



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Kasdi Merbah d'Ouargla

Faculté des Sciences Appliquées

Département de Génie Mécanique

Mémoire

Présenté pour l'obtention du Diplôme de

MASTER ACADEMIQUE

Filière : Génie Mécanique

Spécialité : Energétique

Présenté par :

Laimeche Mohammed Laid Akram

Deblaoui Sofiane

Thème :

*Etude des Fluide frigorigène de
substitution*

Soutenue : 15/06/2021

Devant le jury composé de :

- | | | | |
|-------------------------|------------------|--------------|--------------------|
| • Dr. Guermit Tahar | <i>Encadreur</i> | <i>M.C.B</i> | <i>UKM Ouargla</i> |
| • Dr. Cherrad Nouredine | <i>Président</i> | <i>M.C.B</i> | <i>UKM Ouargla</i> |
| • Dr. Kina Med Saleh | <i>Examineur</i> | <i>M.C.B</i> | <i>UKM Ouargla</i> |

Année universitaire 2020/2021

Remerciements

*En tout premier lieu, nous remercions **ALLAH** de nous avoir
donné la force,*

*La patience et la chance d'étudier et le courage pour dépasser
toutes les Difficultés de ce travaille*

Nous tenons à exprimer notre

Profonde gratitude et nos vifs remerciements à

*Notre promoteur **Mr. Guermit Taher**, pour sa disponibilité, ses*

*Précieux conseils et sa contribution dans l'élaboration de ce
travail et la confiance qu'il Nous a accordés.*

*Nous remerciment s'adressent aussi à Monsieur **Mr. Cherrad***

***Noureddine** pour avoir accepté de présider ce jury.*

*Nous voudrions également remercier **Mr. Kina Med Saleh** pour
avoir accepté d'examiner ce travail.*

*Nous tenons, enfin, à remercier **Mr. Ridha cherraye, Belkheir***

***Settou et Zine Elabidine Benarima** pour leurs aides qui ma
apporte pendant la rédaction de mon mémoire*

Dédicace

Nous dédions ce travail à :

Nos Parents

Nos frères et seures

Nos cousins et cousines

*A toutes nos amis, et nos collègues de la promotion de master
en génie mécanique 2020/2021*

*En fin nous dédions ce travail à toutes les personnes qui de
près ou de loin m'ont apporté leurs aides*

Sommaire

Remerciements	I
Sommaire	III
Abréviations	VII
Nomenclatures	VIII
Liste des tableaux	IX
Liste des figures.....	IX
Introduction général.....	1
chapitre 1 : Impacts des fluides frigorigènes sur l'environnement	2
1.1 Introduction :.....	3
1.2 Les fluides frigorigènes	3
1.2.1 Définition des fluides frigorigènes	3
1.3 Différents types de fluides frigorigènes.....	4
Les fluides peuvent être classés en quatre familles :.....	4
1.3.1 Fluides inorganiques purs.....	4
1.3.2 Fluides hydrocarbures	5
1.3.3 Fluides hydrocarbures halogènes	5
1.3.4 Famille des autres fluides frigorigènes.....	7
1.4 Les séries des fluides frigorigènes	7
1.4.1 SERIE R400	7
1.4.2 SERIE R500 :	8
1.4.3 SERIE R600	8
1.4.4 SERIE R700	8
1.5 Classification des fluides frigorigènes en groupe de sécurité.....	9
1.6 Classement de l'inflammabilité des fluides frigorigènes.....	9
1.6.1 Compose inorganique.....	9
1.6.2 Compose Organique	10

1.7	Les Critères de choix d'un fluide frigorigène	11
1.7.1	Les critères environnementaux (ODP, GWP)	12
1.7.1.1	<i>ODP (Ozone Depletion Potential)</i>	12
1.7.1.2	GWP ou (PRG).....	12
1.7.2	Les Critères thermodynamiques	13
1.7.3	Les Critères de sécurité	13
1.7.4	Les Critères techniques.....	14
1.7.5	Les Critères économiques.....	14
1.8	Impacts des fluides frigorigènes sur l'environnement.....	14
1.8.1	L'effet de serre et le réchauffement climatique.....	15
1.8.2	Le mécanisme physique de l'effet de serre	15
1.8.3	Destruction de la couche d'ozone.....	16
1.8.3.1	L'atmosphère.....	16
1.8.3.2	Formation de l'ozone	16
1.8.3.3	Equations de la destruction de l'ozone.....	17
1.8.3.4	Formation du trou d'ozone	17
1.8.4	Le Protocole de Montréal	18
1.8.4.1	Conséquences du protocole.....	18
1.8.5	Protocole de Kyoto	18
	chapitre 2 : Synthèse des fluides frigorigènes de remplacement	20
2.1	Introduction.....	21
2.1.1	Historique	21
2.2	Les fluides frigorigènes non polluant pour l'environnement.....	23
2.2.1	Description de quelques fluides frigorigènes	23
2.2.1.1	Le fluide R502.....	23
2.2.1.2	Le fluide R23.....	23
2.2.1.3	Le fluide R134a.....	24
2.2.1.4	Le fluide R410A	24

2.2.1.5 Le fluide R404.....	25
2.2.2 Différents types de fluides frigorigènes	25
2.3 Les fluides frigorigènes utilisés sont divisés en deux familles.....	25
2.3.1 Les frigorigènes naturels	25
2.3.2 Les frigorigènes anthropiques	26
2.3.2.1 Chlorofluorocarbures (CFC)	26
2.3.2.2 Hydrochlorofluorocarbures (HCFC)	26
2.3.2.3 Hydrofluorocarbures (HFC)	26
A. Les mélanges HFC/HFO	27
B. Mélanges de transition	27
2.3.2.4 Hydrofluorooléfine (HFO)	28
2.3.3 Les hydrofluorooléfine (HFO) à faible GWP.....	29
2.3.3.1 Introduction d'un nouveau fluide réfrigérant R1234yf.....	31
2.3.3.2 HFO-1234yf remplaçant de HFC-134a.....	32
C. Domaine d'application	32
D. Inflammabilité.....	32
E. Exposition et danger.....	34
2.4 Conclusion.....	34
chapitre 3 : Etude Thermodynamique En Utilisant le R1234yf.....	36
3.1 Introduction.....	37
3.2 Le 2, 3, 3,3-tétrafluoropropène, HFO-1234yf ou R-1234yf	37
3.2.1 Définition.....	37
3.2.2 Principales caractéristiques du R1234yf	37
3.2.3 Propriétés thermodynamiques	37
3.2.4 Toxicité.....	38
3.2.5 Environnemental.....	39
3.2.6 Inflammabilité	39
3.2.7 Stockage	40

3.3	Propriétés physiques de R1234yf	41
3.4	Etude Thermodynamique.....	42
3.5	Méthodologie de calcul.....	42
3.5.1	Influence de la température d'évaporation sur le COP	44
3.5.2	Influence de la température de condensation sur le COP :.....	45
3.5.3	Influence de la puissance du compresseur sur le COP :.....	46
3.5.4	Influence de la puissance frigorifique sur le COP:.....	47
3.6	Conclusion	48
	Conclusion générale.....	49
	Bibliographie.....	50
	Résumé.....	51

Abréviations

CFC	Chlorofluorocarbures
HCFC	Hydrochlorofluorocarbures
HFC	Hydrofluorocarbures
HFO	Hydrofluorooléfine
Cop	Coefficient de Performance
ODP	Ozone Déplétion Potentiel
DPA	la durée de présence atmosphérique
GWP	Global Waring Potentiel
PACO	Pouvoir d'Appauvrissement de la couche d'ozone
PRG	Potentiel de réchauffement global
Dpa	la durée de présence atmosphérique
PFC	les perfluorocarbures
Sf6	l'hexafluorure de soufre
UFL	Upper flammable limit
LFL	Lower flammability limit

Nomenclatures

		Unités
Q_m	Le débit massique	$kg * s^{-1}$
q_{0m}	Capacité de réfrigération massique	$kJ*kg^{-1}$
ϕ_c	La puissance calorifique du condenseur	kW
ϕ_0	la puissance frigorifique	kW
TEWI	Total Equivalent Warming Impact (Effet de serre équivalent total)	kg
mi	charge initiale de fluide frigorigène	kg
dr	efficacité de récupération lors de la mise au rebut (kg de fluide récupéré/charge Initiale)	$kg*kg^{-1}$
de	taux d'émission annuel	$kg*kg^{-1}$
E	consommation journalière d'électricité	$kWh*jour^{-1}$
bt	émission de CO ₂ par kWh d'énergie électrique produite	$kg *kWh^{-1}$
tt	nombre de jours de fonctionnement annuel (jours/an)	$Jour*an^{-1}$
nt	durée de vie de l'installation (an)	an
Te	Température d'évaporation	K°
Tc	Température de condensation	K°
Pt	La puissance consomme par le compresseur	kW

Liste des tableaux

Tableau (1.1) Classification des Fluides inorganique pure	5
Tableau (1.2) Classification des fluides hydrocarbures	5
Tableau (1.3) Classification des fluides Chlorofluorocarbures	6
Tableau (1.4) Classification des fluides Hydrochlorofluorocarbures	6
Tableau (1.5) Classification des fluides hydrofluorocarbures	6
Tableau (1.6) Classification des autres fluides.....	7
Tableau (1.7) Classification des fluides frigorigènes en groupes de sécurité et l'inflammabilité ...	9
Tableau (1.8) Classification de les compose inorganique en groupes de sécurité et l'inflammabilité.....	9
Tableau (1.9) Classification de les compose organique en groupes de sécurité et l'inflammabilité.....	10
Tableau (1.10) Classification des Hydrocarbures halogènes en groupes de sécurité et l'inflammabilité.....	10
Tableau (2.1) représentation de quelques gaz frigorigènes dont l'utilisation est interdite ou limitée et leur substituant	28
Tableau (2.2) Suffixe proposé pour les isomères de propène	30
Tableau (2.3) Propriétés de HFO 1234yf et HFCF 134a	31
Tableau (2.4) les paramètres d'inflammabilité du HFO-1234yf	33
Tableau (3.1) HFO-1234yf thermodynamique propriété	38
Tableau (3.2) Résumé de la toxicité et de l'environnement du HFO-1234yf.....	39
Tableau (3.3) HFO-1234yf Résumé d'inflammabilité	40
Tableau (3.4) propriétés physiques de r1234yf.....	41

Liste des figures

Figure(1.1)Représentation d'un cycle frigorifique.....4
Figure (1.2) Composant de fluide frigorigènes8
Figure (2.1) représentation de développement des fluides frigorigènes29
Figure (2.2) Exemple de nomenclature de réfrigérants HFO (R1234ye (Z)).....30
Figure (2.3) composants de R1234YF31
Figure (3.1) Cycle d'une installation frigorifique a compression mécanique simple42
Figure (3.2) Influence de la température du l'évaporateur sur le COP.....44
Figure (3.3) Influence de la température du condenseur sur le COP45
Figure (3.4) Influence de la puissance du compresseur sur le COP.....46
Figure (3.5) Influence de la puissance frigorifique sur le COP47

Introduction général

La plupart des systèmes de réfrigération actuellement utilisés sont des installations à compression mécanique, Ces systèmes de réfrigération utilisent des réfrigérants, mais la plupart de ces fluides ont un impact néfaste pour l'environnement.

Les restrictions environnementales fixées par le protocole de Montréal (protection de la couche d'ozone), Kyoto (protection du climat) et récemment la COP24 nécessitent l'exploration et l'exploitation de nouveaux fluides. Alors que les réfrigérants Hydrofluorocarbures (HFC) n'ont pas de potentiel d'appauvrissement de la couche d'ozone, mais ont un potentiel de réchauffement planétaire relativement élevé. Des efforts considérables ont été faits depuis un certain temps pour étudier les frigorigènes tels que le dioxyde de carbone et les fluides hydrocarbures pour remplacer les HFC. Des efforts de développement récents ont été faits pour étudier les oléfines halogénées (HFO) en tant que réfrigérants possibles pour les applications de réfrigération ou de climatisation. En raison de leurs bonnes propriétés environnementales, les HFO envisagent actuellement une nouvelle génération de réfrigérants. Plus important encore, en pratique, le système de réfrigération conventionnel peut encore être utilisé avec ou sans modification.

Dans le cadre de ce travail, nous avons choisis un fluide frigorigène de type hydrofluoroléfine (HFO), ces fluides ne sont pas polluant et ont de bonnes propriétés thermophysiques. Donc dans cette étude On va évaluer l'influence des différents paramètres sur le coefficient de performance de la machine frigorifique à savoir la température d'évaporation, la température de condensation, la puissance du compresseur et la puissance frigorifique, en choisissant le fluide frigorigène **HFO-1234yf** qui n'est pas nocif pour l'environnement.

Ce travail est organisé comme suit : une Introduction et trois chapitres

- **Le chapitre 1** Ce chapitre est consacré aux fluides frigorigènes, et leur Impact sur l'environnement, à savoir la détérioration de la couche d'ozone et le réchauffement du globe terrestre.
- **Le chapitre 2** Synthèse des fluides frigorigènes de remplacement, utilisation des réfrigérations non polluant pour l'environnement, et critères de sélection d'un fluide frigorigène.
- **Le chapitre 3** Le HFO-1234yf a été récemment identifié comme une alternative potentielle c'est pour cela qu'il été choisi pour l'étude de l'influence des différents paramètres sur le coefficient de performance d'une installation a compression mécanique simple.

