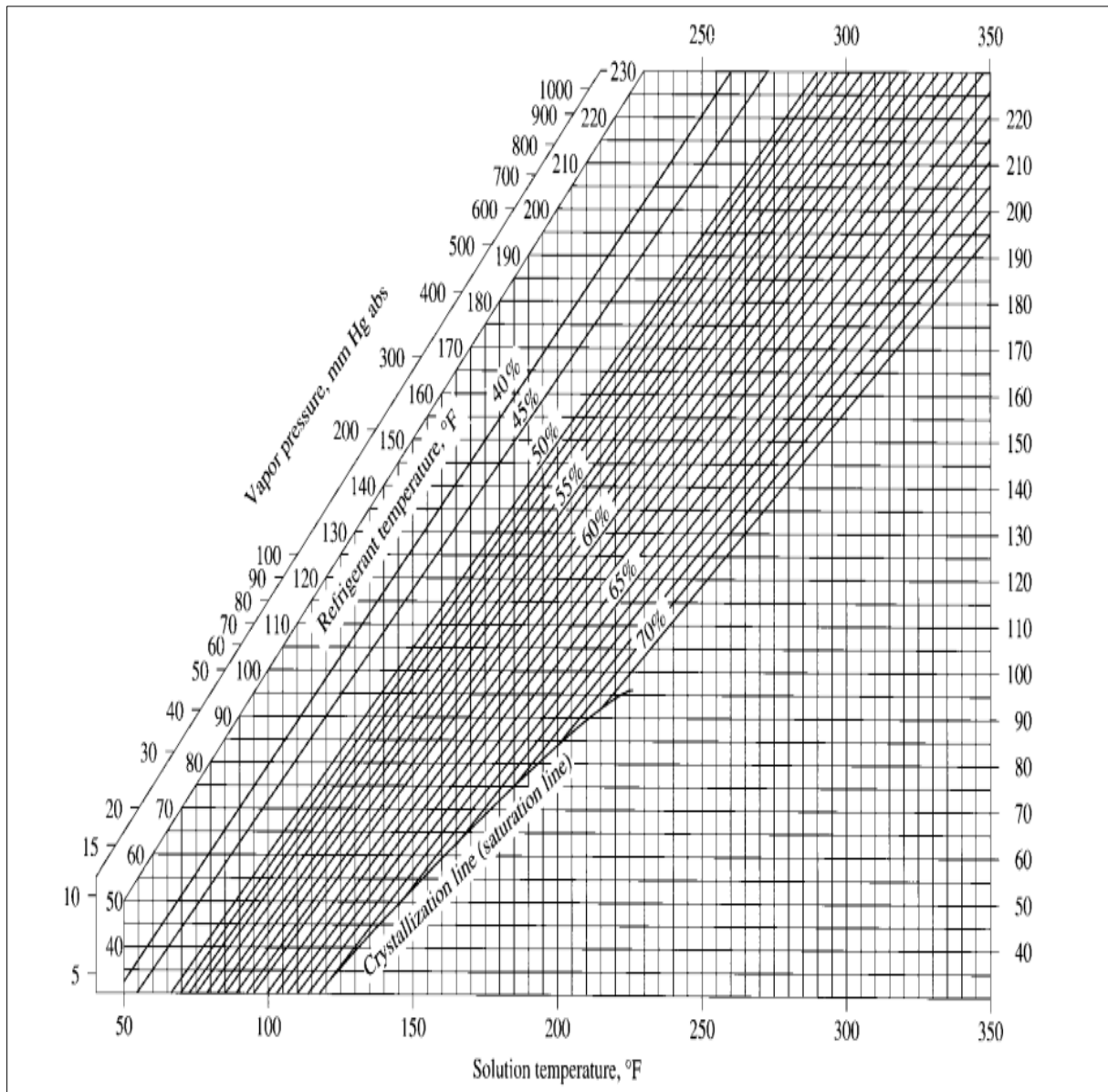


Diagramme l'enthalpique R290

