

INSTITUT NATIONAL DE FORMATION
DES PERSONNELS DE L'ÉDUCATION

DIRECTION GÉNÉRALE

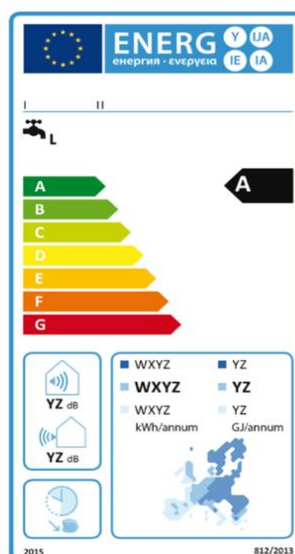
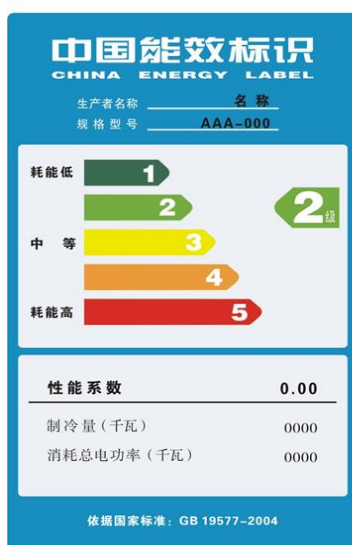
SECRETARIAT GÉNÉRAL

DIRECTION DES ÉTUDES ET DES STAGES



BURKINA FASO
*La Patrie ou la Mort,
nous Vaincrons*

FROID ET CLIMATISATION



Manuel guide de formation optionnelle de l'élève Professeur des Écoles

Novembre 2024



Cofinancé par
l'Union européenne



Mise en œuvre par



Ce manuel de formation a été réalisé avec le soutien financier de l'Union européenne (UE) et du ministère fédéral allemand de la Coopération économique et du Développement (BMZ). Son contenu relève de la seule responsabilité de la GIZ et de l'Institut National de Formation des Personnes de l'Éducation du Burkina Faso. Il ne reflète pas nécessairement le point de vue de l'Union européenne et du ministère fédéral allemand de la Coopération économique et du Développement.

Ce manuel de formation a été élaboré dans le contexte du projet « Refroidissement respectueux de l'Ozone et du Climat en Afrique de l'Ouest et Centrale (ROCA) ». Lisez plus sur le projet : <https://www.green-cooling-initiative.org/fr/a-propos/nos-projets/refroidissement-respectueux-de-lozone-et-du-climat-en-afrique-de-louest-et-centrale-roca>

Table des matières

ARCHITECTURE DU MANUEL GUIDE.....	8
AVANT PROPOS.....	9
Chapitre 1 : Connaissances générales sur les éléments de la nature et leurs interactions ..	10
Introduction.....	10
I. OBJECTIFS.....	10
II. DIAGNOSTIC : CE QUE JE SAIS DÉJÀ	10
III. MEMENTO : CE QUE JE DOIS SAVOIR.....	10
I. Les concepts fondamentaux liés au froid et à la climatisation	10
I.1 Notions de thermodynamique	10
I.1.1 Température	11
I.1.2 Pression	11
I.1.3 Densité et volume	11
I.1.4 Changement d'état d'une substance	12
I.2 Fluides frigorigènes	13
I.2.1 Définition.....	13
I.2.2 Impacts environnementaux de la réfrigération.....	14
I.2.3 Produit de dégradation persistant	15
I.2.4 Perspectives : technologies de refroidissement vertes.....	15
I.2.5 Refroidissement vert : réfrigérants naturels et efficacité énergétique	15
I.3 Couple terre-soleil.....	16
I.3.1 Le rôle du soleil	16
I.3.2 Les effets du soleil	17
I.3.3 Nécessité de se protéger du soleil.....	17
II. L'atmosphère.....	17
II.1 Couche d'ozone	17
II.2 Gaz à effet de serre	18
III. Procédés de production de froid	18
III.1 Histoire des techniques du froid	18
III.1.1 Les premières machines	18
III.1.2 La naissance de la technologie du froid au 20 ^{ème} siècle	19
III.2 Les enjeux industriels et économiques.....	19
III.3 Les principes de production du froid.....	20
III.3.1 Les modes de production du froid	20
III.3.2 Les procédés thermodynamiques de production de froid	20
III.3.2.1 Dissolution d'un sel dans de l'eau ou la glace	20
III.3.2.2 Détente d'un gaz comprimé.....	21
III.3.2.3 Évaporation, fusion, sublimation	21
III.4 Les critères de choix d'un fluide.....	21

III.4.1	Les critères thermodynamiques.....	21
3.4.2.	Les critères thermocinétiques.....	22
III.4.2	Les critères liés à la protection de l'environnement et à la sécurité	22
III.5	Les compatibilités des fluides frigorigènes avec les matériaux constituant une machine frigorigère	23
IV.	CORRIGÉ DU DIAGNOSTIC	23
V.	ACTIVITÉS.....	24
	Conclusion	24
	Ressources bibliographiques :	24
Chapitre 2 :	Les réfrigérants.....	25
	Introduction.....	25
I.	OBJECTIFS.....	25
II.	DIAGNOSTIC : CE QUE JE SAIS DÉJÀ	25
III.	MEMENTO : CE QUE JE DOIS SAVOIR.....	26
I.	Définitions de concepts	26
I.1	Technologies de refroidissement	26
I.2	Durabilité environnementale	26
I.3	Empreinte carbone	26
II.	Différentes familles de fluides	27
II.1	Les fluides contenant du chlore : CFCs, HCFC,	27
II.2	Les fluides de transition HFC, HFO.....	28
II.2.1	Les mélanges contenant des CFC (interdits)	28
II.2.2	Les mélanges contenant des HCFC (ou "mélanges de transition", provisoirement tolérés).....	28
II.2.3	Les mélanges ne contenant pas de molécule chlorée.....	28
II.3	Les fluides naturels : O ₂ , NH ₃ , HC.....	29
II.3.1	L'ammoniac (NH ₃) ou R717	29
II.3.2	Le dioxyde de carbone (CO ₂) ou R744.....	29
II.3.3	Les hydrocarbures (HC)	29
III.	Les équipements du froid et de climatisation domestique.....	30
III.1	Pompes à vide	30
III.2	Équipements de brasage (Postes oxyacétylénique, etc...)	31
III.2.1	Poste oxyacétylénique	31
III.2.2	Poste de brasage à l'arc électrique.....	32
III.2.3	Baguettes de métal d'apport.....	32
III.3	Appareils de récupération.....	32
III.4	Bouteilles de stockage des HFC 134a et R12	33
III.5	Station de charge avec accessoires.....	34
III.6	Identificateurs de réfrigérant.....	36
III.7	Balances numériques pour récupération et charge.....	37

III.8	Ensemble manomètre by-pass à huit échelles de température (R12, R134a, R404a).....	38
III.9	Manomètre au HC	39
III.10	Thermomètres digitaux à plusieurs lectures.....	40
III.11	Détecteurs de fuite électronique au HC.....	41
III.12	Pince ampère métrique	42
III.13	Multimètre	43
III.14	Bouteille d'azote avec accessoires (flexibles, manomètres de régulation).....	44
III.15	Les Outils	45
III.15.1	Pince ou valve d'intervention.....	45
III.15.2	Adaptateur de tube / valve schraeder	46
III.15.3	Pince à obturer	47
III.15.4	Raccord d'intervention rapide mâle et femelle.....	48
III.15.5	Dudgeonnière complète.....	49
III.15.6	Cintreuses pour tube 1/4", 3/8", 5/8", 3/4" ;	49
IV.	Impacts environnementaux de la réfrigération.....	50
IV.1	Le Potentiel d'appauvrissement de la couche d'ozone (PAO).....	50
IV.2	Le Potentiel de réchauffement global (PRG).	50
IV.3	L'Impact de Réchauffement Total Équivalent.	51
IV.3.1	Produit de dégradation persistant	51
IV.3.2	Les Substances qui Appauvrissent la couche d'Ozone (SAO).....	51
IV.4	Le réchauffement climatique.....	52
IV.4.1	Les causes du réchauffement climatique	52
IV.4.2	Les conséquences du réchauffement climatique.....	52
IV.4.2.1	Conséquences sur l'écosystème et la planète	52
IV.4.2.2	Conséquences sur la société et l'économie	53
IV.4.2.3	Conséquences sur les entreprises	53
IV.4.2.4	Conséquences sur la couche d'ozone.....	53
IV.4.3	Comment lutter contre le réchauffement climatique : les solutions.....	53
V.	La protection de la couche d'ozone.....	53
V.1	Perspectives : technologies de refroidissement vertes	53
V.2	Refroidissement vert : Réfrigérants naturels et efficacité énergétique.....	54
V.2.1	Émissions et efficacité énergétique.....	54
IV.	CORRIGÉ DU DIAGNOSTIC	56
V.	ACTIVITÉS.....	56
Conclusion	.....	57
Ressources bibliographiques :	.....	57
Chapitre 3 : Solutions face à la dégradation de l'environnement	.....	58
Introduction	.....	58
I. OBJECTIFS.....	.....	58

II. DIAGNOSTIC.....	58
III. MEMENTO : CE QUE JE DOIS SAVOIR.....	58
1. Instruments juridiques de préservation de la couche d’ozone et la sauvegarde de l’environnement	58
1.1. Protocole de Montréal et son amendement de Kigali	58
1.1.1. Objectifs	58
1.1.2. Signature et entrée en vigueur.....	59
1.1.3. Forces et faiblesses de l’accord.....	59
1.2.1. Objectifs	60
1.2.2. Signature et entrée en vigueur.....	60
1.2.3. Mécanismes du Protocole	60
1.3. Accord de Paris	60
1.3.1. Objectifs	61
1.3.2. Signature et entrée en vigueur.....	61
1.3.3. Forces et faiblesses de l’accord.....	61
1.4. Règlement de l’Union européenne.....	61
1.4.1. Le règlement sur les substances appauvrissant la couche d’ozone.....	62
1.4.2. Le règlement sur les gaz fluorés	62
1.5. Règlement sous-régional (règlement UEMOA)	62
1.6. Règlementation nationale.....	62
2. Actions de mitigation	63
2.1. Économiser l’énergie à la maison.....	63
2.2. Modifier la source d’énergie de votre maison	63
2.3. Marcher, faire du vélo ou emprunter les transports publics	64
2.4. Opter pour un véhicule électrique	64
2.6. Réfléchir à ses déplacements	64
2.7. Réduire, réutiliser, réparer et recycler	64
2.8. Manger plus de légumes.....	64
2.9. Jeter moins de nourriture.....	65
2.10. Planter des espèces indigènes	65
2.11. Assainir l’environnement	65
2.12. Mettre son argent à profit.....	65
2.13. S’exprimer.....	65
IV. CORRIGE DU DIAGNOSTIC	65
V. ACTIVITES.....	66
Conclusion	67
Ressources bibliographiques	67
Chapitre 4 : Réfrigérants naturels et efficacité énergétique.....	68
I. OBJECTIFS.....	68
II. DIAGNOSTIC : CE QUE JE SAIS DÉJÀ	68