En fin une conclusion

*chapitre 1 : Impacts des
fluides frigorigènes sur
l'environnement*

1.1 Introduction :

La Terre possède une atmosphère qui nous permet de vivre, la couche d'ozone est la partie de l'atmosphère se situant entre 20 et 50 kilomètres d'altitude (stratosphère), cette couche d'ozone nous protège en absorbant la plupart des rayons ultraviolets émis par le soleil.

Si la proportion des rayons qui réchauffent notre planète augmente considérablement, cela induira une hausse globale des températures terrestres.

Parmi les causes de ces phénomènes sont les fluides frigorigènes et leurs influences néfastes sur l'environnement.

Dans ce chapitre nous présentons les fluides frigorigènes et une étude détaillée sur l'impact des fluides frigorigènes sur l'environnement.

1.2 Les fluides frigorigènes

Les fluides frigorigènes sont des substances utilisées dans les systèmes de refroidissement (réfrigération et climatisation). Il existe plusieurs catégories de fluides frigorigènes qui diffèrent par leur composition chimique.

Les chlorofluorocarbures (CFC), les Hydrochlorofluorocarbures (HCFC) et les hydrofluorocarbures (HFC) en particulier font l'objet d'une réglementation spécifique.[1]

1.2.1 Définition des fluides frigorigènes

Un fluide frigorigène est une substance qui évolue dans le circuit d'une machine frigorifique et qui grâce à un phénomène endothermique consistant en un changement d'état faisant passer la substance de l'état liquide à l'état gazeux dans un évaporateur, permet de produire du froid par retrait de chaleur, celle-ci étant évacuée hors de la machine par un phénomène exothermique consistant à un changement d'état inverse du précédent, c'est-à-dire faisant passer la substance de l'état gazeux à l'état liquide.[1]

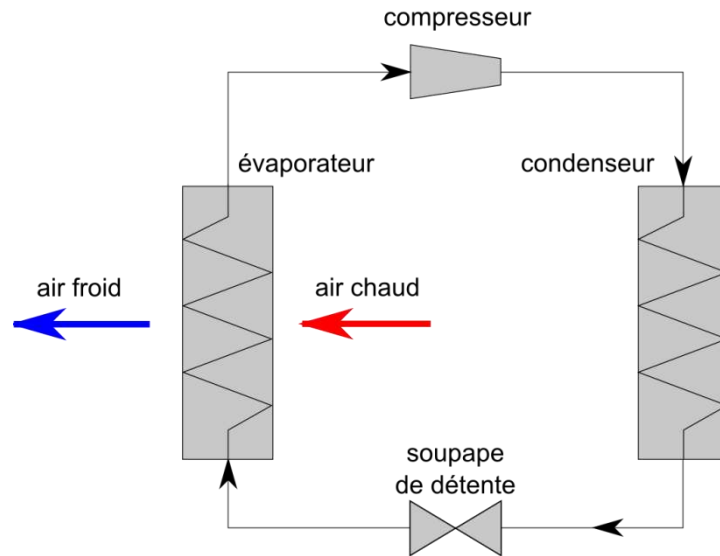


Figure (1.1) Représentation d'un cycle frigorifique

1.3 Différents types de fluides frigorigènes

Les fluides peuvent être classés en quatre familles :

1.3.1 Fluides inorganiques purs

Les fluides de cette famille sont principalement composés :

- **L'eau (H₂O) ou R718** : ne permet évidemment pas d'atteindre des températures inférieures à 0°C. On l'emploie pour la production de froid par absorption dans le domaine de la climatisation et pour les pompes à chaleur très hautes températures (150 °C et plus) ;

- **L'ammoniac (NH₃) ou R717** : est un frigorigène d'importance majeure. Les problèmes d'environnement que posent actuellement les chlorofluorocarbures (CFC), dont certains visaient à remplacer l'ammoniac, accroissent encore son rôle. Malheureusement, les règlements de sécurité sont de plus en plus contraignants vis à vis de ce fluide.[2]

- **L'autre composé inorganiques**, comme le dioxyde de soufre (SO₂) et le dioxyde de carbone (CO₂), qui ont joué dans le passé un grand rôle dans la technique frigorifique, ne sont

Plus utilisés aujourd'hui en raison de leurs inconvénients. Certains aimeraient pourtant redonner un certain essor au dioxyde de carbone.[2]

Tableau (1.1) Classification des Fluides inorganique pure

Fluides inorganique pure		
R717	R718	R744

1.3.2 Fluides hydrocarbures

Les fluides de cette famille peuvent être composés :

- De butane
- D'isobutane
- De propane
- De cyclopropane
- Le propylène

Tableau (1. 2) Classification des fluides hydrocarbures

Fluides hydrocarbures				
RC270	R290	R600	R600a	R1270

1.3.3 Fluides hydrocarbures halogènes

Les fluides de cette famille sont très largement utilisés mais font désormais l'objet d'interdictions, notamment pour des raisons de toxicité environnementale. Cette famille de fluides se divise en trois catégories qui sont les CFC, les HCFC et les HFC. [2] [2] [2]

Les CFC (Chlorofluorocarbures) : Ce sont les plus connus hydrocarbures halogénés. Complètement substitués par le chlore ou le fluor, ces hydrocarbures ne contiennent plus d'hydrogène. Ils sont dangereux pour la couche d'ozone.[2]

Tableau (1.3) Classification des fluides Chlorofluorocarbures

CFC				
R11	R12	R113	R115	R502

• Les **HCFC (Hydrochlorofluorocarbures)** : Il s'agit de la seconde génération d'hydrocarbures halogénés utilisés en tant que fluides frigorigènes. Ce sont des composants chimiques formés de chlore, de fluor, d'hydrogène et de carbone. Ils sont dangereux pour l'environnement et feront l'objet d'une interdiction totale vers 2015.[2]

Tableau (1.4) Classification des fluides Hydrochlorofluorocarbures

HCFC	
R21	R401A
R22	R402A
R123	R408A
R124	R409A
R142b	

• Les **HFC (Hydrofluorocarbures)** : Il s'agit de la troisième Génération d'hydrocarbures halogénés utilisés en tant que fluides frigorigènes. Les HFC sont composés de fluor, d'hydrogène et de carbone. Ils ne présentent pas de danger pour la couche d'ozone, mais ils peuvent contribuer à l'effet de serre.[2]

Tableau (1.5) Classification des fluides hydrofluorocarbures

HFC	
R32	R404A
R125	R407C
R134a	R410A
R143a	R507
R152a	

1.3.4 Famille des autres fluides frigorigènes

Les fluides de cette famille sont utilisés de façon très ponctuelle et rare. Ainsi on pourra trouver :

- Les éthers Oxyde
- Les amines aliphatiques
- Les alcools, le méthanol et l'éthanol
- Les composés tri halogénés, fluorés chlorés et bromés (HBCFC, BCFC).[2]

Tableau (1.6) Classification des autres fluides

Autres Fluides			
R630	R631	R12B1	R13B1

1.4 Les séries des fluides frigorigènes

1.4.1 SERIE R400

Les fluides de la série 400 sont des **mélanges azéotropiques** ayant donc un **glissement** de température en phase latente. Lorsque le gaz atteint l'ébullition, on parle de point de rosé.[3]

Exemples de mélanges :

- Le R407A est composé de R32 (20%), R125 (40%), R134a (40%)
- Le R407B est composé de R32 (10%), R125 (70%), R134a (20%)
- Le R422D est composé de R125 (64,1%), de R134a (31,5%) et de R600a (3,4%)

La numérotation est chronologique en fonction de l'acceptation des mélanges par l'ASHRAE. Pour distinguer des mélanges de même corps purs mais dans des proportions différentes, une lettre majuscule (A, B, C, D...) est ajoutée à la fin du code. Ex: R407A, R407B, R407C... La lettre R devant la série signifie réfrigérant. Cela nous indique que c'est un fluide frigorigène.[3]

1.4.2 SERIE R500

Les fluides de la série 500 sont des mélanges azéotropiques, n'ayant donc pas de glissement de température.[3]

Exemple de mélange : le R507 est composé de R125 (50%) et de R143a (50%) , On ne parle pas de point de rosé pour les gaz azéotropiques.

Les fluides de la série 500 sont des mélanges de corps purs avec des proportions précises. Ils se comportent comme un nouveau corps pur, sans glissement. [3]

1.4.3 SERIE R600

Un numéro de la série 600 est attribué aux composés organiques, les hydrocarbures, Les numéros sont attribués de façon successive.

Exemples : R600 (Butane), R600a (iso butane), R610 (éthyle éther), R611 (méthyle formate). [3]

1.4.4 SERIE R700

Un numéro de la série 700 est attribué aux composés inorganiques : ammoniac, dioxyde de carbone. La série commence par le chiffre 7 et les deux derniers chiffres correspondent à la masse molaire du composé.[3]

Exemple : R717 (masse molaire de l'ammoniac 17g/mol), ou encore le fluide R744 (masse molaire du dioxyde de carbone CO₂, 44g/mol). [3]

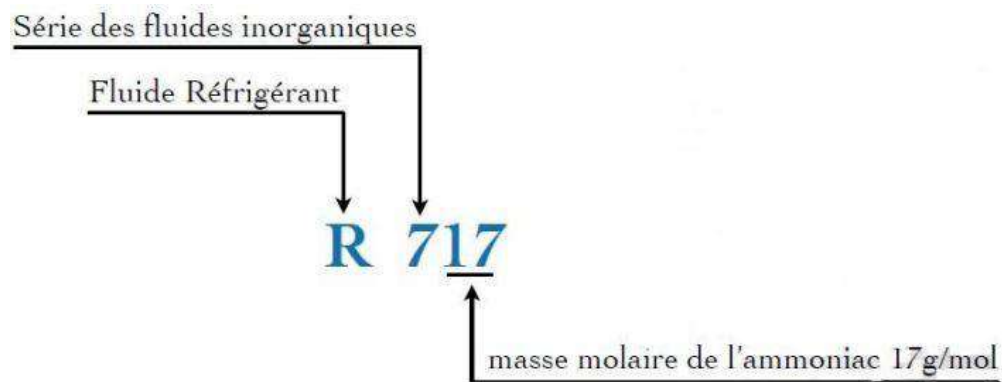


Figure (1.2) Composant de fluide frigorigène

1.5 Classification des fluides frigorigènes en groupe de sécurité

Cette classification est présentée par deux caractères alphanumériques, par exemple A2. La lettre majuscule correspond à la toxicité et le chiffre à l'inflammabilité du fluide.[3]

Classement de la toxicité des fluides frigorigènes : On distingue deux groupes A et B :

- **Le groupe A** pour lequel il n'y a pas de preuve de toxicité des fluides frigorigènes pour des concentrations inférieures ou égales à 400 ppm.
- **Le groupe B** pour lequel il y a des preuves de toxicité pour des concentrations inférieures à 400 ppm.

1.6 Classement de l'inflammabilité des fluides frigorigènes

On distingue trois groupes 1, 2 et 3 :

- **Le groupe 1** : le fluide frigorigène ne permet pas de propagation de la flamme dans l'air à 21°C et 101kPa.
- **Le groupe 2** : le fluide frigorigène a une limite inférieure d'inflammabilité supérieure à 0,10kg/m³ à 21°C et 101kPa et une chaleur de combustion inférieure à 19 kJ/kg.
- **Le groupe 3** : le fluide frigorigène est hautement inflammable avec une limite inférieure d'inflammabilité inférieure ou égale à 0,10kg/m³ à 21°C et 101kPa et une chaleur de combustion supérieure ou égale à 19 kJ/kg.[3]

Tableau (1.7) Classification des fluides frigorigènes en groupes de sécurité et l'inflammabilité

Faiblement toxique	Fortement toxique	
A3	B3	Hautement inflammable
A2	B2	Inflammable
A1	B1	Non inflammable

1.6.1 Compose inorganique

Tableau (1.8) Classification de les compose inorganique en groupes de sécurité et l'inflammabilité

R717	Ammoniac	B2
R718	Eau	A1
R744	Dioxyde De Carbone	A1

1.6.2 Compose Organique

➤ Hydrocarbures :

Tableau (1.9) Classification de les compose organique en groupes de sécurité et l'inflammabilité

R170	Ethan	A3
R290	Propane	A3
R600a	Iso butane	A3

➤ Hydrocarbures halogènes :

Tableau (1.10) Classification des Hydrocarbures halogènes en groupes de sécurité et l'inflammabilité

R11	CFC	Trichlorofluoromethane	A1
R12	CFC	Dichlorofluoromethane	A1
R22	HCFC	chlorodifluoromethane	A1
R141b	HCFC	1,1Dichloro-1-Fluoromethane	A2
R142b	HCFC	1-Chloro-1,1Difluoromethane	A2
R32	HFC	difluoromethane	A2
R125	HFC	pentafluoromethane	A1
R134a	HFC	1,1,1,2 tétrafluoroéthane	A1
R143a	HFC	1, 1,1- trifluoromethane	A2
R152a	HFC	1,1- difluoromethane	A2
R502	HFC	mélanges azéotropique	A1
R507	HFC	mélanges azéotropique	A1
R404A	HFC	mélanges azéotropique	A1
R410A	HFC	mélanges azéotropiques	A1