**Diagramme d'Oldham**

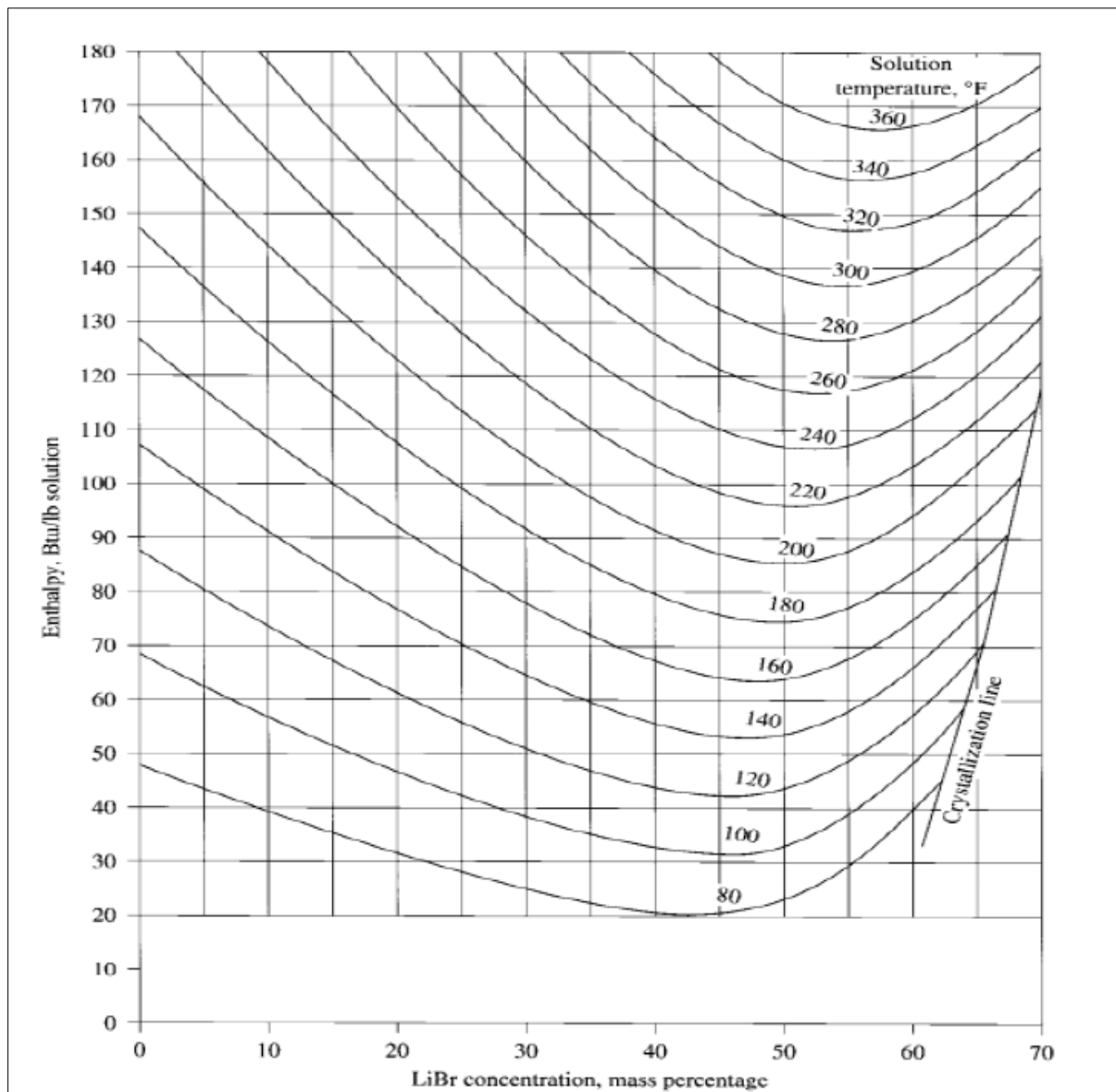


Diagramme de Markel