III. MEMENTO : CE QUE JE DOIS SAVOIR.....	68
2. Données sur la consommation d'énergie du secteur de réfrigération, climatisation et pompe à chaleur (RCPC/RACHP)	68
3. Norme de performances énergétiques minimales et étiquetage (NPEM/MEPS)	69
3.1. Mesures politiques générales visant à augmenter l'efficacité énergétique et à réduire la consommation.....	69
3.2. Normes minimales de performance énergétique (NPEM/MEPS)	69
3.2.1. Pourquoi avons-nous besoin de la NPEM /MEPS ?	69
3.2.2. Les principes de fonctionnement de la NPEM /MEPS	70
3.2.3. Paramétrage de la NPEM /MEPS.....	71
3.2.4. Étiquetage des produits de réfrigération, climatisation et pompe à chaleur (RCPC/RACHP).....	72
3.2.4.1. Étiquetage écologique ou éco-étiquetage.....	72
3.2.5. Étiquetage de l'efficacité énergétique en rapport avec la NPEM /MEPS	73
3.3. Mesures de soutien à la NPEM /MEPS et à l'étiquetage	74
3.3.1. Les mesures d'incitation.....	74
3.3.2. Suivi/tests par des tiers.....	74
3.3.3. Vérification /surveillance du marché.....	75
3.3.4. Application des dispositions	75
3.4. Facteurs influençant l'efficacité énergétique	75
3.4.1. Le cycle de référence idéal	75
3.4.2. Évaluation du cycle de réfrigérant	76
3.5. Conséquences pratiques	77
3.5.1. Conception, installation et fonctionnement du système.....	77
3.5.2. Efficience des composants.....	78
3.5.2.1. Compresseurs	78
3.5.2.2. Ventilateurs et pompes	79
3.5.2.3. Contrôles du système	79
3.6. Évaluation sur terrain de l'efficacité énergétique et de la consommation d'énergie..	80
3.6.1. Vérification du circuit	80
3.6.2. Méthodes de mesure	81
3.6.3. Équipement de mesure	81
3.6.3.1. Énergie électrique	81
3.6.3.2. Température.....	82
3.6.3.3. Pression	82
3.6.3.4. Flux.....	82
IV. CORRIGÉ DU DIAGNOSTIC	83
V. ACTIVITÉS.....	84
Ressources bibliographiques	84

ARCHITECTURE DU MANUEL GUIDE

Ce manuel guide, qui a pour objectif général de doter les utilisateurs de connaissances en froid et climatisation comprend quatre chapitres.

Le premier chapitre vise à faire acquérir des connaissances générales sur les éléments de la nature et leur interactivité.

Le deuxième chapitre a pour objectif de faire acquérir des connaissances de l'impact des fluides frigorigènes sur la couche d'ozone.

Le troisième chapitre vise la connaissance de la réglementation sur la protection de l'environnement.

Le quatrième chapitre aide à la maîtrise des facteurs influant sur l'efficacité énergétique.

La structure de ces chapitres est identique pour faciliter la lisibilité. Elle comprend cinq parties :

- les *Objectifs* du chapitre ;
- le *Diagnostic* pour permettre de s'autoévaluer et de se positionner par rapport aux résultats attendus avant d'aborder le livret ;
- le *Mémento*, composé des apports théoriques indispensables pour comprendre et traiter le sujet ;
- les *Corrigés* des questions posées dans la rubrique « Diagnostic »
- les *Activités*, qui constituent un moment réflexif et des activités de prolongement à l'issue de la séquence.

AVANT PROPOS

L'importance des systèmes de réfrigération et de climatisation ne cesse de croître dans le monde moderne, que ce soit pour le confort des espaces de vie, la conservation des aliments ou encore les processus industriels. Ces systèmes reposent sur des substances clés : les réfrigérants, dont l'usage et la maîtrise sont essentiels pour assurer un fonctionnement efficace et respectueux de l'environnement.

Ce module sur les réfrigérants vise à fournir aux utilisateurs les connaissances indispensables pour comprendre le rôle fondamental de ces substances dans le cycle de réfrigération, mais également pour les sensibiliser aux enjeux environnementaux liés à leur utilisation. En effet, les réfrigérants ont connu une évolution marquée par des avancées technologiques et réglementaires, surtout en raison de leur impact sur la couche d'ozone et le réchauffement climatique. Ce livret s'inscrit dans une démarche à la fois pédagogique et pratique, en intégrant des informations sur les types de réfrigérants, leur classification, ainsi que la réglementation en vigueur pour encourager des pratiques durables.

Les quatre chapitres qui composent ce livret couvrent non seulement les bases scientifiques des réfrigérants, mais également les obligations légales et les méthodes pour optimiser l'efficacité énergétique tout en minimisant les risques pour l'environnement. En adoptant une structure claire et interactive, ce module propose des outils concrets pour guider l'apprenant, incluant des évaluations diagnostiques, des rappels théoriques et des activités pratiques.

Nous espérons que ce livret constituera une ressource précieuse pour approfondir vos connaissances sur les réfrigérants et renforcer vos compétences dans le domaine du froid et de la climatisation, tout en vous encourageant à contribuer activement à la protection de l'environnement.

Chapitre 1 : Connaissances générales sur les éléments de la nature et leurs interactions

Introduction

« On ne commande la nature qu'en lui obéissant » cette citation de Bacon nous rappelle que le monde est structuré et qu'il existe des mécanismes qui expliquent l'interaction entre les différents éléments qui le composent et c'est ce qui permet à l'homme de les comprendre et agir en connaissance de cause. Une bonne connaissance des éléments de la nature qui comprennent aussi bien le monde vivant que celui non vivant est une condition pour mieux étudier les interactions entre les différentes matières qui la composent.

Le domaine du froid et de la climatisation devenu un intérêt scientifique au cours des deux derniers siècles nous invite à comprendre les interactions entre les éléments de la nature et leurs conséquences sur la vie de l'homme sur la terre, toute chose qui favorisera une gestion efficace du trou de l'ozone, du réchauffement climatique et de ses effets. Dans ce module, il sera question alors d'étudier les généralités sur les éléments de la nature et leurs interactions. Ensuite, il sera question d'explorer, de façon concrète les réfrigérants, les solutions face à leur impact sur l'environnement et les réfrigérants naturels et l'efficacité énergétique.

I. OBJECTIFS

- Définir les concepts fondamentaux liés au froid et à la climatisation
- Décrire l'atmosphère
- Décrire les procédés de production de froid

II. DIAGNOSTIC : CE QUE JE SAIS DÉJÀ

1. Définis en tes propres termes les concepts fondamentaux suivants liés au froid et à la climatisation : température, pression, chaleur, ...
2. Sous l'action de la température et de la pression, certaines substances peuvent changer d'état. Cite les différents états de la matière.
3. Donne ta compréhension des concepts : fusion, vaporisation, sublimation, solidification, condensation liquide, condensation solide
4. Cite les éléments de l'atmosphère.
5. Quel est le rôle fondamental de la couche d'ozone ? Dis quel est le rôle que jouent les émanations de gaz dans la détérioration de la couche d'ozone
6. Explique le processus de dégradation de la couche d'ozone
7. Propose des stratégies de protection de la couche d'ozone
8. Décris un procédé de production de froid

III. MEMENTO : CE QUE JE DOIS SAVOIR

I. Les concepts fondamentaux liés au froid et à la climatisation

I.1 Notions de thermodynamique

La thermodynamique est la branche de la physique qui traite de la dépendance des propriétés physiques des corps à la température, des phénomènes où interviennent des échanges thermiques, et des transformations de l'énergie entre différentes formes. La thermodynamique est régie par trois principes fondamentaux qui sont :

- l'énergie des interactions entre particules ;
- l'énergie de liaison des molécules (énergie chimique) ;

- l'énergie de liaison des constituants de l'atome (énergie atomique ou nucléaire).

Le but de la thermodynamique est de caractériser la transformation de l'état d'un système entre un temps initial et un temps final, correspondant à deux états. Elle obéit pour ce faire à trois principales lois qui sont :

- l'énergie ne peut être ni créée ni détruite ;
- pour un processus spontané, l'entropie (en abrégé S, caractérise le niveau de désordre, de désorganisation du système) de l'univers augmente ; sa formule de calcul est la suivante. $S = k_B \ln \Omega$
- un cristal parfait à zéro Kelvin (en abrégé K, c'est une unité de mesure de la température du système international) a une entropie nulle : $1 \text{ K} = ^\circ\text{C} + 273,15$. ($^\circ\text{C} = \text{K} - 273,15$).

I.1.1 Température

Au sens du dictionnaire Universel (2009, P.1227), la température est l'état de l'air, de l'atmosphère en un lieu, considéré du point de vue de la sensation de chaleur ou de froid que l'on y éprouve et dont la mesure objective est fournie par le thermomètre. L'échelle de température du Système International (SI) est l'échelle thermodynamique, ou échelle absolue, dans laquelle la température s'exprime en Kelvin (K). Dans la vie courante, on utilise deux échelles de mesure de la température :

- l'échelle Celsius ($^\circ\text{C}$), en 1792 par l'astronome et physicien suédois Anders Celsius ;
- l'échelle Fahrenheit (F) du physicien allemand Daniel Gabriel Fahrenheit en 1724.

Du point de vue de la physique, la température est une mesure macroscopique de l'énergie d'agitation microscopique des atomes, ions, molécules. La température d'un objet peut être définie par l'énergie cinétique moyenne de ses atomes et molécules.

Les différentes unités conventionnelles de mesure de la température sont au nombre de cinq (5) : le Kelvin (K), le degré Celsius ($^\circ\text{C}$) le degré Fahrenheit ($^\circ\text{F}$), le Rankine ($^\circ\text{R}$, $^\circ\text{Ra}$) et le Réaumur (Ré, $^\circ\text{Re}$). Mais le plus utilisé est le degré Celsius ($^\circ\text{C}$) qui est le mieux adapté à une utilisation de tous les jours.

I.1.2 Pression

Au sens du dictionnaire Universel (2009, P.1010) la pression est l'action de presser ; c'est une force exercée par ce qui presse sur une surface donnée ; c'est la mesure de cette force. L'unité de mesure de la pression est le Pascal (Pa).

La pression est une grandeur physique qui traduit les échanges de quantité de mouvement dans un système thermodynamique, et notamment au sein d'un solide ou d'un fluide. Elle est définie classiquement comme l'intensité de la force qu'exerce un fluide par unité de surface. Dans le Système international d'unités, elle s'exprime en pascals, de symbole Pa.

I.1.3 Densité et volume

La densité est la masse par unité de volume. La relation entre la densité et le volume est directement proportionnelle. Cela signifie que tout changement de volume entraînera un changement de sa densité et vice-versa.

La masse volumique d'une substance, aussi appelée densité volumique de masse, est une grandeur physique qui caractérise la masse de cette substance par unité de volume.

La masse volumique de l'eau valant 1 g/cm^3 à $3,98 \text{ }^\circ\text{C}$, la densité d'un solide ou d'un liquide s'exprime par la même valeur numérique que sa masse volumique en g/cm^3 ou en kg/l . L'unité de mesure de la masse volumique dans le Système international est le kilogramme par mètre cube (kg/m^3).

On utilise couramment le g/cm^3 , le kg/l ou la t/m^3 (ces dernières unités étant numériquement équivalentes) ou toute autre unité exprimée par le rapport d'une unité de masse et d'une unité de volume.