1.7 Les Critères de choix d'un fluide frigorigène

Un fluide frigorigène est un composé chimique facilement liquéfiable, dont on utilise la chaleur latente de vaporisation pour produire du froid. En général, un fluide frigorigène parfait devrait présenter les qualités suivantes :

- Chaleur latente de vaporisation très élevée.
- Point d'ébullition, sous pression atmosphérique, suffisamment bas compte tenu des conditions de fonctionnement désirées (température d'évaporation).[1]
- Faible rapport de compression, c'est-à-dire faible rapport entre les pressions de refoulement et d'aspiration.
- Faible volume massique de la vapeur saturée, rendant possible l'utilisation d'un compresseur et de tuyauteries de dimensions réduites.
- Température critique très élevée.
- Pas d'action sur le lubrifiant employé conjointement avec le fluide.
- Composition chimique stable dans les conditions de fonctionnement de la machine frigorifique.
- Pas d'action sur les métaux composant le circuit (ainsi par exemple l'ammoniac attaque le cuivre). Pas d'action sur les joints.
- Non inflammable et non explosif en mélange avec l'air.
- Sans effet sur la santé du personnel.
- Sans action sur les denrées à conserver.
- Sans odeur ou n'ayant qu'une faible odeur non désagréable.
- Fuites faciles à détecter et à localiser par méthode visuelle.
- Pas d'affinité pour les constituants de l'atmosphère.
- Etre d'un coût peu élevé et d'un approvisionnement facile.
- Pas d'action sur la couche d'ozone. [1]

1.7.1 Les critères environnementaux (ODP, GWP)

1.7.1.1 ODP (*Ozone Depletion Potential*)

C'est le pouvoir que possède une molécule de réfrigérant à détruire la couche d'ozone. Ou le potentiel d'appauvrissement de la couche d'ozone d'un réfrigérant est représenté par sa valeur ODP. Cette valeur est définie par rapport à l'impact du R11, qui sert, par convention, de fluide de référence (ODP R11 =1)[4]. Plus la valeur d'un fluide est réduite, moins son potentiel d'appauvrissement est grand. Cette valeur est dépendante de certains facteurs, comme la durée de vie atmosphérique et le nombre de chlore ou de brome dans la molécule, et est constamment adaptée en fonction des nouvelles observations réalisées.[1]

1.7.1.2 GWP ou (PRG)

Le GWP (Global Warming Potentiel) exprime le potentiel de réchauffement d'un gaz à effet de serre comparé à celui du dioxyde de carbone. Le GWP est fonction de deux paramètres :

La durée de présence atmosphérique (DPA) de la substance concernée et ses caractéristiques radiatives. Le GWP absolu s'exprime en Watt/an/ /ppm. En général les industriels utilisent un GWP relatif par rapport au GWP du dioxyde de carbone fixe à 1.[1]

Le concept de TEWI (Total Equivalent Warning Impact (Effet de serre équivalent total)) a été introduit pour prendre ces éléments en compte. La formule suivante permet de calculer les différentes contributions, Selon les applications, la contribution provenant de la consommation d'énergie peut être prépondérante ou, au contraire, la contribution provenant des émissions de fluide frigorigène est équivalente :

$$TEWI = (GWP \times m_i \times (1 - dr)) + [(GWP \times m_i \times de) + (E \times bt \times tt)] \times nt$$

Avec :

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

GWP : kg de CO₂ produit pendant la durée de vie de l'équipement

m_i : charge initiale de fluide frigorigène (kg)

- **dr** : efficacité de récupération lors de la mise au rebut (kg de fluide récupéré/charge Initiale)
- **de** : taux d'émission annuel (kg de fluide émis/kg de charge initiale)
- **E** : consommation journalière d'électricité (kWh / 24 h)
- **bt** : émission de CO₂ par kWh d'énergie électrique produite (kg CO₂/kWh)
- **tt** : nombre de jours de fonctionnement annuel (jours/an)
- **nt** : durée de vie de l'installation (an)

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

1.7.2 Les Critères thermodynamiques

- La température d'évaporation doit être supérieure autant que possible à la température d'ébullition.
- La température de condensation doit toujours être très inférieure à la température critique de fluide frigorigène.
- La pression de condensation ne doit pas dépasser 20 à 25 bars.
- La pression d'évaporation ne doit pas être trop basse.
- Le taux de compression doit rester limité pour une bonne efficacité du compresseur.
- L'échauffement des vapeurs au cours de la compression dépend : de taux de compression τ et l'indice adiabatique γ .
- Quantité de froid produite doit être la plus élevée possible, elle dépend de la pression d'aspiration.

1.7.3 Les Critères de sécurité

- Toxicité.
- Ininflammabilité.
- Action sur les denrées.

1.7.4 Les Critères techniques

- Action sur les métaux doit être faible ou nulle.
- Action sur les matières plastiques et élastomère (les matériaux de joints) doit être faible

1.7.5 Les Critères économiques

- Le prix
- Incidence du choix du fluide frigorigène sur le prix de l'installation.
- Disponibilité du frigorigène... stabilité thermique.[1]

1.8 Impacts des fluides frigorigènes sur l'environnement

Les fluides frigorigènes sont utilisés dans les systèmes fixes et mobiles de refroidissement (réfrigération et climatisation) en raison de leurs propriétés thermodynamiques, notamment leur grande capacité d'absorption de la chaleur. La plupart de ces fluides sont nocifs pour l'environnement lorsqu'ils sont relâchés dans l'atmosphère, en raison de fuites lors de la charge des équipements, de leur utilisation, ou lors de leur fin de vie. En l'occurrence, les gaz chlorés (CFC et HCFC), lorsqu'ils sont émis dans l'atmosphère, participent à l'appauvrissement de la couche d'ozone.

Jusqu'à présent, les frigorigènes de la famille des hydrocarbures halogénés (CFC, HCFC) étaient largement utilisés, principalement en raison de leur aspect sécuritaire (non toxique et ininflammable) et de leurs bonnes performances thermodynamiques.

Les principaux gaz influent sur l'environnement :

- Le CO₂ qui est généré par la combustion des combustibles fossiles (charbon, pétrole et ses dérivés, gaz) par certains procédés industriels, la déforestation. Les secteurs émetteurs sont les transports, les bâtiments et la consommation des ménages, la production d'énergie et l'industrie.
- Le méthane CH₄ émis par l'élevage des bovins, les déjections animales et les cultures agricoles (riz), par la mise en décharges des déchets organiques. Son pouvoir sur l'effet de serre est de 21 fois celui du CO₂.
- Le protoxyde d'azote ou N₂O est le résultat de pratiques agricoles intensives (engrais, déjections) et peut être émis à l'occasion de procédés industriels, principalement dans

les industries chimiques qui fabriquent les engrais. Son pouvoir sur l'effet de serre est de 310 fois celui du CO₂.

- Les gaz fluorés (HFC, PFC et SF₆) sont utilisés dans la réfrigération et l'air conditionné, dans les mousses isolantes et les aérosols, l'industrie des semi-conducteurs et les appareils de transport d'électricité. Leur pouvoir de réchauffement va de 1300 fois à 23 000 fois celui du CO₂. [1]

1.8.1 L'effet de serre et le réchauffement climatique

L'effet de serre est le réchauffement de l'atmosphère sous l'effet des rayons solaires en présence de certains gaz. C'est le GWP (Global Warming Potential) c'est-à-dire Pouvoir de Réchauffement Global qui permet de mesurer le potentiel d'un gaz à effet de serre. Cependant, il est important de prendre en considération la durée de vie du gaz dans l'atmosphère et ses quantités produites.

Certains gaz présents en petites quantités (- de 1%) sur notre planète jouent exactement le même rôle que la plaque de verre par leur capacité à absorber le rayonnement infrarouge terrestre tout en étant transparents au rayonnement solaire. Ainsi, ils récupèrent l'énergie émise par le sol pour réémettre un rayonnement infrarouge en direction du sol qui subit ainsi un deuxième échauffement. Par analogie avec ce qui se passe dans une serre de jardinier, ces gaz sont nommés gaz à effet de serre. Cet effet de serre naturel est très utile pour notre planète. En effet, en son absence, la température moyenne au niveau du sol serait de -18°C, en sa présence, elle est de +15°C. [1]

1.8.2 Le mécanisme physique de l'effet de serre

- La moitié environ de l'énergie solaire est absorbée par la Terre. Le reste est réfléchi vers l'espace.
- La Terre ainsi chauffée renvoie vers le ciel une partie de cette énergie sous forme de Rayonnement ou d'évaporation.
- Une couverture faite de vapeur d'eau et de gaz empêche une partie de cette chaleur de retourner dans l'espace. C'est « l'effet de serre » qui réchauffe la planète.
- Plus la couche de gaz est épaisse plus le réchauffement est fort.
- Sans l'effet de serre la Terre serait glacée, mais l'augmentation de l'épaisseur de la serre, due à l'augmentation des émissions de gaz, provoque un réchauffement.

1.8.3 Destruction de la couche d'ozone

1.8.3.1 L'atmosphère

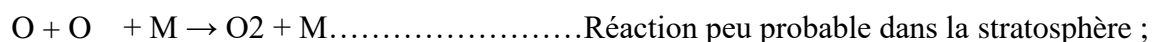
L'atmosphère terrestre est subdivisée en plusieurs couches dont le passage de l'une à l'autre est caractérisé par une inversion de température. Ainsi, du sol à 12 km environ d'altitude est définie la troposphère, séparée de la stratosphère (12-50 km d'altitude) par une zone d'inversion de température appelée tropopause. Quand on examine la répartition de l'ozone dans l'atmosphère, on constate que la concentration la plus élevée se situe entre 25 et 30 kilomètres d'altitude dans la stratosphère c'est la couche d'ozone.

En fait, la concentration de l'ozone dans l'atmosphère est soumise à une très grande variabilité spatio-temporelle aussi bien en fonction de l'altitude qu'en fonction de la latitude du point terrestre considéré. Ainsi, si l'on s'attend à une production photochimique maximale de l'ozone à l'équateur, les phénomènes de transport impliqués dans la distribution spatiale de l'ozone conduisent en fait à une augmentation de la concentration de l'ozone stratosphérique de l'équateur aux pôles. De fait, la concentration de l'ozone à un instant et à une coordonnée fixés résulte de couplages de phénomènes complexes de type radiatif, chimique, climatique et hydrodynamique.[1]

1.8.3.2 Formation de l'ozone

En 1930, Chapman, un mathématicien et géophysicien britannique, propose la première théorie photochimique expliquant la présence d'ozone dans la stratosphère. Selon cette théorie, l'ozone est formé par photodissociation UV de l'oxygène moléculaire (O_2) en oxygène atomique, ce phénomène prenant place principalement dans les tropiques et aux latitudes moyennes durant l'été, là où le rayonnement solaire est le plus intense.

➤ **Le mécanisme de Chapman consiste en une série de réactions en compétition**



M représente principalement N_2 , qui absorbe l'excès d'énergie.[1]

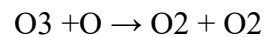
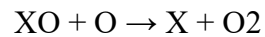
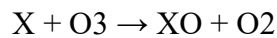


Rayonnement ultraviolet (UV) : radiation électromagnétique de longueur d'onde plus courte que le visible, mais plus longue que les rayons-X. On subdivise fréquemment les UV selon les trois gammes suivantes : les UV-A (315-380 nm), UV-B (280-315 nm) et UV-C (< 280 nm), d'énergie croissante.

Photodissociation ou photolyse : réaction chimique au cours de laquelle une molécule est rompue sous l'effet d'un photon (constituant élémentaire de la lumière).

1.8.3.3 Equations de la destruction de l'ozone

L'appauvrissement de la couche d'ozone observé aux latitudes moyennes est attribué aux cycles catalytiques de destruction de l'ozone suivants :



X: H, OH, NO, Cl, Br. [1]

1.8.3.4 Formation du trou d'ozone

- Formation du vortex : pas d'échange de chaleur.
- En l'absence de lumière, les particules n'absorbent pas mais émettent de l'énergie. T baisse de -40 à -85 °C.
- La vapeur d'eau et HNO₃ forment le nuage stratosphérique polaire : mélange de vapeur et de cristaux de glace.
- Activation des espèces réservoir par réactions hétérogènes.
- Destruction de l'ozone dans le vortex.[1]

➤ Conséquences

Une dégradation importante de la couche d'ozone implique une action nocive des rayons ultraviolets directement sur la vie sur terre comme la réduction de la photosynthèse, destruction du plancton, cancers, certains dérèglements de notre système immunitaire, des mutations, et n'oublions pas que l'ozone participe aussi à l'équilibre des climats.

Quand les rayons du soleil atteignent la surface de la Terre, une partie de ces rayons sont renvoyés sous forme de rayonnement infrarouge vers l'espace, une autre partie est piégée par une couche de gaz située dans la basse atmosphère, contribuant ainsi à réchauffer la terre.

Grâce à ce phénomène naturel, appelé effet de serre, la température moyenne de l'air à la surface de la Terre est d'environ + 15°C.