I.1.4 Changement d'état d'une substance

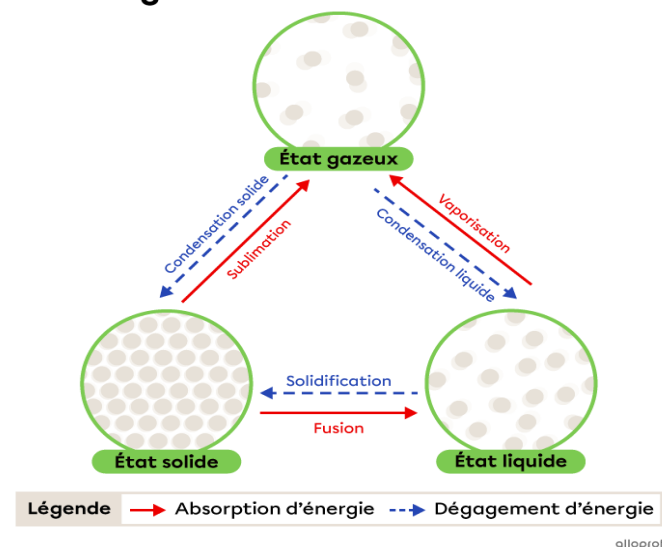
Une substance peut passer d'un état à un autre lorsque la distance entre ses particules change. La distance entre les particules d'une substance est influencée, entre autres, par la température. Si la température de la substance augmente, c'est que la substance absorbe de l'énergie.

La distance entre les particules d'une substance varie selon son état.

- À l'état solide, les particules sont très rapprochées les unes des autres.
- À l'état liquide, les particules sont moyennement rapprochées les unes des autres.
- À l'état gazeux, les particules sont éloignées les unes des autres.

Lors d'un changement d'état, la substance absorbe ou dégage de l'énergie, mais sa nature ne change pas. C'est donc un changement physique.

Les changements d'état



Les changements d'état suivants se produisent grâce à une absorption d'énergie : la fusion, la vaporisation et la sublimation.

✓ La fusion est le passage de l'état solide à l'état liquide. Elle se produit grâce à une absorption d'énergie. La température à laquelle se déroule ce changement d'état est appelée température de fusion, ou point de fusion. Il s'agit d'une propriété physique caractéristique.

✓ La vaporisation est le passage de l'état liquide à l'état gazeux. Lorsque la vaporisation se fait rapidement et avec un apport de chaleur, on l'appelle *ébullition*. La température à laquelle se déroule ce changement d'état est appelée *température d'ébullition*, ou *point d'ébullition*. Il s'agit d'une propriété physique caractéristique. Lorsque la vaporisation se fait lentement et à température

ambiante, on l'appelle *évaporation*. L'évaporation a lieu à une température plus basse que le point d'ébullition.

✓ La sublimation est le passage de l'état solide à l'état gazeux. Elle se produit grâce à une absorption d'énergie.

Les changements d'état suivants se produisent grâce à un dégagement d'énergie : la solidification, la condensation liquide et la condensation solide. Pourquoi les gaz deviennent liquides lorsqu'ils sont sous pression ?

✓ La solidification est le passage de l'état liquide à l'état solide. Elle se produit grâce à un dégagement d'énergie.

✓ La condensation liquide est le passage de l'état gazeux à l'état liquide. Elle se produit grâce à un dégagement d'énergie.

✓ La condensation solide est le passage de l'état gazeux à l'état solide. Elle se produit grâce à un dégagement d'énergie.

I.2 Fluides frigorigènes

I.2.1 Définition

Un fluide frigorigène est un fluide utilisé pour le transfert de chaleur dans un système de réfrigération et qui absorbe la chaleur à basse température et à basse pression et libère cette chaleur à une température plus élevée et à une pression plus élevée, généralement avec des changements d'état du fluide.

Il existe un grand nombre de réfrigérants, mais le nombre de réfrigérants réellement utilisés dans la pratique est beaucoup plus faible.

Le bon réfrigérant doit être sélectionné pour assurer le fonctionnement efficace d'un système de réfrigération. Propriétés pertinentes des réfrigérants :

- Conductivité thermique élevée
- Ébullition en dessous de la température cible
- Température critique élevée
- Pas de glissement de température
- Pas de potentiel d'appauvrissement de la couche d'ozone (PAO/ODP)
- Pas d'effet de serre (pas ou peu de "Pouvoir de Réchauffement Global" ou PRG)
- Non toxique
- Se décompose en substances inoffensives dans l'environnement
- Compatibilité avec les lubrifiants
- Température d'évaporation spécifique élevée
- Capacité de refroidissement volumétrique élevée

Toutes les propriétés ne peuvent être satisfaites de la même manière par n'importe quel réfrigérant. Les réfrigérants naturels sont supérieurs en termes de performances et d'effets sur l'environnement, mais ils nécessitent généralement une attention particulière lors de leur manipulation, ce qui a une incidence sur la conception des systèmes de refroidissement et des pompes à chaleur utilisant des réfrigérants naturels.

Par exemple, le R600a (Isobutane) est devenu le réfrigérant standard pour les réfrigérateurs domestiques au cours des dernières années.

La plupart des réfrigérants sont gazeux à la pression ambiante, ils sont donc stockés sous pression et liquéfiés dans des réservoirs sous pression.

Dans la plupart des pays, les réfrigérants fluorés ne peuvent être achetés et utilisés que par du personnel qualifié.

I.2.2 Impacts environnementaux de la réfrigération

Le développement de la réfrigération au XXe siècle a été favorisé par la découverte, en 1930, par Thomas Midgley et son équipe, des chlorofluorocarbones (CFC) en tant que réfrigérants "sûrs". Les CFC sont non toxiques et ininflammables et ont rapidement été utilisés dans tous les domaines d'application des technologies de réfrigération et de climatisation, ainsi que dans de nombreux autres domaines, tels que les bombes aérosol et les agents gonflants. L'omniprésence actuelle de la réfrigération et de la climatisation, en particulier dans les véhicules, le secteur commercial et les ménages, est largement influencée par l'invention des CFC.

Potentiel d'appauvrissement de la couche d'ozone

Le potentiel d'appauvrissement de la couche d'ozone (PAO) d'un composé chimique est l'importance relative de la dégradation de la couche d'ozone qu'il peut provoquer, le CFC R11 étant fixé à un PAO de 1,0.

Les substances appauvrissant la couche d'ozone (SAO) sont des substances qui endommagent la couche d'ozone de la haute atmosphère. Les SAO comprennent les chlorofluorocarbones (CFC) tels que le R12 et le R502, les hydrochlorofluorocarbones (HCFC) tels que le R22, le R123, le R142b et les mélanges tels que le R408A. Les HCFC sont encore utilisés comme réfrigérants dans de nombreux équipements de réfrigération, de climatisation et de pompes à chaleur (RACPC).

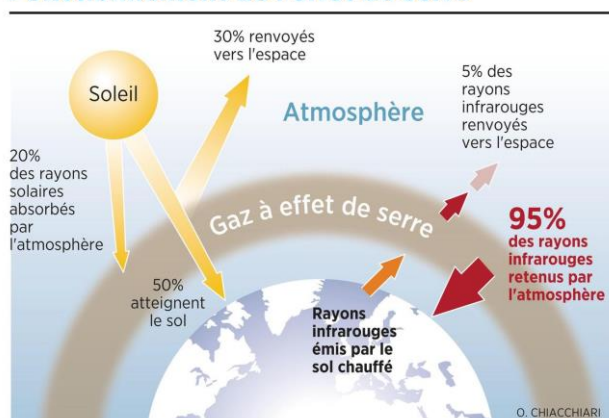
L'appauvrissement de l'ozone augmente la quantité de rayonnement UVB qui atteint la surface de la Terre et entraîne les conséquences négatives suivantes pour la vie sur Terre :

- Effets sur la santé humaine : augmentation des cas de cancer de la peau ; les UVB ont été associés au développement de la cataracte, une opacification du cristallin.
- Effets néfastes sur les plantes.
- Effets sur les écosystèmes marins
- Effets sur les cycles biogéochimiques

Les scientifiques s'accordent aujourd'hui à dire que les émissions de carbone issues des activités humaines et relâchées dans l'atmosphère sont la cause principale du réchauffement climatique.

Les capacités d'absorption des océans et des forêts des rejets des émissions de gaz à effet de serre étant dépassées, un dérèglement climatique majeur est inévitable.

Fonctionnement de l'effet de serre



Réchauffement climatique.

Source : <https://projetletour.ca/>

I.2.3 Produit de dégradation persistant

Tout comme les CFC, les HCFC et les HFC, la nouvelle classe de réfrigérants synthétiques, les uHFC (HFO), sera à nouveau responsable de l'introduction d'un composé persistant dans l'environnement. Contrairement à leurs prédécesseurs, les uHFC (HFO) n'ont pas de PAO mais ont un faible PRG. Leur produit de dégradation, l'acide trifluoroacétique (TFA), n'a cependant pas de voie de dégradation connue et s'accumule dans les eaux, les plantes et les sols. Il est phytotoxique, c'est-à-dire qu'il est toxique pour certaines plantes, et ses effets à long terme ne sont pas encore connus. De nombreux uHFC (HFO) sont également inflammables ou présentent des risques de toxicité et génèrent des produits de décomposition dangereux lorsqu'ils brûlent.

I.2.4 Perspectives : technologies de refroidissement vertes

Les exigences relatives aux réfrigérants de l'avenir sont essentiellement l'absence de PAO et un PRG nul ou très faible, ainsi que l'absence d'autres effets néfastes sur l'environnement. Les réfrigérants synthétiques ne peuvent pas répondre à ces exigences. Les réfrigérants naturels n'ont pas de PAO et un PRG faible ou nul. Ils constituent d'excellentes alternatives respectueuses de l'environnement pour l'avenir. Mais les réfrigérants naturels possèdent des propriétés, telles que l'inflammabilité ou la toxicité, qui doivent être prises en compte lors de la manipulation des systèmes de refroidissements et des pompes à chaleur (RACPC). Pour utiliser ces réfrigérants en toute sécurité, les techniciens doivent posséder des compétences adéquates. Les systèmes de réfrigération ont également besoin d'autres dispositifs de sécurité pour les nouveaux réfrigérants naturels. Ces dispositifs de sécurité sont les suivants :

- Go green constitué des soupapes de sûreté, de lignes go green et d'accessoires des dispositifs de sécurité ;
- Polyhedra constitué de soupapes de sûreté, de lignes polyhedra, de dispositifs de sécurité A disque de rupture et d'accessoires des dispositifs de sécurité ;
- Classic qui est constitué de soupapes de sûreté, de dispositifs de sécurité A disque de rupture, d'accessoires des dispositifs de sécurité Schmezerschlüsse

Aujourd'hui, l'industrie est confrontée à deux options principales concernant l'utilisation future des réfrigérants. Les entreprises peuvent soit passer à des HFC ou HCFC non saturés (les "HFO"), qui ont un PRG plus faible, mais des impacts inconnus sur l'environnement. Elles peuvent également opter pour des réfrigérants naturels qui sont des substances présentes naturellement dans l'environnement. Les réfrigérants naturels sont composés des éléments hydrogène, oxygène, carbone et azote et comprennent les hydrocarbures, le dioxyde de carbone, l'ammoniac, l'eau et l'air (également appelés "les cinq réfrigérants naturels"). Ils n'appauvrissent pas la couche d'ozone et ont un PRG nul ou négligeable. Faisant partie des cycles biogéochimiques naturels, les réfrigérants naturels ne forment pas de substances persistantes dans l'atmosphère, l'eau ou la biosphère.

Les réfrigérants naturels ont été partiellement utilisés dans les processus de réfrigération jusqu'au milieu du 20e siècle. Alors que certaines substances comme l'ammoniac sont utilisées depuis un siècle, d'autres comme le dioxyde de carbone et les hydrocarbures ont été "redécouverts" plus récemment en tant qu'options efficaces pour la réfrigération. Certains réfrigérants naturels sont toxiques et/ou inflammables ou ont une pression de fonctionnement plus élevée que, par exemple, les HFC. Leur utilisation nécessite donc une formation supplémentaire pour les techniciens.