Si la proportion des rayons qui réchauffent notre planète augmente considérablement, cela induira une hausse globale des températures terrestres. [1]

1.8.4 Le Protocole de Montréal

En 1987 le protocole de Montréal relatif des substances qui appauvrissent la couche d'ozone a finalement été arrêté après une série de réunions et de négociation. Son objectif final est l'élimination des substances qui appauvrissant la couche d'ozone. L'essentiel du protocole de Montréal est constitué par les mesures de réglementation qui visent la production et la consommation des substances appauvrissant la couche d'ozone. A l'article 2 sont fixés des calendriers d'élimination correspondant aux diverses catégories de substances.[1]

Le Protocole de Montréal vise près de 100 produits chimiques regroupés dans les catégories suivantes :

- Chlorofluorocarbures (CFC)
- Halons
- Tétrachlorure de carbone (CFC-10)
- Hydrochlorofluorocarbures (HCFC)
- Méthyl chloroforme
- Bromométhane

1.8.4.1 Conséquences du protocole

Les conséquences pour l'industrie de la réfrigération sont assez importantes. Les problèmes vont concerner l'efficacité des installations et d'adaptation aux nouveaux fluides. Cela peut entraîner une diminution du domaine de température de fonctionnement, de problème de lubrification et de compatibilité entre réfrigérants et lubrifiants. Tous les fluides de substitution ne peuvent remplacer les CFC et HCFC.[1]

1.8.5 Protocole de Kyoto

Le protocole de Kyoto, adopté le 10 décembre 1997 et entré en vigueur le 16 février 2005, prévoit, pour les parties signataires dont la France fait partie, des engagements de réduction des émissions des principaux gaz à effet de serre d'origine anthropique contribuant au changement climatique. Parmi les gaz concernés figurent les hydrofluorocarbures (HFC).

Cet accord contraint les pays signataires à réduire leurs émissions de gaz à effet de serre de 5,2% en moyenne sur la période 2008-2012, par rapport à leur niveau de 1990. Le protocole a retenu six gaz à effet de serre.

- Le dioxyde de carbone (CO₂)
- Le méthane (CH₄)
- Le protoxyde d'azote (N₂O)
- Les hexa fluorocarbures (HFC)
- Les perfluorocarbures (PFC)
- L'hexafluorure de soufre (SF₆)

Conclusion

Nous rechercherons de nouveaux fluides frigorigènes à partir de mélanges binaires ou ternaires, Le COP est proche du CFC et compatible avec les refroidisseurs et considérez les dispositions du « Protocole de Kyoto » et du « Protocole de Montréal ».

*chapitre 2 : Synthèse des
fluides frigorigènes de
remplacement*

2.1 Introduction

Le réchauffement climatique et la destruction de la couche d'ozone sont des phénomènes liés. L'appauvrissement de la couche d'ozone et l'augmentation de l'effet de serre sont deux phénomènes différents, l'un chimique et l'autre physique, ils sont la conséquence indirecte de l'activité humaine.

L'augmentation de l'effet de serre provient des gaz qui absorbent la chaleur, la destruction de la couche d'ozone est due aux réactions chimiques entre l'ozone et d'autres gaz (dans les deux cas, ceux-ci proviennent essentiellement de l'activité humaine). L'activité humaine émet par quelques domaines industriels des CFC (chlorofluorocarbures) et les HCFC (Hydrochlorofluorocarbures). L'influence des fluides frigorigènes sur l'environnement s'exerce de deux manières :

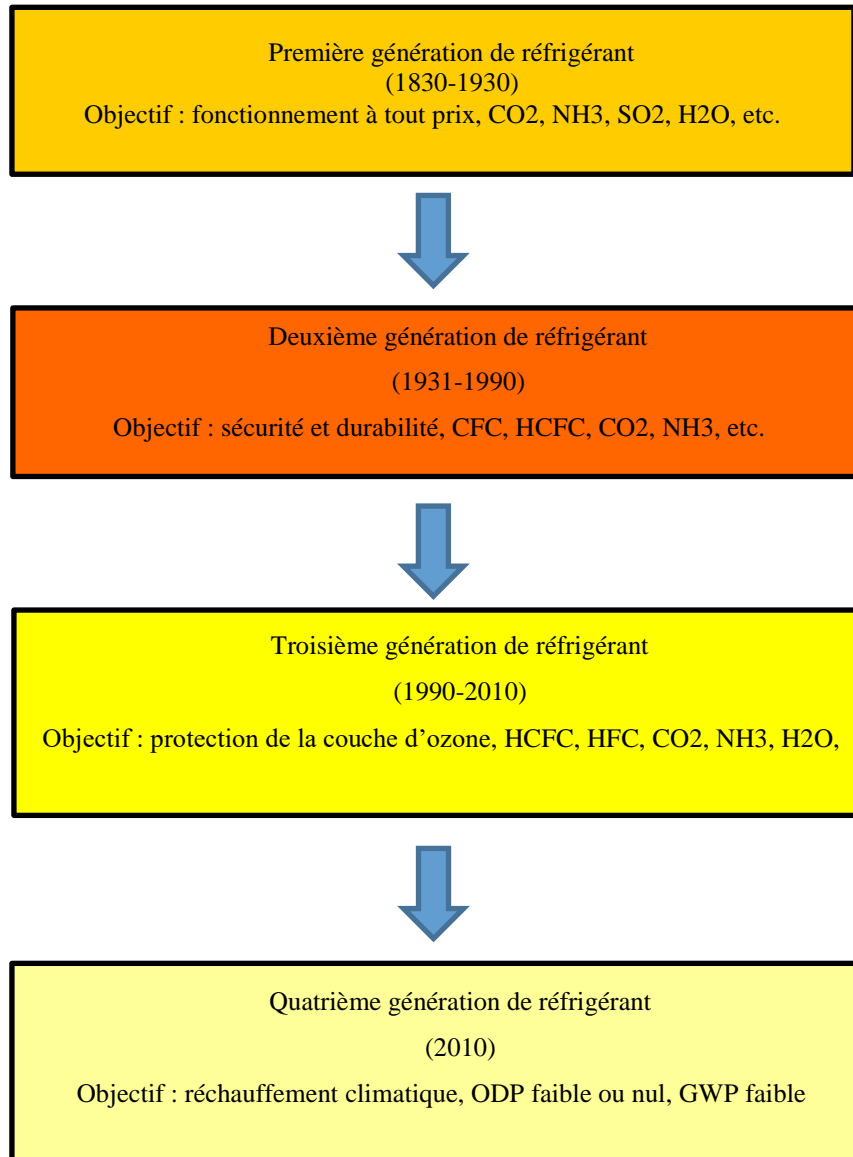
Une action participative et destructive de la couche d'ozone, par les HCFC (Hydrochlorofluorocarbures) et les CFC (chlorofluorocarbures) du fait de présence de chlore dans leurs molécules. Cette action (moindre pour les HCFC) est caractérisée par l'ODP.

Un effet réverbératif des HCFC et HFC (hydrofluorocarbures), est dénommé « effet de serre », caractérisé par le GWP. L'industrie du froid a besoin de nouveaux fluides frigorigènes à très faible durée atmosphérique (GWP) et une totale absence de la destruction de la couche d'ozone (ODP).[5]

2.1.1 Historique

1830 l'année correspond à l'introduction des fluides frigorigènes réels tels que nous les connaissons. De 1830 à 1930 : c'est la première génération des fluides frigorigènes, les plus employés sont : ammoniac, dioxyde de carbone (CO₂) et le dioxyde de soufre (SO₂), qui sont toxiques et inflammables. De 1931 à 1990 apparaît la deuxième génération qui se distingue par le passage aux fluides fluorés pour des raisons de sécurité et de durabilité. Le développement de la recherche sur les frigorigènes conduit au retour tout particulièrement aux fluides frigorigènes naturels, exemple : CO₂. De 1990 à 2010, les scientifiques ont commencé à tirer la sonnette d'alarme en attirant la tension sur les méfaits des substituts appauvrissant la couche d'ozone. A partir de 2010 apparaît la 4ème génération qui répond au problème de l'appauvrissement de la couche d'ozone qui est en fort contraste par rapport à la détérioration du

changement climatique. Le terme « changements climatiques » se réfère à des changements de climat qui sont attribués directement ou indirectement à une activité humaine altérant la composition de l'atmosphère mondiale et qui viennent s'ajouter à la variabilité naturelle du climat observée au cours de périodes comparables.[5]



2.2 Les fluides frigorigènes non polluant pour l'environnement

2.2.1 Description de quelques fluides frigorigènes

2.2.1.1 Le fluide R502

Le réfrigérant 502 est un fluide frigorigène constitué par un mélange azéotrope de réfrigérant R22 et de réfrigérant R115, dans la proportion en masse de 48.8% de R22 et de 51.2% en R115. C'est un liquide incolore, à odeur très légèrement étherée, inodore en mélange avec l'air.

Il est ininflammable, non explosif et très stable à la chaleur, tout comme le R22.

Il est neutre vis-à-vis de tous les métaux usuels utilisés pour la réalisation des installations frigorifiques ainsi que les matières de joints, mais a cependant une très légère action sur le néoprène.[6]

Il dissout moins d'eau que le R22 mais environ 5 fois plus que le R12. Par contre il est moins miscible que le R22 avec les huiles de graissage. A des températures dépendant de la Concentration en huile du mélange il y a séparation en deux couches des deux liquides.

Il permet d'obtenir une production frigorifique supérieure à celle du R22 et complète la gamme des fluides chloroformés. Il peut se décomposer à des températures voisines de 150°C. La détection des fuites est avec la lampe haloïde.[6]

2.2.1.2 Le fluide R23

C'est un liquide incolore, ininflammable et non explosif, très stable aux températures d'utilisation, et ne peut se décomposer dans un circuit frigorifique aux conditions normales d'utilisation. Sa température critique étant de +25°C, il est utilisé en cascade à très basses températures (-60 à -100°C).

Toxicologie : Produit chimiquement inerte, non toxique. A des concentrations importantes, il y a possibilité de troubles respiratoires et cardiaques liés à l'insuffisance d'oxygène dans l'air (anoxie). En revanche, combiné avec un gaz inflammable, il peut donner des mélanges qui, enflammés, conduisent à sa décomposition en libérant des produits toxiques (acide fluorhydrique). Les effets sont identiques avec une flamme vive ou par contact avec des surfaces métalliques très chaudes.

Détection : Ne se détecte pas à la lampe haloïde. Et donc il faut utiliser soit :

- Les détecteurs électroniques adaptés à la détection du fluor ;
- L'injection d'un traceur dans le circuit révélé par rayon ultra-violet.

Miscibilité : avec H₂O supérieure au R12 ; Non miscible avec les huiles minérales et akylbenzène, utilisation d'une huile polyol-ester.

2.2.1.3 Le fluide R134a

Liquide incolore, ininflammable et non explosif, très stable aux températures d'utilisation, peut se décomposer dans un circuit frigorifique pour des conditions anormales d'utilisation.

Toxicologie : Produit chimiquement inerte, non toxique ; limite d'exposition 1000 ppm VME (Valeur moyenne d'exposition recommandée, exprimée en ppm volume/volume) ; à des concentrations importantes : possibilité de troubles respiratoires et cardiaques liés à l'insuffisance d'oxygène dans l'air. En revanche, combiné avec un gaz inflammable, il peut donner des mélanges qui, enflammés, conduisent à sa décomposition en libérant des produits toxiques. Les effets sont identiques avec une flamme vive ou par contact avec des surfaces métalliques très chaudes.

Détection : Ne se détecte pas à la lampe haloïde. Utiliser soit :

- Les détecteurs électroniques adaptés à la détection du fluor ;
- L'injection d'un traceur dans le circuit révélé par rayon ultra-violet.

Miscibilité : Avec H₂O supérieure au R12 ; Non miscible avec les huiles minérales et akylbenzène, utilisation d'une huile polyol ester.

2.2.1.4 Le fluide R410A

Est un fluide frigorigène qui présente de meilleures qualités physiques que le R407C. C'est un fluide pur, c'est à dire que ce n'est pas un mélange d'autres fluides. Les HFC remplacent maintenant les CFC qui étaient très nocifs pour la couche d'ozone. On l'utilise pour toutes sortes d'applications de climatisation et de réfrigération (pompe à chaleur, climatiseur, etc.).

2.2.1.5 Le fluide R404

Mélange ternaire, liquide incolore, ininflammable et inexplorable, très stable aux températures d'utilisations, peut se décomposer dans un circuit frigorifique pour des conditions d'utilisation anormales.

Toxicologie : Produit chimiquement inerte, non toxique ; limite d'exposition 1000 ppm VME; à des concentrations importantes : possibilité de troubles respiratoires et cardiaques liés à l'insuffisance d'oxygène dans l'air. En revanche, combiné avec un gaz inflammable, il peut donner des mélanges qui, enflammés, conduisent à sa décomposition en libérant des produits toxiques. Les effets sont identiques avec une flamme vive ou par contact avec des surfaces métalliques très chaudes.

Détection : Ne se détecte pas à la lampe haloïde. Utiliser soit :

- Les détecteurs électroniques adaptés à la détection du fluor ;
- L'injection d'un traceur dans le circuit révélé par rayon ultra-violet.

Miscibilité : avec H₂O supérieure au R12 ; Non miscible avec les huiles minérales et alkylbenzène, utilisation d'une huile polyol-ester.

2.2.2 Différents types de fluides frigorigènes

Un fluide frigorigène (ou réfrigérant) est un fluide pur ou un mélange de fluides purs, ces sont des molécules simples : inorganiques (NH₃) et organiques (hydrocarbures et dérivés), ces molécules sont constituées d'éléments "légers" les plus simples (hydrogène H, hélium, carbone C, azote N, oxygène O, brome Br., chlore Cl, fluore F, soufre S).

2.3 Les fluides frigorigènes utilisés sont divisés en deux familles

2.3.1 Les frigorigènes naturels

Telque l'eau, dioxyde de carbone, hydrocarbures (méthane, propane), ammoniac, dioxyde de soufre, etc.[7]L'utilisation de ces fluides entraîne, pour des raisons de sécurité humaines et de respecter l'environnement. Certains de ces fluides sont inflammables (hydrocarbure), toxiques (SO₂) ou les deux en même temps (NH₃). D'autre part, ils sont facilement disponibles, peu coûteux et leur influence sur l'environnement est limitée mais non nulle (ex: CO₂, CH₄,...) et sont des mauvais fluides thermodynamiques.[6]

2.3.2 Les frigorigènes anthropiques

Il s'agit de substances chimiques qui sont créées par l'être humain pour améliorer et compenser les inconvénients des fluides naturels. Les chercheurs dérivent des alcanes tels que CH₄ et C₂H₆ par substitution de H par F et Cl. Les anciens frigorigènes (1930 à 1975) sont :

2.3.2.1 Chlorofluorocarbures (CFC)

Sont des composés de carbone, de fluor et de chlore, et non hydrogénés (ex : R 11 CFC₁₃, R 12 CF₂Cl₂). Ils sont très stables et ont une grande durée de vie dans l'atmosphère (durée de vie entre 50 et 250 ans).

2.3.2.2 Hydrochlorofluorocarbures (HCFC)

Sont des CFC hydrogénés, ils sont moins stables (ex : R 22 CHF₂Cl). Ils sont appelés substances de transition.

Les CFC et HCFC sont des gaz contenant du chlore et ce chlore détruit la couche d'ozone par une réaction chimique en chaîne. On peut dire ou de conclure que ces derniers sont la cause principale d'appauvrissement de la couche d'ozone. Dans la stratosphère, ils se transforment en libérant leur chlore qui réagit avec l'ozone et ils ont également un impact sur l'effet de serre.

Hydrochlorofluorocarbures qui contient du chlore mais qui n'est pas entièrement halogéné, arrêt de production 2014 :

- Le monochlorodifluorométhane ou R22 (CHClF₂).
- Le dichlorotrifluoroéthane ou R123 (CHCl₂CF₃).
- Le monochlorotétrafluoroéthane ou R124 (CHClF₂CF₃).
- Le dichlorofluoromethane ou R141b (CH₂Cl₂CF).
- Le chlorodifluoromethane ou R142a (CH₂ClF₂).

2.3.2.3 Hydrofluorocarbures (HFC)

Sont des composés de carbone, de fluor et d'hydrogène. Ils sont apparus comme substitués des CFC et HCFC. Ils sont appelés substances de substitution. Les HFC possèdent des propriétés techniques similaires à celles des CFC permettant de les utiliser comme fluides réfrigérants (ex : corps purs R134a (CF₃-CH₂F), mélanges azéotropes R404A, mélanges azéotropes R507). CFC, HCFC et HFC sont des bons fluides thermodynamiques, peu actifs

chimiquement et offrant toute sécurité pour les personnes puisqu'ils sont non toxiques et non inflammables sauf ceux avec beaucoup de H.[8]

Exemple : Les fluides définitifs (corps purs) :

- Le trifluorométhane R23 (CHF_3) substitut du R13.
- Le difluoroéthane R32 (CH_2F_2).
- Le pentafluoroéthane R125 ($\text{CHF}_2\text{-CF}_3$) substitut à R502.
- Le tétrafluoroéthane R134a ($\text{CH}_2\text{F-CF}_3$) substitut du R12.
- Le trifluoroéthane R143a ($\text{CH}_3\text{-CF}_3$).
- Mélange R404A est un mélange de R134a, R143a, R125 substitut du R502.

A. Les mélanges HFC/HFO

Créés pour remplacer les HFC de référence grâce à des GWP plus faibles.

Dans cette famille, nous trouvons notamment :

- Le R-452A** : fluide non inflammable avec un GWP de 2140, solution universelle de moyen terme venant en remplacement du R-404A y compris pour la congélation. Utilisable au-delà de 2022 pour les équipements de réfrigération fixe.
- Le R-513A** : fluide non inflammable avec un GWP de 631, solution de moyen terme proposée en alternative au R-134a.
- Les R-454C et R-455A** fluides légèrement inflammables avec un GWP inférieur à 150, solutions de long terme utilisées en remplacement du R404A.[9]

B. Mélanges de transition

- **R408A (FX10)** mélange de R125, R143a, R22 ($\text{R22}(44\%) + \text{R143a}(4\%) + \text{R125}(52\%)$) remplace le R502.
- **R409A (FX56)** mélange de R142b, R124-R22 ($\text{R22}(60\%) + \text{R124}(25\%) + \text{R124b}(15\%)$), remplace le R12.
- **(FX57)** mélange de R142b, R124-R22 remplace le R500.
- **R401A (MP39)** mélange de R124-R152a-R22 ($\text{R22}(53\%) + \text{R152}(13\%) + \text{R124}(34\%)$) remplace le R12.
- **R401B (MP66)** mélange de R124, R152a, R22 ($\text{R22}(61\%) + \text{R152}(11\%) + \text{R124}(28\%)$) remplace le R500.
- **R401C (MP52)** mélange de R124, R152a, R22 ($\text{R22}(33\%) + \text{R152}(15\%) + \text{R124}(28\%)$) remplace le R12.

- **R402 (HP80)** mélange de propane, R125, R22 remplace le R502.

Avant qu'on ne découvre leur effet néfaste sur la couche d'ozone, les CFC et les HCFC étaient ceux qui possédaient le plus grand nombre de qualités demandées aux fluides frigorigènes en ne tenant pas compte bien sûr des critères écologiques. 90% des installations frigorifiques utilisaient ces produits. L'ammoniac (NH₃), produit toxique mais thermiquement intéressant, est utilisé surtout dans les installations industrielles où la surveillance est accrue et permanente. Sur le tableau (2.1), on a représenté quelques gaz frigorigènes dont l'utilisation est interdite ou limitée et leur substituants :[9]

Tableau (2.1) représentation de quelques gaz frigorigènes dont l'utilisation est interdite ou limitée et leur substituant

	ODP (/R-11)	GWP (kg éq. de CO₂)		ODP (/R-11)	GWP (kg éq. de CO₂)
CFC (interdits)			Mélanges de HFC		
R-11	1	4 000	R-404A	0	3 260
R-12	0,8	8 500	R-407C	0	1 530
R-502	0,2	5 490	R-410A	0	1 730
HCFC (toléré)			Mélanges à base R-22		
R-22	0,04	1 700	R-408A	0,7	2 650
HFC (corps purs)					
R-134a	0	1 300	Propane / Butane	0	20
R-125	0	2 800	Ammoniac	0	<1
R-143a	0	3 800	CO₂	0	1

2.3.2.4 Hydrofluoroléfine (HFO)

Est un composé chimique, dérivé fluoré des alcènes. Les HFO sont constitués d'un squelette carboné contenant au moins une liaison double carbone-carbone (alcène), dont l'un ou plusieurs atomes d'hydrogène ont été substitués par un/des atome(s) de fluor, mais pas la totalité. Ils se distinguent des hydrofluorocarbures (HFC) par la présence de cette double liaison.

Les HFO sont développés pour être la « quatrième génération » de fluides frigorigènes (réfrigérants), avec un potentiel de réchauffement global (PRG) plus faible que celui des HFC. On compte parmi les actuels HFO le 2,3,3,3-tétrafluoropropène (HFO-1234yf) et le 1,3,3,3-tétrafluoropropène (HFO-1234ze)², développés notamment pour remplacer le 1,1,1,2-tétrafluoroéthane (R-134a) est un HFC actuellement utilisé dans la plupart des systèmes de climatisation automobiles, ou encore le 1-chloro-3,3,3-trifluoropropène (HFO-1233zd) .[10]

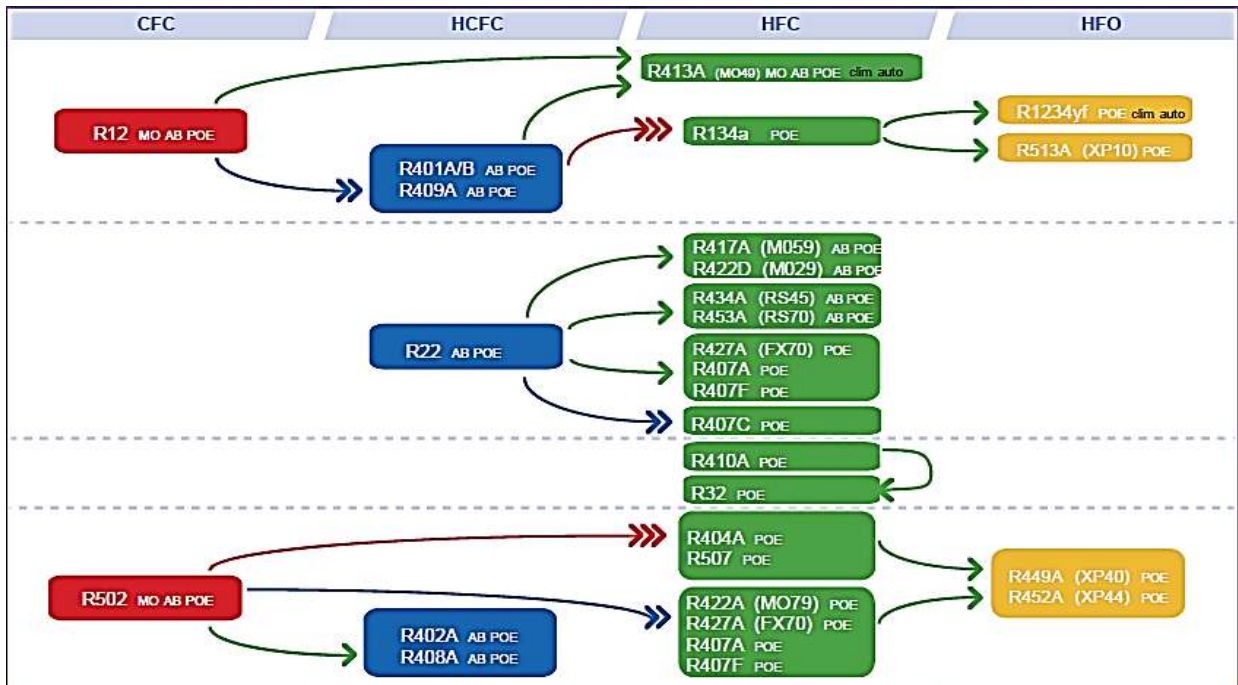


Figure 2.1) représentation de développement des fluides frigorigènes [11]

2.3.3 Les hydrofluoroléfine (HFO) à faible GWP

Les HFO actuellement considéré comme la nouvelle génération de fluides frigorigènes, où celèrent ils n'ont aucun effet sur la couche d'ozone et ont un faible impact sur le réchauffement climatique. Plus important encore, qu'en pratique le système frigorifique classique peut encore être utilisé avec aucune modification ou avec des modifications mineures. R1234yf et R1234ze (E) sont d'excellentes substitutions de réfrigérants, en particulier pour R134a, dans la climatisation automobile, et ils sont adaptés à la régulation climatique actuelle et future. Actuellement, HFO trouvé dans un certain nombre d'applications. En technologie de réfrigération et de pompe à chaleur, le R1234yf a été choisi pour remplacer le R134a, surtout dans les systèmes de climatisation automobile ; R1234ze (E) et R1233zd (E) sont utilisés dans les refroidisseurs[12, 13] et R1336mzz a suggéré pour les pompes à chaleur à haute température. Les R1234yf et / ou le R1234ze (E) sont également

utilisés comme des composants de nouveaux mélanges de réfrigérants (par exemple R448A, R449A, R450A, R513A) qui visent à remplacer les réfrigérants traditionnels. Ces réfrigérants sont soumis aux mêmes règles qu'avant mais avec quelques ajouts, comme dans **la figure (2.2)**. Différentes façons de substituer l'atome ou le groupe sur les atomes de carbone peuvent exister et cela est indiqué par deux lettres minuscules (**tableau 2.2**). La liaison carbone insaturée donne le terme oléfine. Lorsqu'une molécule spécifique peut avoir différents arrangements géométriques (stéréo-isomères), ceux-ci sont désignés par une lettre majuscule en annexe [14]. Par exemple, CHF₂CF = CHF (R1234ye) a deux stéréo-isomères puisque les atomes d'hydrogène et de fluor attachés au carbone méthylène terminal peuvent être disposés soit à travers la double liaison carbone-carbone les uns des autres (désignés par un (E) ou du même côté de la double liaison carbone-carbone désigné par un (Z)).[9]

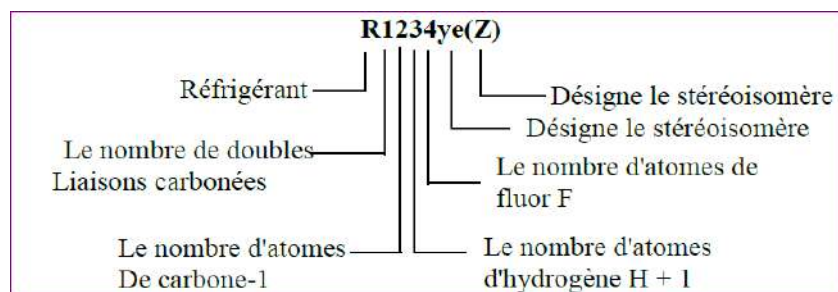


Figure (2.2) Exemple de nomenclature de réfrigérants HFO (R1234ye (Z))

Tableau (2.2) Suffixe proposé pour les isomères de propène

Première lettre ci-jointe: se réfère à la substitution sur le carbone central		Deuxième lettre ci-jointe: se réfère à la substitution sur le carbone méthylène terminal	
Substitution de groupe	Caractère	Substitution de groupe	Caractère
-Cl	x	=CCl ₂	a
-F	y	=CClF	b
-H	z	=CF ₂	c
		=CHCl	d
		=CHF	e
		=CH ₂	f

2.3.3.1 Introduction d'un nouveau fluide réfrigérant R1234yf

Les caractéristiques environnementales des réfrigérants deviennent les critères dominants à condition que leurs comportements thermodynamiques et sécurités sont favorables. Aussi bien, le potentiel de réchauffement global faible est souhaitable lors de sélection des réfrigérants. Au niveau mondial le R1234yf est destiné à remplacer le R134a dans les systèmes. Actuellement, un seul réfrigérant satisfait aux exigences imposées par les protocoles de Montréal et Kyoto. Le R1234yf ou HFO 1234yf est un nouveau gaz fluoré à faible pouvoir de réchauffement global (GWP) est égal à 4 et le potentiel de destruction de la couche d'ozone (ODP) est nul.