I.2.5 Refroidissement vert : réfrigérants naturels et efficacité énergétique

La conception de l'ensemble du système de réfrigération a une influence décisive sur la consommation d'énergie. L'efficacité d'un système de réfrigération est beaucoup plus influencée par le concept global que par le choix du réfrigérant. Pour chaque réfrigérant chimique, il existe un réfrigérant naturel de remplacement. Dans la majorité des cas, les réfrigérants naturels sont plus performants que les réfrigérants fluorés.

Émissions et efficacité énergétique

Dans le contexte de la réfrigération et de la climatisation, il y a deux types d'émissions de GES (Gaz à Effet de Serre) : les émissions dites "émissions directes", qui sont causées par les fuites de réfrigérants dans l'atmosphère, et les émissions "indirectes" qui sont dues à la consommation d'énergie lors de la production, le transport, le fonctionnement et l'élimination des systèmes RACPC en fin de vie.

Les équipements dont l'efficacité énergétique et l'utilisation de réfrigérants naturels sont maximales, et dont l'impact sur l'environnement est donc réduit au minimum, sont appelés "technologies de refroidissement vertes". Les technologies de refroidissement vertes offrent des alternatives à long terme pour presque tous les types de systèmes et d'appareils dans les secteurs RACPC.

I.3 Couple terre-soleil

Depuis des millénaires, il fascine les hommes... Observé et étudié par toutes les civilisations, le Soleil n'est pourtant qu'une étoile parmi les milliards d'autres astres lumineux qui brillent dans notre galaxie. Il est "ceinturé" par neuf planètes, dont la nôtre : la Terre. Cette dernière semble très particulière, et même unique dans l'état actuel de nos connaissances. Elle est un vaisseau cosmique à bord duquel a pu se développer la Vie sous diverses formes, animales comme végétaux. Dans cette partie, il s'agit d'expliquer la relation qui unit la Terre au Soleil et d'introduire le thème de la couche d'ozone en mobilisant des notions qui sont familières aux apprenants (soleil, lumière, chaleur, nuit, jour, saisons).

I.3.1 Le rôle du soleil

À l'échelle de notre système solaire, le Soleil est énorme. Sa masse représente 98 % de la masse totale du système et conditionne le mouvement de toutes ses planètes. D'un diamètre plus de cent fois supérieur à celui de la Terre, le Soleil agit comme une gigantesque centrale nucléaire, fonctionnant à l'hydrogène et qui aurait une réserve de carburant d'environ 5 milliards d'années.

Le Soleil émet des radiations qui sont dites non ionisantes, mais elles ne sont pas pour autant sans effet :

- a. Les Ultraviolets (UV), invisibles, non calorifiques sont classés en 3 catégories :
 - Les UVC très dangereux, mais totalement absorbés par la couche d'ozone.
 - Les UVB partiellement arrêtés par la couche d'ozone, ils peuvent notamment provoquer des cancers de la peau et accélérer le vieillissement des tissus (peau, cristallin) ...
 - Les UVA, moins filtrés que les UVB, sont également cancérigènes...
- b. La lumière visible constitue la majeure partie des rayons émis par le soleil. Elle permet aux hommes de distinguer les formes et les couleurs (du violet au rouge). Elle joue également un rôle prépondérant dans la photosynthèse des végétaux, ce phénomène complexe au cours duquel ils fabriquent des molécules organiques comme les sucres à partir d'eau et de gaz carbonique.
- c. Les Infrarouges (IR), invisibles, transportent la chaleur. C'est cette partie du rayonnement solaire avec le gaz carbonique de l'atmosphère qui est responsable de l'effet de serre, c'est à dire d'une sorte " d'emprisonnement partiel " de la chaleur qui permet d'avoir une température moyenne de 17° environ sur Terre. Si la nuit, la température baisse, c'est que la face de la Terre à l'ombre n'est plus exposée aux Infrarouges.

- d. Les micro-ondes sont peu énergétiques, mais ont la particularité, par un phénomène de « résonance » de mettre en mouvement les molécules d'eau et de chauffer celles-ci. Ces micro-ondes émises par le soleil ne présentent pas de danger sur terre étant donnée la faible proportion qu'elles représentent.
- e. Les ondes radio, tout à fait comparables à celles émises par les émetteurs de programmes radiophoniques et télévisés, si ce n'est que le Soleil n'émet pas votre musique préférée.

I.3.2 Les effets du soleil

Le soleil est une source de bienfaits dont il faut savoir profiter. Il est une source de Vitamine D qui est responsable de l'absorption du calcium dans notre corps au et contribue également à booster le développement du squelette et au maintien d'un bon capital osseux, le soleil permet aussi de booster le système immunitaire et il est un activateur de la bonne humeur et enfin un régulateur. Pour profiter pleinement des bienfaits du soleil, quelques règles doivent être respectées. Le Centre International de Recherche contre le Cancer (CIRC), atteste qu'une courte exposition solaire l'été des avant-bras et du visage, durant environ 5 à 10 minutes et deux à trois fois par semaine serait suffisante pour produire la quantité de vitamine D. Il conseille également d'utiliser des vêtements pour stopper les UV ainsi que la crème solaire, les lunettes de soleil pour protéger la peau et les yeux du soleil sans oublier de se s'hydrater régulièrement. Cependant, il n'est pas recommandé d'avoir une exposition prolongée et notamment entre midi et seize heures (heure d'été), car les rayons UV sont les plus intenses.

I.3.3 Nécessité de se protéger du soleil

En plein air, il est important de protéger votre peau et vos yeux du soleil. N'oubliez pas de protéger vos enfants. Se protéger du soleil est capital dès le plus jeune âge car les dommages du soleil sur la santé se cumulent avec les années. Il est conseillé également d'utiliser des vêtements pour stopper les UV ainsi que la crème solaire, les lunettes de soleil pour protéger la peau et les yeux du soleil sans oublier de s'hydrater régulièrement. Il n'est pas non plus recommandé d'avoir une exposition prolongée et notamment entre midi et seize heures (heure d'été), car les rayons UV sont les plus intenses.

II. L'atmosphère

L'atmosphère est une épaisse couche qui entoure la terre. Elle est épaisse d'environ 60000 km au-dessus de l'équateur et 30000km au-dessus des pôles. C'est un mélange de gaz. Elle est principalement constituée de diazote à 78%, de dioxygène à 21 % et de quelques gaz beaucoup moins abondants tels que le dioxyde de carbone à 0.038% et de gaz rares comme l'argon à 1%. Dans les 100 premiers kilomètres, l'atmosphère est essentiellement composée d'azote et d'oxygène.

En partant de la terre, l'atmosphère est composée de cinq couches stratifiées qui sont : la troposphère, la stratosphère, la mésosphère, la thermosphère et l'exosphère. Des éléments fondamentaux d'intérêt scientifique ces dernières décennies sont la couche d'ozone et les gaz à effet de serre qui n'ont pas encore fini de dévoiler leurs mystères.

II.1 Couche d'ozone

La couche d'ozone joue un rôle prépondérant. Sans elle, qui filtre particulièrement les rayons UV émis par le Soleil, aucune vie ne serait possible sur Terre. Comme pour les changements climatiques, les scientifiques accumulent les preuves que certaines substances (essentiellement les CFC) rejetées en masse par les humains abîment la couche d'ozone laissant apparaître dans celle-ci des trous, non seulement de plus en plus longs et étendus, mais qui en plus entraînent une diminution globale de notre " bouclier " ozonique.

Processus de destruction de la couche d'ozone

L'ozone ainsi créé peut être détruit de deux manières : soit il est dissocié par rayonnement UV (dissociation la plus probable), soit il s'associe avec un atome d'oxygène pour former du dioxygène. Le cycle de Chapman est ainsi fermé. Ce processus explique comment l'ozone absorbe les UV lorsqu'il est détruit.

Les principales phases de la destruction de la couche d'ozone sont :

- ✓ émission des (CFC) et autres composés halogènes par les activités humaines et les processus naturels à la surface de la terre ;
- ✓ accumulation de ces composés chimiques dans l'atmosphère inférieure (troposphère) car ils sont très stables et non réactifs ;
- ✓ transport de ces composés chimiques vers la stratosphère par la circulation atmosphérique ;
- ✓ conversion de ces composés en composés réactifs dans la stratosphère par des réactions chimiques impliquant les rayons ultraviolets, ces composés réactifs étant responsables de la destruction de l'ozone stratosphérique ;
- ✓ élimination de ces composés par l'humidité dans les nuages et la pluie au niveau de la troposphère.

II.2 Gaz à effet de serre

L'effet de serre est étroitement lié, bien sûr au rayonnement solaire (particulièrement dans le domaine du visible et des infrarouges), mais aussi à la teneur en gaz carbonique dans l'atmosphère terrestre. En effet, plus l'atmosphère est " riche " en CO₂, plus la chaleur émise par le soleil et réfléchi par la Terre est " emprisonnée " dans notre atmosphère. Les scientifiques ont de plus en plus de certitudes, ils attribuent à la forte hausse des concentrations atmosphériques en CO₂, l'élévation de la température moyenne à la surface de la Terre et l'augmentation en nombre et en intensité des phénomènes météorologiques extrêmes (fortes pluies, ouragan, etc....).

III. Procédés de production de froid

III.1 Histoire des techniques du froid

La production de froid à partir d'équipements conçus et fabriqués par les hommes débute au 19^{ème} siècle.

III.1.1 Les premières machines

En 1834, l'américain Jacob Perkins invente une machine à compression de vapeur (en cycle fermé) en utilisant comme fluide frigorigène l'éthyle éther. Ce fluide est inflammable et toxique, mais c'est le seul fluide qui sera utilisé dans les quelques machines à compression fabriquées jusqu'à la fin du siècle.

Durant cette période deux autres principes vont être utilisés pour la production artificielle de froid : les cycles à air et les cycles à absorption.

Le cycle à air a été utilisé la première fois par l'américain John Gorrie, médecin en Floride, qui souhaitait produire de la glace pour améliorer le confort de ses patients. L'utilisation de ce cycle s'est ensuite progressivement réduite et est aujourd'hui limitée à la climatisation des avions.

La machine à absorption a été inventée en 1859 par le français Ferdinand Carré qui choisit comme fluide frigorigène l'ammoniac. Le succès de cette machine fut rapide, tout particulièrement aux États-Unis. Cette machine domina largement les autres types de machines jusqu'en 1875.

III.1.2 La naissance de la technologie du froid au 20^{ème} siècle

La naissance de la technologie de la production du froid (par technologie nous entendons l'utilisation d'outils intellectuels et de théories pour la conception et la réalisation de machines) peut être datée du début du 20^{ème} siècle : la prédominance des machines à compression de fluides liquéfiables était devenue effective et la production artificielle de plus en plus importante. Il fallut toutefois attendre l'année 1915 pour que dans le pays le plus moderne de l'époque, les États-Unis, la production artificielle de glace dépasse la production naturelle de glace, soit environ 25 Mt/an pour chacune.

En 1973, la crise pétrolière força les industriels et les utilisateurs à une prise en compte des problèmes énergétiques. En 20 années, la technologie du froid a connu des améliorations majeures :

- amélioration des compresseurs, notamment des compresseurs hermétiques ;
- introduction de nouveaux types de compresseurs : compresseurs SCROLL ;
- amélioration des performances des échangeurs grâce aux développements de tubes, ailettes et plaques à haute performance.

En 1983, la mise en évidence d'un trou d'ozone au-dessus du continent antarctique et la mise en cause des fluides de type hydrocarbures halogénés, tout particulièrement chlorofluorocarbures (CFC), bouleverse le monde du froid.

Des règles internationales de réduction et d'arrêt de production des CFC sont édictées par le protocole de Montréal (1987). La réduction des émissions des gaz à effet de serre (GES) dont font partie les HFC, HCFC, fluides utilisés dans les équipements de production de froid, est engagée suite au protocole de Kyoto en 1992 et aboutit récemment à la mise en place de directives européennes contraignantes (F Gas).

III.2 Les enjeux industriels et économiques

Le froid a de nombreuses applications dont les principales sont les suivantes :

➤ **Le froid alimentaire** qui vise à la conservation des produits alimentaires, nécessite des équipements pour la production de produits surgelés ou congelés, la production de glaces, le stockage des produits, le transport des produits : camions, trains, bateaux frigorifiques et la mise à la vente de ces produits : vitrines frigorifiques de vente.

➤ **Le conditionnement d'air** qui vise à créer les conditions satisfaisantes pour le confort des habitants en jouant la température, l'hygrométrie, le renouvellement et la filtration de l'air. Les lieux potentiellement concernés sont les habitats, les bureaux, les commerces, les usines, les transports et les voitures.

➤ **Les applications industrielles du froid** qui sont extrêmement variées. Ainsi, le traitement thermique des pièces métalliques (glace carbonique), l'ébarbage de pièces en caoutchouc (glace carbonique), la concentration de solutions aqueuses (épaississement d'extraits végétaux, entre autres), le contrôle de température de réacteurs chimiques ou de futs de vinification.

Une application particulièrement importante qui utilise des techniques frigorifiques est la production de gaz naturel liquéfié (GNL). La liquéfaction du gaz, constitué de 90% de méthane, présente un avantage évident pour le transport et le stockage : à la pression atmosphérique, la phase gazeuse occupe un volume 600 fois plus grand qu'à l'état liquide. Le processus de liquéfaction nécessite la production de froid à des niveaux de température inférieurs ou égaux à -160 °C.

III.3 Les principes de production du froid

Produire du froid, c'est tout simplement absorber de la chaleur à une température inférieure à la température ambiante. Ainsi, le refroidissement d'un corps quelconque en dessous de la température ambiante nécessite l'utilisation d'un mécanisme endothermique. La chaleur alors extraite du corps est ensuite rejetée dans le milieu ambiant : air ou eau. Parmi les nombreux mécanismes endothermiques, diverses transformations peuvent être citées :

- les procédés thermodynamiques tels que la dissolution de corps solides dans un liquide (eau, par exemple) ou dans un solide (glace, par exemple) ; la détente isenthalpe ou isentrope d'un gaz ; l'évaporation d'une phase liquide, par exemple dans un cycle à absorption ou à compression ; la fusion ou sublimation d'une phase solide ;
- les procédés électriques ou magnétiques tels que le refroidissement thermoélectrique par effet Peltier ou la désaimantation adiabatique.

III.3.1 Les modes de production du froid

Les différents principes de production de froid évoqués ci-dessus se réalisent selon deux modes : la réfrigération en circuit ouvert et celle en circuit fermé.

La réfrigération en circuit ouvert est le type dans lequel le produit à refroidir est mis en contact thermique direct ou indirect avec le fluide frigorigène. Les exemples les plus courants sont l'azote liquide qui, en se vaporisant (voire en se réchauffant) absorbe la chaleur d'un corps avant d'être rejeté à l'extérieur ; l'air détendu dans un tube de Ranque, par exemple, qui est envoyé sur la pièce à refroidir avant d'être rejeté à l'atmosphère ; la glace qui, grâce à sa chaleur de fusion, maintient la température d'une chambre frigorifique, l'eau produite étant ensuite rejetée. Ce mode de réfrigération suppose un fluide non toxique et relativement peu coûteux. Son avantage réside dans la simplicité du fonctionnement, le faible investissement et la souplesse de fonctionnement.

La réfrigération en circuit fermé dans lequel le produit à refroidir ne peut pas être mis en contact direct avec le fluide frigorigène. Celui-ci circule dans un circuit fermé qui constitue la machine frigorifique proprement dite. C'est le cas des machines à compression à l'intérieur desquelles le fluide frigorigène est successivement comprimé, condensé, détendu et vaporisé.

III.3.2 Les procédés thermodynamiques de production de froid

Ils sont de trois types.

III.3.2.1 Dissolution d'un sel dans de l'eau ou la glace

Certains corps solides, tout particulièrement les sels, mis en solution dans de l'eau ou dans une phase liquide provoque une réaction chimique fortement endothermique qui induit un abaissement important de la température. C'est le cas du chlorure de calcium en solution, du nitrate d'ammonium en solution, du sulfate de soude en solution dans l'acide chlorhydrique.

Des températures plus basses peuvent être atteintes lorsque l'on mélange des sels avec une phase solide comme la glace : lors de ce mélange, la température de fusion est fortement abaissée et ainsi la chaleur de fusion de la glace sert au refroidissement du mélange.

Ce principe de production de froid reste très peu utilisé principalement du fait de son irréversibilité. Toutefois certains dispositifs de sécurité, pour le refroidissement de pièces ou d'ambiance, sont basés sur ce principe.

III.3.2.2 Détente d'un gaz comprimé

Dans ce mode de production de froid, on utilise l'abaissement de la température d'un gaz que l'on détend.

III.3.2.3 Évaporation, fusion, sublimation

Le changement d'état d'un corps peut constituer une transformation fortement endothermique : c'est le cas bien entendu de l'évaporation (liquide vers vapeur), de la fusion (solide vers liquide) ou de la sublimation (solide vers vapeur).

Le fluide frigorigène est un élément vital de toute machine frigorifique (à compression ou à absorption). Il absorbe la chaleur de la source froide (et produit du froid généralement par l'intermédiaire d'un évaporateur) et cède la chaleur à la source chaude (par l'intermédiaire du condenseur).

Les performances et le dimensionnement d'une machine frigorifique dépendent en grande partie du choix du fluide frigorigène.

Les fluides frigorigènes sont généralement des dérivés d'hydrocarbures saturés (à l'exception de l'ammoniac, du dioxyde carbone et de l'eau). La formule chimique des fluides frigorigènes de ce type est : $C_x H_z F_z Cl_t$ où C, H, F, Cl désignent respectivement les atomes de carbone, l'hydrogène, le fluor et le chlore.

Le choix d'un fluide frigorigène adapté à une application particulière (généralement définie par les niveaux de températures des sources froides (T_f) et chaude (T_c)) est un processus complexe. Il doit intégrer de nombreux critères de nature fort diverse.

III.4 Les critères de choix d'un fluide

III.4.1 Les critères thermodynamiques

Le coefficient de performance (COP), on l'a vu, dépend fortement du choix du fluide. D'autres paramètres thermodynamiques (autres que le COP) doivent également être pris en compte. Ce sont :

- la pression au condenseur (HP) : celle-ci ne doit pas excéder certaines valeurs pour des raisons de conception mécanique des composants (compresseur et condenseur) ; les composants frigorifiques sont généralement conçus pour des pressions absolues jusqu'à 25 bars ;

- la pression à l'évaporateur (BP) : on évite généralement des basses pressions inférieures à la pression atmosphérique (bien que dans certains cas, cela ne puisse être évité aisément) pour limiter les risques d'entrée d'air dans le circuit frigorifique ; ces entrées d'air ont un effet néfaste, car la présence d'incondensables réduit de façon notable les performances du condenseur et en conséquence de la machine ; en outre, elles génèrent des entrées d'humidité qui entraînent un possible bouchage des organes de détente (par givrage de l'humidité) et des risques de corrosion ; dans le cas d'une machine travaillant à une pression inférieure à la pression atmosphérique, il est essentiel de l'équiper de purgeurs au niveau de l'étage haute pression et permettre l'évacuation régulière des éventuelles entrées d'air ;

- la température de refoulement au compresseur : cette température est généralement très supérieure à la température de condensation du fluide ; la surchauffe de la vapeur est dépendante du fluide frigorigène retenu (dans le cas d'une compression isentropique) ; elle est également dépendante de la technologie du compresseur par son rendement isentropique ; cette température de refoulement ne doit pas excéder des valeurs excessives pour éviter la dégradation de l'huile de lubrification, des problèmes mécaniques sur le compresseur et des détériorations graves des bobinages des moteurs électriques (cas des compresseurs hermétiques) ; on retient généralement des valeurs maximales de 120 °C dans les conceptions actuelles des compresseurs ;

- le taux de compression (rapport HP/BP) : il admet des valeurs comprises entre 2 et 5 dans les installations courantes ; un taux de compression excessif génère une dégradation du rendement volumique et du rendement indiqué du compresseur, il génère aussi une température de refoulement excessive.

Deux autres grandeurs thermodynamiques sont fréquemment utilisées pour comparer les fluides frigorigènes. Ce sont :

- l'effet frigorifique (exprimé en kJ/kg) qui représente la chaleur absorbée dans l'évaporateur pour chaque unité de masse de fluide frigorigène circulant dans le compresseur ;

- la production frigorifique volumétrique PV (en kJ/m³) qui est défini comme le rapport de l'effet frigorifique sur le volume spécifique de la vapeur à l'aspiration du compresseur ; cette grandeur exprime donc la chaleur absorbée pour chaque unité de volume de vapeur à l'entrée du compresseur ; une valeur élevée de ce paramètre est à privilégier, car cela induit une réduction de la taille du compresseur.

3.4.2. Les critères thermocinétiques

Les propriétés de transport du fluide frigorigène (conductivité thermique et viscosité dynamique) sont également des paramètres importants. Elles conditionnent les coefficients de transfert dans l'évaporateur et le condenseur ainsi que les pertes de pression dans ces équipements et dans les circuitages de la machine. Une valeur élevée des conductivités des phases liquides et vapeurs ainsi qu'une valeur réduite des viscosités des phases seront préférées.

III.4.2 Les critères liés à la protection de l'environnement et à la sécurité

Ces critères sont devenus des paramètres essentiels pour le choix d'un fluide frigorigène, les effets des fluides frigorigènes sur l'environnement étant de deux types :

- un effet sur la couche d'ozone que l'on quantifie par le paramètre ODP (*ozone layer depletion potential*) : les fluides frigorigènes de type CFC (R12, R502...) qui présentent les valeurs les plus élevées en termes d'ODP ne sont plus produits en Europe depuis le 1^{er} janvier 1995 ; ces fluides CFC ont été les premiers à être réglementés par le protocole de Montréal ; les fluides HCFC (R22, par exemple) qui présentent une valeur d'ODP plus faible sont également visés par les réglementations internationales ; les fluides de type HFC (R134a, par exemple) sont sans effet sur la couche d'ozone (ODP=0) ; il en est de même de l'ammoniac, des hydrocarbures, du dioxyde de carbone ou de l'eau ;

- une contribution à l'effet de serre (qui se caractérise par les paramètres GWP ou TEWI) ; les fluides frigorigènes sont directement concernés par les directives européennes ; les fluides de type HFC présentent un GWP non nul contrairement aux fluides de type NH₃, CO₂, ou hydrocarbures.