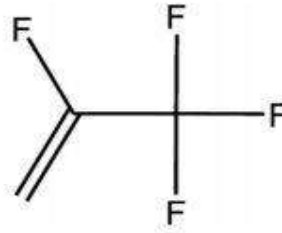


Figure (2.3) composants de R1234YF

Tableau (2.3) Propriétés de HFO 1234yf et HFCF 134a

	HFO R1234yf	HFC 134a
Formule chimique	CF ₃ CF=CH ₂	CH ₂ FCF ₃
Classe de sécurité	A2L	A1
GWP	4	1430
ODP	0	0
Pression critique [MPa]	3.382	4.0593
Température critique [°C]	95	102
Point d'ébullition normale [°C]	-29	-26
Durée de vie atmosphérique [an]	<0.05 (jours)	14
Limite inférieure d'inflammabilité [vol.% in air 23°C]	6.2	-
Limite supérieure d'inflammabilité [vol.% in air 23°C]	12.3	-
Masse molaire [kg/kmol]	114.04	102.3
Chaleur de combustion [kJ/g]		
Densité de vapeur à 25°C [kg/m ³]	4.7508	4.2439
Vapeur CP à 25°C [kJ/kgK]	0.92811	0.85118

Le **Tableau 2.3** résume les propriétés du R1234yf et R134a. Le réfrigérant développé à des propriétés thermodynamique similaire au R134a. De plus, R1234yf est plus écologique que son prédécesseur mais reste hautement inflammable et doit donc être utilisé selon des règles de sécurité extrêmes.[5]

2.3.3.2 HFO-1234yf remplaçant de HFC-134a

En raison de la similitude des propriétés, le HFO-1234yf (GWP de 4 comparé au CO₂ (réf.49)) peut être utilisé comme remplacement »du HFC-134a, ce qui signifie que les constructeurs automobiles n'ont pas besoin d'effectuer de nombreuses modifications conception du système pour adopter le HFO-1234yf comme réfrigérant alternatif en raison de l'adéquation du HFO-1234yf avec conception du système de réfrigération existant. Dès que sa la disponibilité commerciale est assurée, le HFO-1234yf remplacer le HFC-134a, qui est actuellement utilisé dans les systèmes de climatisation des automobiles et autres systèmes de réfrigération. Des tentatives ont également été faites pour utiliser des mélanges du HFO-1234yf avec d'autres HFC tels que le R-32 dans des applications telles que les climatiseurs à usage domestique et d'autres systèmes de réfrigération, depuis le HFO-1234yf et ses les mélanges ont un faible GWP.[15]

C. Domaine d'application

En raison de son faible GWP, le HFO-1234yf a été utilisé dans les réfrigérants, les applications de transfert de chaleur, les agents moussants, les pro pellants , les agents gonflants, les fluides porteurs, les agents de séchage ,agents abrasifs de polissage, agents d'expansion, gazeux diélectriques, support stérilisant, fluide d'élimination des particules, fluide de travail du cycle de puissance sous forme liquide ou gazeuse 38,39.Le HFO-1234yf est également un monomère ou un copolymère de départ matériau pour la synthèse de thermiquement stables et hautement matériau en caoutchouc flexible, ayant un bon potentiel de marché.[15]

D. Inflammabilité

Le HFO-1234yf a été considéré comme inflammable lors de l'étude les paramètres d'inflammabilité tels qu'une plus faible inflammabilité limite (LFL) et limites supérieures d'inflammabilité (UFL) selon la norme ASTM-E681-04. Cependant, les résultats ont montré une légère inflammabilité en comparant la LFL de HFO-1234yf avec d'autres réfrigérants.

HFO-1234yf a une énergie d'inflammation minimale relativement élevée de 5000 à 10000 MJ, ce qui indique un très faible potentiel d'allumage source dans un véhicule. HFO-1234yf a également une très faible vitesse de combustion (1,5 cm / s), indiquant un potentiel très faible pour l'allumage 65. Le tableau 3 présente les paramètres d'inflammabilité du HFO-1234yf.

SAE International a déjà publié un communiqué de presse déclarant que le HFO-1234yf pourrait être utilisé en toute sécurité dans le monde entier en tant que réfrigérant pour les systèmes de climatisation des véhicules⁶⁶. L'utilisation du HFO-1234yf a été acceptée en dehors des États-Unis dans les futurs systèmes MVAC⁶⁷. Une enquête de l'allemand L'Association de l'industrie automobile (VDA) des constructeurs internationaux a révélé qu'elle était en faveur de en utilisant HFO-1234yf. Ainsi HFO-1234yf est le candidat pour l'introduction mondiale standardisée d'un nouveau réfrigérant à faible GWP⁶⁶. [15]

Tableau (2.4) les paramètres d'inflammabilité du HFO-1234yf

Paramètres d'inflammabilité du HFO-1234yf	
Propriété	Valeur
Limite inférieure d'inflammabilité (LFL)	6.5
Limite supérieure d'inflammabilité (UFL)	12.3
Delta UFL – LFL	5.8
Énergie minimale d'allumage (MJ)	5000-10000
Vitesse de combustion (cm / s)	1.5

Un faible GWP et un ODP nul du HFO-1234yf ont été comparés au HFC-134a comme réfrigérant alternatif possible dans les applications de climatisation automobile et de réfrigération stationnaire. Ansari et al.⁶² ont comparé le GWP et ODP de HFO-1234yf avec HFC-134a et a conclu que les paramètres de performance de l'agriculteur sont plus petits par rapport à ce dernier. En raison de la petite différence de et ses propriétés écologiques, le HFO 1234yf peut être une meilleure alternative au HFC-134a. Ainsi, Les HFO sont les réfrigérants alternatifs émergents les plus viables et leurs performances sont étroitement similaires à celles du HFC-134a..Le HFO-1234yf a été largement accepté pour l'avenir systèmes de climatisation pour véhicules automobiles.

E. Exposition et danger

Le fluide frigorigène HFO-1234yf n'est pas dangereux pour la santé et ne présente pas de toxicité aiguë. Lors des expérimentations animales, une exposition à la substance a induit de légères irritations cutanées et oculaires. Aucun effet nocif n'a été observé lors des études à long terme effectuées sur les rats. Dans les véhicules, le fluide circule en système fermé. Les occupants n'y sont donc pas exposés. Les professionnels qui travaillent dans les garages n'entrent pas en contact avec cette substance, la vidange ou le remplissage se faisant, là aussi, en circuit fermé. Le fluide HFO-1234yf est inflammable et génère du fluorure d'hydrogène (acide fluorhydrique) en cas de combustion. Des tests ont montré que le HFO-1234yf peut s'enflammer au contact de surfaces très chaudes, ce qui peut être le cas lors d'accidents ou de fuites dans le système de climatisation. Les services d'intervention doivent connaître ces dangers pour prendre les mesures adéquates. De fait, lorsqu'une voiture prend feu, des produits de décomposition dangereux et des vapeurs toxiques peuvent se former; il faut alors porter un appareil respiratoire autonome et une combinaison de protection chimique. Le HFO-1234yf est enregistré dans l'UE et notifié en Suisse et peut de ce fait être utilisé comme fluide réfrigérant dans les systèmes de climatisation automobile. Généralement l'utilisation ne représente pas de danger. Cependant, il est de la tâche des constructeurs automobiles de garantir une utilisation sûre du fluide frigorigène HFO-1234yf par une construction adéquate.[15]

2.4 Conclusion

L'industrie de la réfrigération a connu la montée et la chute d'un grand nombre de frigorigènes au cours des 150 dernières années. Les CFC ont probablement survécu le plus longtemps jusqu'à ce qu'il soit prouvé qu'ils étaient la principale cause de l'appauvrissement de la couche d'ozone menant au trou d'ozone. Les HFC qui ont remplacé les CFC au cours de la dernière décennie ont un GWP élevé et doivent être finalement éliminés. Les réfrigérants naturels respectueux de l'environnement tel que l'ammoniac, le dioxyde de carbone et les hydrocarbures présentent des déficiences pratiques spécifiques qui limitent leur utilisation universelle. Les HFO récemment suggérés ont un faible GWP par rapport aux réfrigérants naturels, mais sont inflammables. Ainsi, il n'y a pas de réfrigérants dans l'horizon qui répondent complètement à la sécurité, la stabilité, l'efficacité énergétique et le respect de l'environnement. Il semble que l'industrie de la réfrigération n'aura guère d'autre choix que

d'utiliser des frigorigènes inflammables (HFO, HFC à faible GWP, HC, NH₃, etc.). L'efficacité énergétique des HFO est quelque peu faible, les mélanges de fluides moyens GWP tels que les réfrigérants R32 et réfrigérants à faible GWP tels que R1234yf peuvent être les fluides de travail de choix dans l'avenir immédiat.[16]

*chapitre 3 : Etude
Thermodynamique En
Utilisant le R1234yf*

3.1 Introduction

Les fluides frigorigènes de remplacement doivent avoir un GWP inférieur à 150. Jusqu'à récemment, le principal candidat pour remplacer le R-134a a été le dioxyde de carbone avec un PRG de 1. Cependant, le CO₂ a plusieurs inconvénients, notamment une pression nettement plus élevée et une efficacité de cycle thermodynamique inférieure.

Le HFO-1234yf a été récemment identifié comme une alternative potentielle ayant une pression de vapeur et d'autres propriétés similaires à R-134a, mais un PRG de 100 ans de 4 qui répond aux exigences de la réglementation de l'UE. il n'a également aucun appauvrissement de la couche d'ozone potentiel et excellente performance climatique du cycle de vie (LCCP) par rapport au R-134a et au CO₂, ce qui indique qu'il a le moindre impact global sur le réchauffement climatique dans les applications de climatisation automobile.[17]

3.2 Le 2, 3, 3,3-tétrafluoropropène, HFO-1234yf ou R-1234yf

3.2.1 Définition

Le R1234yf est un réfrigérant hydrofluoroléfine (HFO). Les fluides frigorigènes HFO sont composés d'atomes d'hydrogène, de fluor et de carbone, mais contiennent au moins une double liaison entre les atomes de carbone. En raison de sa composition, le R1234yf n'endommage pas la couche d'ozone ou a un impact minimal sur le réchauffement climatique.

3.2.2 Principales caractéristiques du R1234yf

- Faible toxicité
- Faible PRG ; GWP = <1
- Aucun potentiel d'appauvrissement de la couche d'ozone
- Réfrigérant de classe A2L - Légèrement inflammable
- Faible contribution totale au changement climatique
- Mêmes pressions de fonctionnement que le système R134a

3.2.3 Propriétés thermodynamiques

Les propriétés thermodynamiques du HFO-1234yf sont très similaires à celles du R-134a, comme indiqué dans le tableau 1 et la figure 1. Point d'ébullition, le point critique et la densité du liquide et de la vapeur sont comparables au R-134a. La pression de vapeur est légèrement

plus élevée à températures inférieures à 25 ° C et légèrement inférieures à des températures supérieures à 60 ° C, ce qui peut donner un taux de compression inférieur et une meilleure efficacité du compresseur.[17]

Tableau (3.1) HFO-1234yf thermodynamique propriété

Propriétés	HFO-1234yf	HFC-134a
Point d'ébullition, Tb	-29°C	-26°C
Point critique, Tc	95°C	102°C
Pvap, MPa (25 ° C)	0.677	0.665
Pvap, MPa (80 ° C)	2.44	2.63
Densité du liquide, kg / m3 (25 ° C)	1094	1207
Densité de vapeur, kg / m3 (25 ° C)	37.6	32.4

3.2.4 Toxicité

Des tests de toxicité importants pour le HFO-1234yf ont été achevés suite à l'Organisation de coopération économique et directive de développement (OCDE). Le profil de toxicité à ce jour est présenté dans le tableau 2 ci-dessous. Toute toxicité aiguë les tests sont terminés, ainsi qu'une étude d'inhalation de 13 semaines et des tests de développement chez le rat avec des résultats. Bien qu'un test d'Ames ait montré une légère activité, des tests in vitro ultérieurs, incluant la souris et le rat micronoyau et la synthèse d'ADN non programmée n'ont montré aucune activité indiquant que le HFO-1234yf n'est pas mutagène.