- les contraintes de sécurité liées à l'utilisation des fluides frigorigènes prennent en compte différents aspects :

- la toxicité du fluide : le niveau de toxicité des fluides frigorigènes de type CFC, HCFC et HFC sont généralement faibles ;

- l'inflammabilité des fluides : les CFC, HCFC et HFC sont généralement pas ou peu inflammables ; par contre les hydrocarbures ou l'ammoniac sont des fluides inflammables et explosifs (cela se traduit par des compositions limitées à ne pas dépasser dans les locaux recevant ces équipements pour éviter tout risque d'explosion) et requièrent des précautions pour leur mise en œuvre ; une réglementation existe et devrait évoluer quant à l'usage de ces fluides inflammables dans les équipements frigorifiques ;

- la haute pression qui règne dans certains des équipements de la machine est prise en compte par la DESP (directive des équipements sous pression).

III.5 Les compatibilités des fluides frigorigènes avec les matériaux constituant une machine frigorifique

Le choix d'un fluide frigorigène impose une sélection des matériaux en contact avec celui-ci :

- les métaux : les fluides frigorigènes de type CFC, HCFC et HFC sont généralement peu corrosifs ; toutefois la présence de lubrifiants et de traces d'humidité peut induire des effets de corrosion sur des métaux courants ; ainsi, les huiles PAG avec le fluide R134a favorisent des phénomènes de dépôts électrolytiques du cuivre sur les pièces en acier des compresseurs ; l'ammoniac ne peut accepter les alliages cuivreux ;

- les résines et plastiques : le fluide frigorigène peut être en contact avec des joints d'étanchéité ou les résines qui enrobent les bobinages des moteurs (compresseurs hermétiques).

IV. CORRIGÉ DU DIAGNOSTIC

1. Définition de concepts : température, pression, chaleur ...
 - Température, est l'état de l'air, de l'atmosphère en un lieu, considéré du point de vue de la sensation de chaleur ou de froid que l'on y éprouve et dont la mesure objective est fournie par le thermomètre.
 - Pression, est définie classiquement comme l'intensité de la force qu'exerce un fluide par unité de surface
 - Chaleur c'est la température élevée de la matière par rapport au corps humain ; c'est une sensation de brûlure produite par un corps à la température élevée.

2. Les différents états de la matière : l'état solide, l'état liquide et l'état gazeux.

3. On appelle :

- fusion est le passage de l'état solide à l'état liquide ;
- vaporisation est le passage de l'état liquide à l'état gazeux ;
- sublimation est le passage de l'état solide à l'état gazeux ;
- solidification est le passage de l'état liquide à l'état solide ;
- condensation liquide est le passage de l'état gazeux à l'état liquide ;
- condensation solide est le passage de l'état gazeux à l'état solide.

4. Les éléments de l'atmosphère sont l'azote et l'oxygène en général.

La couche d'ozone filtre particulièrement les rayons UV émis par le Soleil, en vue de rendre possible la vie sur Terre.

5. Le processus de dégradation de la couche d'ozone

L'ozone ainsi créé peut être détruit de deux manières : soit il est dissocié par rayonnement UV (dissociation la plus probable), soit il s'associe avec un atome d'oxygène pour former du dioxygène. Le cycle de Chapman est ainsi fermé. Ce processus explique comment l'ozone absorbe les UV lorsqu'il est détruit.

6. Le rôle que jouent les émanations de gaz dans la détérioration de la couche d'ozone ?

Certaines substances (essentiellement les CFC) rejetées en masse par les humains abîment la couche d'ozone laissant apparaître dans celle-ci des trous, non seulement de plus en plus longs et étendus mais qui en plus, entraînent une diminution globale de notre " bouclier " ozonique.

7. Des stratégies de protection de la couche d'ozone.

Achetez des équipements de climatisation et de réfrigération qui n'utilisent pas de HCFC comme réfrigérant ;
Achetez des produits aérosols qui n'utilisent pas de HCFC ou de CFC comme propulseur ;

Procédez à une inspection et à un entretien régulier des appareils de climatisation et de réfrigération afin de prévenir et de minimiser les fuites de réfrigérant ;
Appliquer les dispositions des protocoles existants.

8. Un procédé de production de froid

- les procédés thermodynamiques tels que la dissolution de corps solides dans un liquide (eau, par exemple) ou dans un solide (glace, par exemple) ; la détente isenthalpe ou isentrope d'un gaz ; l'évaporation d'une phase liquide, par exemple dans un cycle à absorption ou à compression ; la fusion ou sublimation d'une phase solide ;
- les procédés électriques ou magnétiques tels que le refroidissement thermoélectrique par effet Peltier ou la désaimantation adiabatique.

V. ACTIVITÉS

Pour aller plus loin :

- Voir le rôle de l'homme dans le processus de destruction de la couche d'ozone ;
- Les organisations locales de sauvegarde l'environnement ;
- Visitez les sites web cités en bibliographie.

Conclusion

La nature se compose des êtres vivants et de divers éléments. Ces différentes composantes ne sont pas indépendantes mais elles établissent entre elles des relations indispensables à la vie des êtres vivants. Pour la protection de l'homme et de son environnement, il lui appartient de faire un bon choix des fluides frigorigènes n'ayant aucun impact sur la couche d'ozone et respectant les critères thermodynamiques.

Ressources bibliographiques :

1. Collin Bootsveld, Fouzi Tabet, Dennis Frieske, Rolf Hühren (HEAT GmbH) revu par Antoine Azar (2023), Guide d'introduction aux réfrigérants naturels ;
2. Edgar Timm, HEAT GMBH, Module K : L'efficacité énergétique dans la réfrigération et la climatisation ;
3. PNUÉ Là-haut dans le ciel, éducation à la couche d'ozone pour le collège : guide de l'enseignant ;
4. PNUÉ (2006), Pack Éducatif ActionOzone : Guide pour les enseignants de l'école primaire ;
5. [E-learning | Real Alternatives](#) ;
6. <https://www.realalternatives.eu/plateforme-d-apprentissage> ;
7. <https://publikationen.giz.de/esearcha/index.tt.html?lang=en> ;
8. <https://www.heat-international.de/publications/>.
9. <https://www.encyclopedie-energie.org/usage-et-production-de-froid/#:~:text=Produire%20du%20froid%2C%20c%27est,utilisation%20d%27un%20m%C3%A9canisme%20endothermique>.
10. <https://fr.wikipedia.org/wiki/Pression>

Chapitre 2 : Les réfrigérants

Introduction

Les réfrigérants sont des substances utilisées dans les systèmes de réfrigération et de climatisation pour absorber et transférer la chaleur, permettant ainsi de refroidir des espaces ou des objets. Leur rôle principal est de circuler dans un circuit fermé où ils passent alternativement d'un état liquide à un état gazeux, absorbant la chaleur dans le processus d'évaporation et la libérant lors de la condensation.

Les réfrigérants ont une longue histoire d'évolution, allant des premiers réfrigérants naturels comme l'ammoniac et le dioxyde de carbone aux réfrigérants synthétiques plus modernes tels que les chlorofluorocarbures (CFC) et les hydrofluorocarbures (HFC). Toutefois, avec la prise de conscience des impacts environnementaux, notamment l'appauvrissement de la couche d'ozone et le réchauffement climatique, les réfrigérants traditionnels ont été largement réglementés ou supprimés, ouvrant la voie à des alternatives plus écologiques, comme les hydrofluoroléfines (HFO) et d'autres réfrigérants naturels.

Les réfrigérants sont classés selon différents critères, notamment leur impact environnemental, leur efficacité énergétique et leur sécurité (inflammabilité, toxicité). De plus, chaque réfrigérant a des caractéristiques spécifiques, comme le point d'ébullition, la pression de travail et le pouvoir de réfrigération, qui déterminent son utilisation dans différents types d'appareils, qu'il s'agisse de réfrigérateurs domestiques, de climatiseurs, ou de systèmes de réfrigération industrielle.

Avec l'augmentation des normes environnementales, l'industrie continue de développer de nouveaux réfrigérants plus durables et respectueux de l'environnement pour répondre aux défis mondiaux liés aux changements climatiques.

I. OBJECTIFS

- Définir les concepts clés
- Décrire les familles de fluides
- Énumérer les équipements du froid et de la climatisation à usage domestique
- Donner les impacts environnementaux de la réfrigération
- Identifier les mesures de protection de la couche d'ozone

II. DIAGNOSTIC : CE QUE JE SAIS DÉJÀ

1. Quels sont les différents types de fluides utilisés en réfrigération et climatisation, et comment sont-ils classés ?
2. Quels sont les principaux concepts du froid et de la climatisation ?
3. Comment le choix des fluides réfrigérants impacte-t-il l'efficacité énergétique et l'environnement ?

III. MEMENTO : CE QUE JE DOIS SAVOIR

I. Définitions de concepts

I.1 Technologies de refroidissement

Les technologies de refroidissement sont des équipements utilisés dans le domaine de la réfrigération et la climatisation. Il s'agit des dispositifs et systèmes utilisés pour abaisser la température d'un environnement, d'une substance ou d'un équipement. Elles comprennent des techniques comme la réfrigération, la climatisation, les échangeurs thermiques, et les systèmes de refroidissement par évaporation, en utilisant divers fluides frigorigènes et mécanismes de transfert de chaleur.

I.2 Durabilité environnementale

Ce concept fait référence à la gestion responsable des ressources naturelles pour répondre aux besoins actuels sans compromettre la capacité des générations futures à satisfaire les leurs. Elle implique des pratiques qui minimisent les impacts négatifs sur l'environnement, comme la réduction des émissions polluantes, la gestion durable des déchets, et la conservation des écosystèmes. Elle repose sur trois piliers principaux que de nombreuses organisations s'efforcent d'atteindre :

- **Durabilité sociale**

Pour les entreprises, la durabilité sociale inclut les problèmes importants liés à l'espace de travail et aux employés, tels que la santé et la sécurité, l'inclusion, l'autonomisation, les opportunités de développement professionnel et l'équilibre entre vie professionnelle et vie privée.

- **Durabilité économique**

Bien que l'on puisse penser que ce pilier se concentre sur la capacité d'une organisation à rester rentable tout au long de sa durée de vie, la durabilité économique n'est pas seulement une question d'argent. Une organisation économiquement durable peut générer des revenus et maintenir une croissance à long terme sans affecter négativement la communauté, l'environnement, la santé et le bien-être de ses employés.

- **Durabilité environnementale**

Ce pilier concerne la protection de l'environnement pour les générations futures. Les organisations durables prennent des mesures pour améliorer l'efficacité, réduire la consommation et le gaspillage des ressources, et mesurer et surveiller les émissions de carbone tout au long de la chaîne logistique. Aujourd'hui, de nombreuses organisations intensifient leurs efforts environnementaux en adoptant des technologies de pointe, notamment le cloud et les solutions durables de l'IoT, qui leur permettent de suivre et de réduire leur impact environnemental.

La durabilité environnementale est la capacité à maintenir un équilibre écologique dans l'environnement naturel de notre planète et à préserver les ressources naturelles pour assurer le bien-être des générations actuelles et futures.

I.3 Empreinte carbone

L'empreinte carbone ou le contenu carbone d'une activité humaine est une mesure des émissions de gaz à effet de serre d'origine anthropique, c'est-à-dire une mesure des émissions qui peuvent être imputées à cette activité humaine. Elle dépend des facteurs d'émission des intrants liés à cette activité et en particulier des facteurs d'émission associés aux sources d'énergies utilisées.

Elle permet de mesurer les gaz à effet de serre émis par une activité, une personne ou un pays. Pour calculer cet indice, il faut considérer la quantité de carbone émise au quotidien : mode de transport, logement, numérique, alimentation, numérique, ou encore habitudes d'achats.