Les tests environnementaux sur les daphnies, les poissons et les algues sont également Similaires à ceux du R-134a.[17]

Tableau (3.2) Résumé de la toxicité et de l'environnement du HFO-1234yf

Test	HFO-1234yf	R-134a
LC50	Aucun décès 400000 ppm	Aucun décès 359 700 ppm
Sensibilisation cardiaque	NOEL > 120 000 ppm	NOEL 50 000 ppm LOEL 75 000 ppm
Ames	Légère activité	Inactif
Chrom AB	Inactif	Inactif
Micronoyau (souris et rat)	Inactif	Inactif
Synthèse d'ADN non programmée	Inactif	Non testée
13 semaines par inhalation	NOEL 50000 ppm	NOEL 50000 ppm
Développement (rat)	NOAEL 50,000 ppm	NOAEL 50,000 ppm
Toxicité environnemental (Daphnie aiguë, poisson, algues)	NOEL > 100 mg/L	NOEL > 100 mg/L

3.2.5 Environnemental

La chimie atmosphérique du HFO-1234yf a été évaluée expérimentalement (Nielsen et al. 2007). HFO-1234yf n'a pas potentiel d'appauvrissement de la couche d'ozone. La durée de vie atmosphérique était de 11 jours par rapport au R-134a à 14 ans. Global le potentiel de réchauffement basé sur un horizon temporel de 100 ans a été déterminé comme étant de 4 par rapport au R-134a à 14 h 30. Atmosphérique les produits de dégradation sont également très similaires au R-134a sans formation de produits de dégradation à PRG élevé.[17]

3.2.6 Inflammabilité

Le HFO-1234yf a été déterminé comme étant inflammable en présentant des limites d'inflammabilité inférieures et supérieures lorsqu'il a été testé avec ASTM-E681-04. Cependant, les résultats indiquent une légère inflammabilité en comparant la limite inférieure d'inflammabilité à autres réfrigérants candidats comme indiqué dans le tableau 3. De plus, les limites d'inflammabilité ne sont qu'un facteur pour déterminer si le HFO-1234yf peut être utilisé en toute sécurité dans une application donnée. Une autre considération importante est la quantité de l'énergie nécessaire pour enflammer le réfrigérant, représentée par l'énergie d'allumage minimale, et les dommages potentiel en cas d'inflammation, représenté par la vitesse de combustion.[17]

Les résultats d'inflammabilité sont utilisés comme données d'entrée dans les évaluations des risques pour confirmer que le HFO-1234yf peut être utilisé en toute sécurité systèmes d'expansion sans boucle secondaire.

Tableau (3.3) HFO-1234yf Résumé d'inflammabilité

Propriété	Propane	R-152a	R-32	NH3	HFO-1234yf
LIE (% vol dans l'air)	2,2	3,9	14,4	15,0	6,2
UFL (% vol dans l'air)	10,0	16,9	29,3	28,0	12,3
Delta UFL-LFL	7,8	13,0	14,9	13,0	5,8
Énergie d'allumage minimale (MJ)	0,25	0,38	30-100	100-300	5000-10 000
Vitesse de combustion (cm / s)	46	23	6,7	7,2	1,5

3.2.7 Stockage

Le R-1234yf est une substance très peu toxique. Les contenants de R-1234yf doivent être stockés dans des endroits frais et aérés, à l'écart des sources de chaleur. Les vapeurs de R-1234yf sont plus lourdes que l'air et peuvent provoquer une asphyxie en réduisant l'oxygène dans l'air respirable. Ne pas exposer à la lumière du soleil et éviter l'exposition à des températures supérieures à 50 °C.[18]

3.3 Propriétés physiques de R1234yf

Tableau (3.4) propriétés physiques de r1234yf

Propriété Physique	Unités	R-1234yf
Poids moléculaire	(g/mol)	114,0
Température d'ébullition	(°C)	-29,4
Température critique	(°C)	94,7
Pression critique	(bar)	33,81
Densité critique	(Kg/m ³)	475,55
Pression de vapeur (21,1°C)	(bar)	6,07
Pression de vapeur (54,4°C)	(bar)	14,2
Densité	(Kg/m ³)	1100
Solubilité dans l'eau (24°C)	(mg/l)	198,2
Glissement de température ou glide	(K)	0
Classification de sécurité		A2L
Limite inférieure d'inflammabilité	(Kg/m ³)	0.289
Température d'auto-inflammation	(°C)	405
ODP	-	0
GWP	-	4 *

Avantages

- GWP très bas, 4
- Toxicité : Classement A
- Conditions de fonctionnement similaires au R134A

3.4 Etude Thermodynamique

Pour cette étude on a choisi une installation frigorifique a compression mécanique simple, car c'est l'installation la plus utilisée dans l'industrie frigorifique.

3.5 Méthodologie de calcul

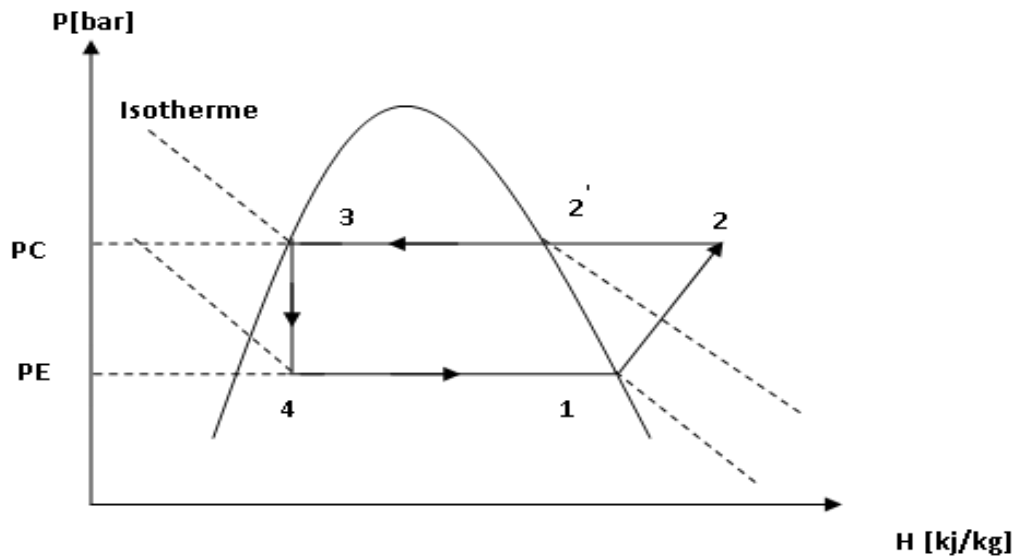


Figure (3.1) Cycle d'une installation frigorifique a compression mécanique simple

Le travail massique (w_m)

$$w_m = h_2 - h_1 \quad (kJ/kg) \quad (I.1)$$

Capacité de réfrigération massique (q_{0m})

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

Le débit massique (Q_m)

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

ϕ : la puissance frigorifique kW

La puissance consommée 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 (Cop)

$$\text{Cop} = \frac{q_{om}}{w_m} \quad (I.6)$$

Le coefficient de performance (cop) de cycle de Carnot est :

$$\text{Cop} = \frac{\text{refrigération utile}}{\text{travail net}}$$

$$\text{Et} \quad \text{Cop}_{\max} = \frac{T_E}{T_C - T_E} \quad (\text{en } ^\circ\text{K})$$

T_E : température d'évaporation ;

T_C : température de condensation ;

3.5.1 Influence de la température d'évaporation sur le COP

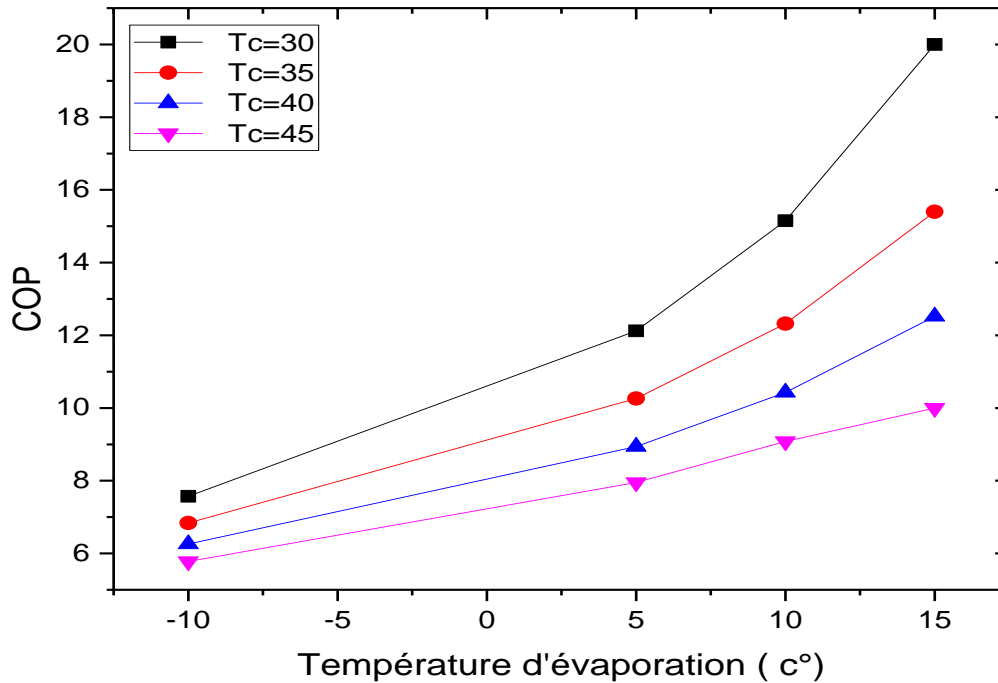


Figure (3.2) Influence de la température de l'évaporation sur le COP

La figure (3.2) représente la variation du COP en fonction de température d'évaporateur pour différentes valeurs de la température de condenseur (T_c).

D'après La figure (3.2), on constate que lorsque la température d'évaporation augmente le coefficient de performance de l'installation frigorifique a compression mécanique augmente aussi, sachant que la cop est inversement proportionnelle au travail du compresseur.

$$\text{COP} = \frac{q_{om}}{w_m}$$
, On a un faible travail de compression pour atteindre une température d'évaporation relativement élevé.

3.5.2 Influence de la température de condensation sur le COP :

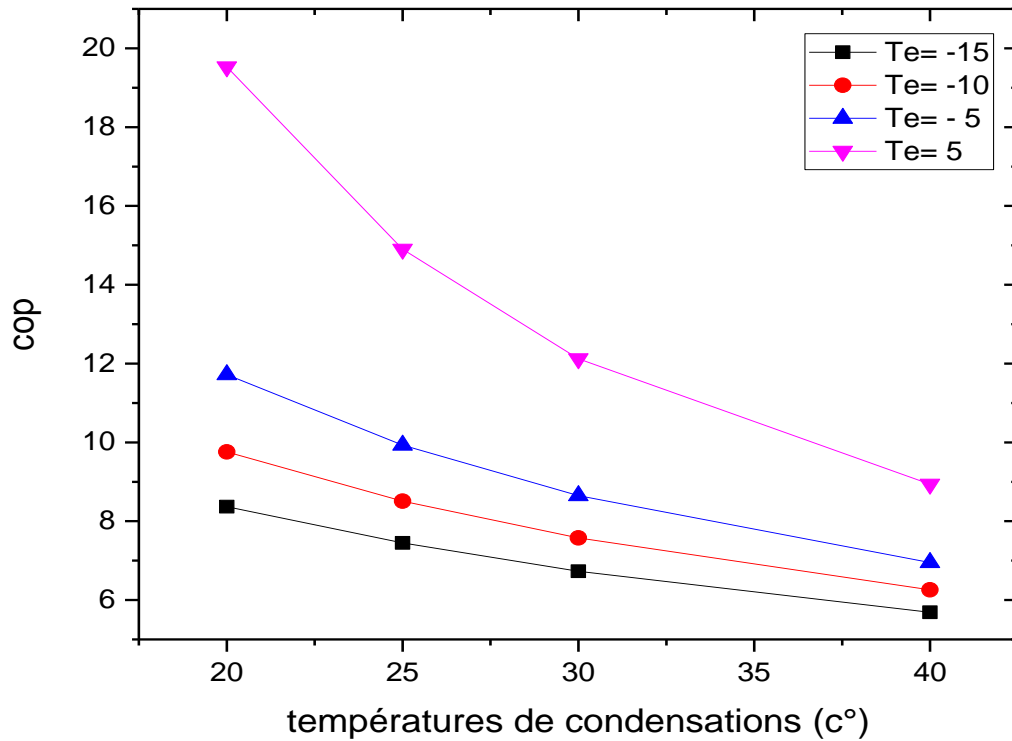


Figure (3.3) Influence de la température de la condensation sur le COP

La figure (3.3) représente la variation du COP en fonction de la température de condensation pour différentes valeurs de la température d'évaporation.

Les résultats montrent qu'une augmentation de la température du condenseur abaisse la valeur du coefficient de performance de l'installation frigorifique à compression mécanique, pour avoir une bonne performance du système frigorifique, on doit avoir un important refroidissement au niveau du condenseur qui se fait avec des températures modérées.

3.5.3 Influence de la puissance du compresseur sur le COP :

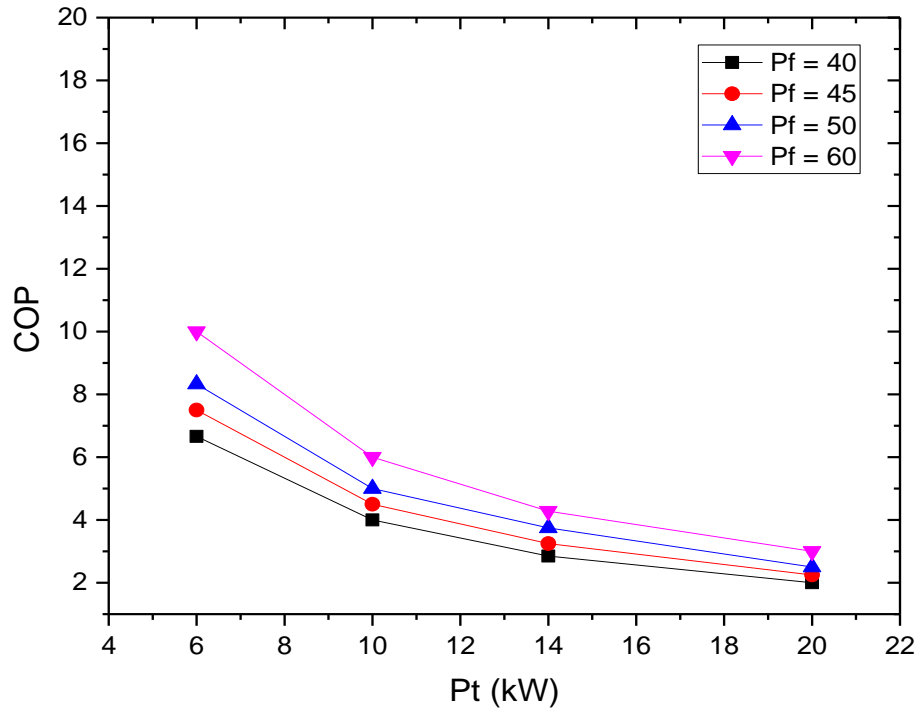


Figure (3.4) Influence de la puissance du compresseur sur le COP

La figure (3.4) représente de la variation du COP en fonction de la puissance compresseur pour des différentes valeurs de la puissance frigorifique.

La figure montre que si la puissance du compresseur diminue, le coefficient de performance de l'installation frigorifique a compression mécanique augmente, sachant que la puissance du compresseur est en fonction du travail du compresseur, $Cop = \frac{\Phi_0}{p_t}$, le cop est inversement proportionnel au travail de compression, si la puissance du compresseur est réduite donc on a réduction de la consommation énergétique.

3.5.4 Influence de la puissance frigorifique sur le COP:

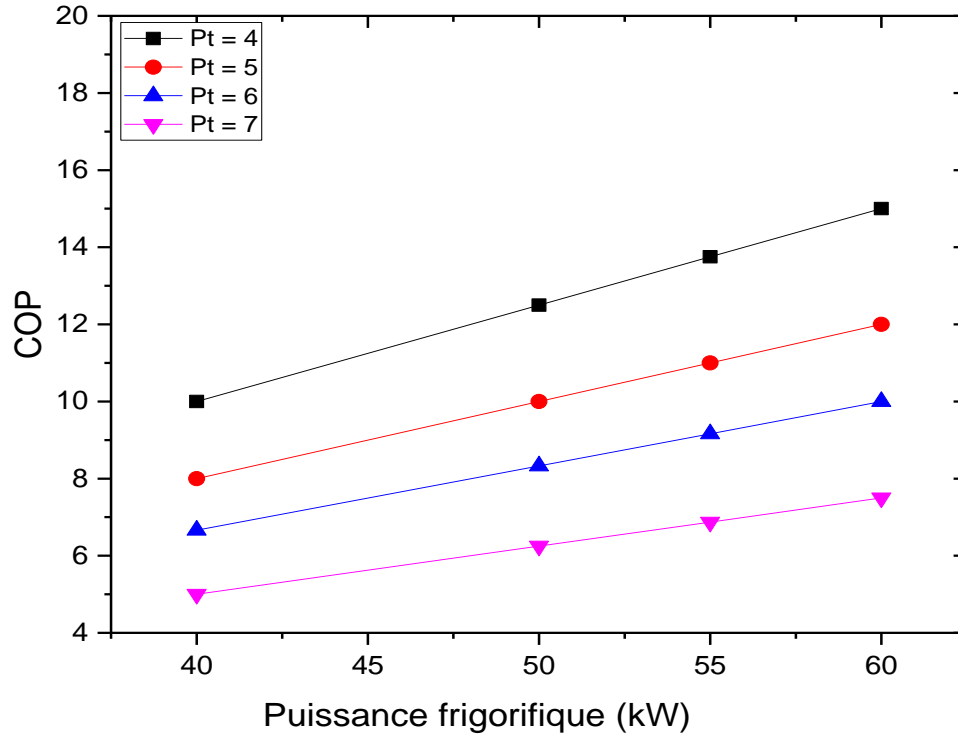


Figure (3.5) Influence puissance frigorifique sur le COP

La figure (3.5) représente la variation du COP en fonction de la puissance frigorifique pour différentes valeurs de la puissance du compresseur.

Les résultats montrent que la croissance de la puissance frigorifique fait augmenter la valeur du COP, car le cop est proportionnel à la puissance frigorifique $Cop = \frac{\phi_0}{p_t}$, mais avec l'augmentation de la puissance frigorifique mais il faut contrôler la consommation énergétique.

3.6 Conclusion

On a vu que plusieurs paramètres peuvent influencer sur le coefficient de performance de l'installation frigorifique a compression mécanique simple en utilisant Le HFO-1234yf comme fluide frigorigène.

D'après les résultats le coefficient de performance augmente si la température d'évaporation est élevée, car cette la température est atteinte facilement sans fournir un grand travail de compression, le COP diminue si la température du condenseur augmente car on besoin d'un bon refroidissement au niveau du condenseur. Si la puissance du compresseur est réduite, le coefficient de performance est important donc on a réduction de la consommation énergétique.

Conclusion générale

En raison de la pression accrue pour résoudre le problème du réchauffement climatique, la Commission européenne a effectivement interdit l'utilisation du réfrigérant R-134a dans la climatisation des nouvelles plates-formes automobiles dans les pays de l'UE à partir du 1er janvier 2011.

Le HFO-1234yf a été récemment identifié comme une alternative potentielle ayant une pression de vapeur et d'autres propriétés similaires à R-134a, mais un PRG de 100 ans de 4 qui répond aux exigences de la réglementation de l'UE. Il n'a également aucun appauvrissement de la couche d'ozone potentiel et le moindre impact global sur le réchauffement climatique dans les applications de climatisation automobile.

En choisissant un fluide frigorigène qui n'est pas nocif pour l'environnement. D'après les résultats le coefficient de performance de l'installation frigorifique à compression mécanique augmente si la température d'évaporation est élevée, car cette température est atteinte facilement sans fournir un grand travail de compression, le Cop diminue si la température du condenseur augmente car on a besoin d'un bon refroidissement au niveau du condenseur.

Si la puissance du compresseur est réduite, le coefficient de performance est important donc on a réduction de la consommation énergétique.

Les résultats montrent que la croissance de la puissance frigorifique fait augmenter la valeur du COP, l'évaluation de la puissance frigorifique se fait par le calcul du bilan frigorifique du local.

Le HFO-1234yf peut être considéré parmi les nouveaux fluides frigorigènes de remplacement avec un bon rendement thermodynamique, et pas d'actions nocifs pour l'environnement.

Bibliographie

1. Zoubeyr, M., *Etude et Modélisation des Fluides Frigorifiques*. Université de Batna 2.2015
2. Hamdouche, K., *Modélisation des propriétés thermodynamiques Des fluides frigorigènes*.2004
3. *les familles des fluides frigorigènes*.
4. J.P, S.H.e., *Thorez Ozone, pollution et vieux frigos (Connaitre pour agir)* L'agence régional de l'environnement 2004.
5. FEDALI, S., *Recherche de Nouveaux Réfrigérants : Modélisation et Expérimentation*. UNIVERSITE HADJ LAKHDAR BATNA.2016
6. MADANI, H., *Modélisation des Systèmes de Production de Froid*. 2010.
7. Coquelet, *Etude des fluides frigorigènes Mesures et modélisation*. Ecole des mines de Paris. 2003
8. MESSADI SARA , A.S.L., *Amélioration de la classe énergétique de Congélateur vertical 220F*.2016/2017
9. Khelifa, S., *En Physique Énergétique*. 2019, Kasdi Merbah Ouargla.
10. hogue, c., *Replacing the Replacements* Chemical & Engineering News, 2011. 89: p. 31-32.
11. Gazechim-Froid, *tableau des fluides de remplacement* 2016.
12. *TurboChil FreeCool*. Airedale, 2015.
13. Bolaji, B.O., and Z. Huan, *Performance investigation of some hydro-fluorocarbon refrigerants with low global warming as substitutes to R134a in refrigeration systems*. Engineering Thermophysics, 2014: p. 148-157.
14. Brown, J.S., *HFOs: new low global warming potential refrigerants*. 2009: p. 22.
15. Tyagi, P.A.a.A.K., *Fourth Generation Refrigerant: HFO 1234 yf*. 2018.
16. Risto, C., *Refrigerants : there is still no vision for sustainable solutions*. international journal of Refrigeration 2018: p. 441-448.
17. Minor, B., *HFO-1234yf Low GWP Refrigerant Update*. 2008.
18. <http://www.gas-servei.com/>, *fiche technique R-1234yf*. 2010.

المخلص :

بعد اكتشاف الثقب في طبقة الأوزون والغازات الدفيئة التي تكون مصدر تصريف النفايات من المصانع مثل العمليات الصناعية وصناعة التبريد والصناعات الكيماوية والغذائية. من المفترض أن يجد الباحثون طرقًا جديدة لتجنب التلوث البيئي ، مع العلم أن المبردات المستخدمة على نطاق واسع تتدرج تحت البروتوكولات الدولية ؛ مثل تلك الموجودة في مونتريال وكيوتو ، التي تحظر استخدام المبردات ، لعائلات مركبات الكربون الكلورية فلورية ومركبات الكربون الهيدروكلورية فلورية: يوصى باستبدال الخلائط الجديدة في معدات التبريد وتكييف الهواء ، باستخدام المبردات التي لا تلوث البيئة. لذلك ، يعتمد عملنا على دراسة المبردات الأقل ضررًا بالبيئة ، والمساهمة في تحسين معامل الأداء لآلة التبريد بضغط ميكانيكي بسيط.

الكلمات المفتاحية: المبردات ، الأثر البيئي ، معامل الأداء

Résume :

A la suite à la découverte du trou de la couche d'ozone et les gaz à effet de serre qui sont à l'origine des rejets des déchets des usines comme les processus industriels, l'industrie de froid, l'industrie chimique et alimentaire. Les chercheurs sont sensés trouver des nouveaux moyens pour éviter la pollution de l'environnement, sachant que des fluides frigorigènes utilisés en grande échelle sont tombés sous le coup des protocoles internationaux ; tels celui de Montréal et de Kyoto qui interdisent l'utilisation des fluides frigorigènes, des familles CFC et HCFC : la substitution des nouveaux mélanges est conseillée dans les équipements frigorifiques et de la climatisation, avec l'utilisation des réfrigérants non polluant pour l'environnement. De ce fait, notre travail est fondé sur l'étude des réfrigérants qui sont moins nocifs pour l'environnement, et la contribution à l'amélioration du coefficient de performance pour une machine frigorifique a compression mécanique simple.

Mots clés : fluides frigorigènes, Impact sur l'environnement, coefficient de performance

Abstract:

Following the discovery of the hole in the ozone layer and the greenhouse gases that are at the origin of waste discharges from factories such as industrial processes, the refrigeration industry, the chemical and food industry. Researchers are supposed to find new ways to avoid environmental pollution, knowing that refrigerants used on a large scale have fallen under international protocols; such as those in Montreal and Kyoto, which prohibit the use of

refrigerants, of the CFC and HCFC families: the replacement of new mixtures is recommended in refrigeration and air conditioning equipment, with the use of refrigerants that do not pollute the environment. Therefore, our work is based on the study of refrigerants which are less harmful to the environment, and the contribution to the improvement of the coefficient of performance for a refrigerating machine with simple mechanical compression.

Keywords : réfrigérants, Environnemental impact, coefficient of performance