II. Différentes familles de fluides

Les fluides frigorigènes sont des substances ou des mélanges de substances utilisés dans les circuits de systèmes frigorifiques (climatisation, congélateur, réfrigérateur, etc.) qui possèdent des propriétés thermodynamiques (passage en phase liquide et en phase gazeuse en fonction de la température et de la pression) permettant de transférer de l'énergie calorifique (production de froid).

Les réfrigérants naturels sont des substances présentes naturellement dans l'environnement, composées d'hydrogène, d'oxygène, de carbone et d'azote. Ils sont réputés pour avoir un faible impact environnemental, car ils n'appauvrissent pas la couche d'ozone et ont un potentiel de réchauffement global (PRG) nul ou négligeable. Les principaux réfrigérants naturels sont :

- **Hydrocarbures** (R290 : Propane, R1270 : Propène, R600a : Isobutane)
- **Dioxyde de carbone** (R744 : CO₂)
- **Ammoniac** (R717 : NH₃)
- **Eau** (R718 : H₂O)
- **Air** (R729 : mélange d'azote, oxygène, argon, etc.)

II.1 Les fluides contenant du chlore : CFCs, HCFC,

Les fluides chlorés et fluorés sont des réfrigérants dont les molécules sont composées de chlore, de carbone et de fluor. Dans ces catégories de réfrigérants on distingue les CFC, les HCFC et les HFC.

✓ Les CFC

Les Chlorofluorocarbures (CFC) sont des composés qui ne contiennent que du chlore, du fluor et du carbone. Ils sont très stables et se transforment dans la haute atmosphère (stratosphère) interagissant par l'intermédiaire de l'atome de chlore avec les molécules d'ozone qui sont ainsi détruites en cascade. Ils ont été interdits de production depuis 1995 à cause de cette grande capacité de destruction de la couche d'ozone.

✓ Les HCFC

Les hydro chlorofluorocarbures (HCFC) sont des molécules chimiques composées de chlore, de carbone, de fluor et d'hydrogène. Elles sont moins stables que les CFC et détruisent l'ozone dans de plus faibles proportions. Les HCFC ont été les substances de transitions aux CFC. Leur élimination est actuellement programmée par les parties signataires du Protocole de Montréal.

HCFC	Utilisations/Observations
R-22	Fluide frigorigène le plus souvent utilisé, aussi bien en froid industriel qu'en climatisation.
R123	Remplace le R-11 dans les groupes centrifuges.
R124	Essentiellement utilisé dans certains mélanges.

✓ Les HFC

Les hydrofluorocarbures sont des molécules chimiques composées de carbone, de fluor et d'hydrogène. Elles ne contiennent donc pas de chlore et ne participent donc pas à la destruction de la couche d'ozone. Elles sont une solution pour la protection de la couche d'ozone mais possèdent un

PRG non négligeable ce qui les classe dans les substances participant à l'effet de serre et donc incriminées par le Protocole de Kyoto.

HFC	Utilisations/Observations
R134a	Fluide frigorigène qui a remplacé le R-12 en froid domestique et en climatisation automobile. C'est également un composant majeur de la plupart des mélanges de remplacement.
R125	N'est jamais utilisé pur en raison de sa température critique trop faible (66°C). Il entre dans la composition de nombreux mélanges compte tenu de son pouvoir "extincteur".
R32 R152a R143a	Inflammables et donc utilisés uniquement en mélange avec d'autres composants qui "neutralisent" leur inflammabilité.

II.2 Les fluides de transition HFC, HFO

On peut les classer en fonction du type de composants chlorés qu'ils contiennent. Ils se distinguent également par le fait que certains mélanges sont zéotropes (c'est-à-dire qu'au cours d'un changement d'état - condensation, évaporation - leur température varie) et que d'autres mélanges sont azéotropes (ils se comportent comme des corps purs, sans variation de température lors du changement d'état).

II.2.1 Les mélanges contenant des CFC (interdits)

CFC	Observations
R502	Mélange azéotrope de R-22 et de R-115, qui est un CFC interdit
R500	Mélange azéotrope de R-152a et de R-12, qui est un CFC interdit
R503	Mélange azéotrope de R-23 et de R-13, qui est un CFC interdit

II.2.2 Les mélanges contenant des HCFC (ou "mélanges de transition", provisoirement tolérés)

Mélanges de transition	Observations
R401	Mélange zéotrope de R-22, de R-152a et de R-124. Des concentrations diverses entre ces 3 constituants existent, de là les R-401A, R-401B et R-401C.
R402B	Mélange zéotrope de R-22, de R-125 et de R-290.
R408A	Mélange zéotrope de R-22, de R-143a et de R-125.

II.2.3 Les mélanges ne contenant pas de molécule chlorée

Mélanges sans chlore	Observations
R404A	Mélange zéotrope de R-125, de R-143a et de R-134a (44/52/4). À noter qu'il est presque azéotropique.
R407A	Mélange zéotrope de R-32, de R-125 et de R-134a (20/40/40).
R407B	Mélange zéotrope de R-32, de R-125 et de R-134a (10/70/20).
R407C	Mélange zéotrope de R-32, de R-125 et de R-134a (23/25/52).
R410A	Mélange zéotrope de R-32, et de R-125 (50/50)
R410B	Mélange zéotrope de R-32, et de R-125 (45/55)
R-507A	Mélange azéotrope de R-125 et de R-143a (50/50)

II.3 Les fluides naturels : CO2, NH3, HC

Les réfrigérants naturels (ammoniac, CO2, HC) sont les fluides frigorigènes qui ont un pouvoir d'appauvrissement de la couche d'ozone (PAO) nul et un faible Pouvoir de réchauffement global (PRG). À ce titre ils sont actuellement considérés comme faisant partie des meilleurs réfrigérants pour la protection de la couche d'ozone et pour la lutte contre le réchauffement climatique. Ils présentent cependant tous des inconvénients, soit au niveau sécurité, soit au niveau thermodynamique.

II.3.1 L'ammoniac (NH3) ou R717

Fluide inorganique, thermodynamiquement excellent frigorigène pour des températures d'évaporation comprises entre - 35 °C et + 2 °C. Mais c'est un fluide dangereux : toxique et inflammable. Malgré tous ces défauts, ses qualités sont telles qu'il est utilisé dans le froid industriel.

II.3.2 Le dioxyde de carbone (CO2) ou R744

Fluide inorganique, non toxique, non inflammable, mais peu performant au niveau thermodynamique. Son usage impliquerait des pressions élevées et des compresseurs spéciaux. Il peut seulement être intéressant à très basse température (entre -50 et -35 °C).

II.3.3 Les hydrocarbures (HC)

Les hydrocarbures sont des substances naturelles organiques provenant de matières végétales fossilisées. Elles sont commercialisées sous forme d'huile, de gaz ou liquide. Il s'agit essentiellement du butane (R600), de l'isobutane (R600a), du propène (R1270) et du propane (R290).

Ces fluides organiques présentent de bonnes propriétés thermodynamiques, mais sont dangereux par leur inflammabilité.

Comme réfrigérant, ces substances sont utilisées dans les secteurs de la réfrigération et de la climatisation.

Les hydrocarbures utilisés comme réfrigérant respectueux de l'environnement possèdent les caractéristiques et propriétés suivantes :

- non toxique ;
- non destructeur de la couche d'ozone ;
- faible potentiel de réchauffement de la planète (PRG) ;
- inodore aux faibles concentrations ;
- incolore ;
- extrêmement inflammable.

1.1. Les réfrigérants alternatifs à moyen et longs termes

Les HFC les plus utilisés sont des fluides frigorigènes qui ont un pouvoir d'appauvrissement de la couche d'ozone (PAO) nul, mais un pouvoir de réchauffement global (PRG) élevé.

Des alternatives aux HFC à PRG élevé ont été testées et certaines sont utilisées en climatisation et en réfrigération. On peut citer :

- **Le difluorométhane ou R32**

Le difluorométhane est un composant du R410A (50%). C'est un HFC dont le PRG est faible. C'est un des fluides frigorigènes qui offrent le meilleur rendement en réfrigération et en climatisation. Une compagnie japonaise propose des climatiseurs réversibles au R32.

Avantages :

- un PRG de 550 à 675 selon les sources, contre 2100 pour le R410a, 3500 pour le R125, 3900 pour le R404a ;
- un impact nul sur la couche d'ozone ;
- une stabilité permettant d'optimiser les performances du circuit thermodynamique d'un climatiseur ou d'une pompe à chaleur.

Inconvénients : c'est un fluide inflammable de niveau moyen (classe de sécurité A2).

- **Les hydrofluoroléfines (HFO)**

Les HFO encore appelés fluides frigorigènes de 4ème génération, sont des fluides frigorigènes fluorés de la famille des hydrofluoro-oléfines à très faible PRG et à PAO nul.

Honeywell propose deux produits de 4ème génération qui sont les HFO-1234yf et les HFO-1234ze :

- HFO-1234yf, il est destiné aux applications de climatisations auto. Il serait le remplaçant idéal du R134a dans la climatisation auto.
- HFO-1234ze, il présente les mêmes propriétés chimiques que le R134a et peut être utilisé à la place du R134a dans les mousses.

III. Les équipements du froid et de climatisation domestique.

Les équipements de froid et de climatisation domestique jouent un rôle essentiel dans le confort quotidien des ménages. Ils sont conçus pour réguler la température et l'humidité dans les espaces intérieurs, offrant ainsi un environnement agréable en toutes saisons. Les systèmes de climatisation domestique permettent de rafraîchir l'air ambiant durant les périodes chaudes, tandis que les réfrigérateurs et congélateurs assurent la conservation des aliments à des températures adaptées, prolongeant leur durée de vie. Avec les avancées technologiques, ces équipements sont devenus plus écoénergétiques, contribuant à réduire la consommation d'énergie et les émissions de gaz à effet de serre, tout en améliorant la qualité de vie dans les foyers.

III.1 Pompes à vide



Les pompes à vide représentées sur l'image des pompes à palettes rotatives ou des pompes à vide à deux étages. Ces modèles sont communs pour les applications domestiques et industrielles, notamment dans la climatisation et la réfrigération. Elles se composent généralement d'un boîtier

métallique, avec une poignée pour faciliter leur transport, et sont équipées de vannes et de manomètres pour contrôler le niveau de vide et la pression. Ces pompes fonctionnent à l'aide d'un moteur électrique qui actionne un mécanisme interne pour expulser l'air ou les gaz présents dans un système.

Le rôle principal de ces pompes est de :

- **créer un vide** dans les systèmes de réfrigération et de climatisation avant le chargement du fluide frigorigène. Ce processus élimine l'air, l'humidité et les contaminants qui pourraient affecter le bon fonctionnement du système.
- **assurer l'étanchéité** des systèmes pour éviter les fuites de fluide frigorigène.
- **optimiser l'efficacité** des systèmes en éliminant les impuretés et l'humidité qui peuvent causer des dysfonctionnements ou réduire l'efficacité énergétique.

Les pompes à vide sont donc des outils essentiels pour l'entretien et l'installation des systèmes de réfrigération et de climatisation.

III.2 Équipements de brasage (Postes oxyacétylénique, etc...)



Les équipements de brasage, notamment les postes oxyacétyléniques, jouent un rôle crucial dans les opérations de soudage, d'assemblage et de réparation de métaux. Le brasage est une technique qui consiste à assembler des pièces métalliques en utilisant un métal d'apport fondu, sans faire fondre les pièces à assembler elles-mêmes. Voici une description des principaux équipements de brasage et leur rôle :

III.2.1 Poste oxyacétylénique

Le poste oxyacétylénique est un des équipements les plus courants pour le brasage.

Il utilise deux gaz : l'oxygène et l'acétylène, qui sont stockés dans des bouteilles sous pression séparées. Le mélange de ces deux gaz permet de générer une flamme très chaude (environ 3 100 °C) capable de chauffer rapidement les métaux et de faire fondre le métal d'apport. L'équipement comprend plusieurs éléments :

- **bouteilles d'oxygène et d'acétylène** : Fournissent les gaz pour la combustion.
- **manodétendeurs** : Régulent la pression des gaz sortants.
- **tuyaux flexibles** : Acheminent les gaz jusqu'au chalumeau.
- **chalumeau** : Mélange les gaz et produit la flamme.
- **baguette de métal d'apport** : Matériau fondu utilisé pour assembler les pièces métalliques.

Le poste oxyacétylénique permet de :

- **assembler des métaux** par brasage fort ou soudure.
- **réparer des structures métalliques** endommagées.
- **couper des métaux** (dans le cas du découpage oxyacétylénique).
- **chauffer des pièces** pour d'autres opérations métallurgiques, telles que le formage ou le pliage.

III.2.2 Poste de brasage à l'arc électrique

Bien que moins utilisé pour le brasage, un poste de soudage à l'arc peut aussi servir pour certaines techniques d'assemblage proches du brasage. L'arc électrique généré entre l'électrode et les pièces métalliques permet de chauffer celles-ci et de faire fondre le métal d'apport.

Le poste à l'arc est principalement utilisé pour souder des métaux épais ou plus résistants et réaliser des opérations de réparation nécessitant des températures plus élevées que celles du brasage oxyacétylénique.

III.2.3 Baguettes de métal d'apport

Les baguettes de métal d'apport sont utilisées dans presque tous les procédés de brasage. Elles sont fabriquées dans différents alliages métalliques, tels que le cuivre, l'argent ou l'aluminium, qui fondent à une température inférieure à celle des métaux de base à assembler.

Les baguettes servent à créer une jonction solide entre deux pièces métalliques sans les faire fondre et renforcer les structures métalliques dans les zones de soudure.

III.3 Appareils de récupération



Les appareils de récupération sont des dispositifs utilisés principalement dans le domaine de la réfrigération et de la climatisation pour extraire et récupérer les fluides frigorigènes (les gaz réfrigérants) d'un système, en vue de leur réutilisation ou de leur élimination selon les normes environnementales. Ces équipements sont essentiels pour minimiser l'impact des gaz réfrigérants sur l'environnement, en particulier sur la couche d'ozone et les émissions de gaz à effet de serre.

Un appareil de récupération est généralement composé des éléments suivants :

- **compresseur intégré** : Il permet de comprimer le fluide frigorigène pour faciliter son extraction du système de climatisation ou de réfrigération.

- **filtre** : Il purifie le fluide en éliminant les impuretés, les huiles ou l'humidité qui pourraient l'endommager ou le rendre non réutilisable.
- **condenseur et ventilateur** : Ces éléments aident à refroidir le gaz réfrigérant pour le transformer en liquide, ce qui facilite son stockage.
- **manomètre et contrôles** : Ils permettent de surveiller les pressions et de s'assurer que l'opération se déroule en toute sécurité.
- **réceptacle de récupération** : C'est un réservoir où le fluide frigorigène récupéré est stocké pour être traité ou réutilisé ultérieurement.

Les appareils de récupération ont plusieurs rôles clés :

- **protection de l'environnement** : En récupérant les gaz frigorigènes au lieu de les libérer dans l'atmosphère, ces appareils réduisent la quantité de substances nocives qui pourraient contribuer à la dégradation de la couche d'ozone ou au réchauffement climatique. C'est particulièrement important pour les fluides contenant des CFC (chlorofluorocarbures) ou des HCFC (hydrochlorofluorocarbures).
- **réparation et entretien** : Lorsqu'un système de climatisation ou de réfrigération nécessite une maintenance ou une réparation, l'appareil de récupération permet de retirer le fluide frigorigène pour travailler sur le système sans perdre le fluide.
- **réutilisation des fluides** : Une fois récupérés et filtrés, certains fluides frigorigènes peuvent être réutilisés, réduisant ainsi les coûts pour l'utilisateur tout en limitant le gaspillage.
- **conformité réglementaire** : Les lois et règlements dans de nombreux pays exigent l'utilisation d'appareils de récupération pour gérer les fluides frigorigènes de manière responsable, conformément aux normes environnementales. Cela permet de s'assurer que les entreprises de climatisation et de réfrigération sont conformes aux obligations légales.

III.4 Bouteilles de stockage des HFC 134a et R12



Les bouteilles de stockage des fluides frigorigènes HFC-134a et R-12 sont des contenants pressurisés spécifiquement conçus pour stocker et transporter ces réfrigérants utilisés dans les systèmes de réfrigération et de climatisation.

- **Matériau** : les bouteilles de stockage sont généralement fabriquées en acier ou en aluminium résistant à la pression et à la corrosion. Elles sont conçues pour résister aux hautes pressions des gaz réfrigérants à l'intérieur.
- **Couleur** : elles sont souvent colorées selon un code spécifique pour identifier le type de fluide frigorigène qu'elles contiennent. Par exemple :
 - **HFC-134a** : Les bouteilles de HFC-134a (Tétrafluoroéthane) sont généralement bleu clair.
 - **R-12** : Les bouteilles de R-12 (Dichlorodifluorométhane) sont généralement blanches ou gris clair.

- **Valve et robinet** : ces bouteilles sont équipées d'une valve qui permet de réguler la sortie du fluide frigorigène. Certaines peuvent avoir un double robinet pour faciliter le contrôle du débit et la connexion aux équipements de réfrigération.
- **Étiquetage** : les bouteilles comportent des étiquettes indiquant clairement le type de réfrigérant, la capacité de la bouteille, et les précautions de sécurité à prendre lors de l'utilisation ou du transport.
- **Capacité** : elles existent en différentes tailles, variant des petites bouteilles pour usage domestique aux grands contenants industriels.

Les bouteilles de stockage permettent :

- **le stockage sous pression** : Leur rôle principal est de stocker les réfrigérants sous forme de gaz ou de liquide à haute pression en toute sécurité avant leur utilisation dans des systèmes de réfrigération et de climatisation.
- **le transport sécurisé** : Ces bouteilles sont conçues pour permettre le transport sécurisé des fluides frigorigènes depuis les fabricants jusqu'aux utilisateurs finaux (techniciens, entreprises de climatisation, etc.), en minimisant les risques de fuites ou d'explosions.
- **le ravitaillement des systèmes de réfrigération** : Les bouteilles de HFC-134a et de R-12 sont utilisées pour recharger les systèmes de réfrigération ou de climatisation qui utilisent ces fluides. Lorsqu'un système a besoin d'un complément de réfrigérant ou doit être entièrement rempli après une réparation, les bouteilles fournissent le fluide nécessaire.
- **la conformité aux réglementations environnementales** : En raison des réglementations strictes sur les réfrigérants (en particulier pour les CFC comme le R-12 qui ont été progressivement éliminés en raison de leur impact sur la couche d'ozone), les bouteilles de stockage aident à garantir que les réfrigérants sont manipulés et transportés en conformité avec les normes environnementales et de sécurité. Le HFC-134a est lui aussi soumis à des restrictions en raison de son impact sur le réchauffement climatique.

III.5 Station de charge avec accessoires



La station de charge avec accessoires est un équipement clé dans le domaine de la réfrigération et de la climatisation. Elle permet de recharger les systèmes en fluide frigorigène de manière précise et contrôlée. Voici une description du rôle de la station de charge ainsi que ses accessoires :

Une station de charge comprend généralement plusieurs composants :

- **Balance électronique** : Utilisée pour mesurer avec précision la quantité de fluide frigorigène injecté dans le système.
- **Manifold** : Appelé aussi « collecteur de service », il est composé de plusieurs vannes et manomètres qui permettent de contrôler et de réguler la pression des différents réfrigérants lors du remplissage ou de l'extraction. Le manifold est relié aux différentes lignes haute et basse pression du système de climatisation ou de réfrigération.
- **Tuyaux flexibles** : Ils connectent le manifold aux bouteilles de fluide frigorigène et aux systèmes de réfrigération à recharger.
- **Détecteur de fuites** : Certains modèles de stations sont équipés de détecteurs pour vérifier s'il y a des fuites dans le système avant ou après la recharge.
- **Pompe à vide** : La pompe est souvent intégrée ou utilisée en complément de la station pour retirer l'air et l'humidité avant la recharge avec du fluide frigorigène.

La station de charge a pour rôle :

- **Recharge contrôlée des systèmes de réfrigération et climatisation** : La station de charge permet d'introduire le fluide frigorigène dans le système de manière précise, en mesurant la quantité exacte à l'aide de la balance électronique. Cela garantit un bon fonctionnement et évite des erreurs liées à un sous-remplissage ou un sur-remplissage du fluide.
- **Maintenance et dépannage** : Lors des opérations de maintenance, la station permet également de récupérer le fluide existant, de vérifier les pressions dans le système, et de tester la présence de fuites avant de recharger à nouveau le réfrigérant.
- **Prévention des dommages** : En veillant à ce que la charge de fluide soit exacte et bien équilibrée entre les lignes de haute et basse pression, la station de charge protège les composants sensibles du système, tels que le compresseur, contre des dysfonctionnements dus à des quantités incorrectes de réfrigérant.
- **Respect des normes environnementales** : La station de charge, associée à une pompe à vide et à des systèmes de récupération de fluide, permet de travailler de manière respectueuse de l'environnement, en récupérant et recyclant les réfrigérants conformément aux réglementations. Cela évite le rejet des gaz dans l'atmosphère, particulièrement important pour les gaz à effet de serre comme les HFC ou les CFC.

Les accessoires courants utilisés avec la station de charge :

- **Manomètres de haute et basse pression** : Ils mesurent les pressions à l'intérieur du système, ce qui permet de contrôler le bon fonctionnement lors du remplissage.
- **Coupleurs rapides** : Ce sont des connecteurs utilisés pour raccorder rapidement et en toute sécurité la station de charge aux systèmes de réfrigération.
- **Thermomètre** : Pour vérifier la température du fluide frigorigène dans le système, car la température influe sur la pression et la charge optimale.
- **Filtres déshydrateurs** : Accessoires ajoutés pour éliminer l'humidité du système avant ou après la recharge.

III.6 Identificateurs de réfrigérant



Les identificateurs de réfrigérant, tels que les numéros CAS (Chemical Abstracts Service) et les codes ANSI/ASHRAE, jouent un rôle essentiel dans la gestion et l'utilisation des réfrigérants dans les systèmes de climatisation et de réfrigération. Voici quelques-uns de leurs rôles clés :

- **Identification unique** : Les identificateurs fournissent un moyen clair et précis de reconnaître un réfrigérant spécifique, évitant ainsi toute confusion entre des substances similaires.
- **Sécurité** : Ils aident à déterminer les propriétés et les dangers associés à un réfrigérant, facilitant ainsi le respect des réglementations de sécurité lors de la manipulation et de l'utilisation.
- **Conformité réglementaire** : Les identificateurs permettent aux entreprises et aux techniciens de respecter les réglementations environnementales et de sécurité, notamment en ce qui concerne l'élimination appropriée des réfrigérants.
- **Recherche et développement** : Ils facilitent les études et les recherches sur l'efficacité et l'impact environnemental des réfrigérants, en rendant plus facile la collecte de données et la comparaison des résultats.
- **Formation** : Les identificateurs sont souvent utilisés dans la formation des techniciens en réfrigération et climatisation, leur permettant d'apprendre les propriétés et les caractéristiques des différents réfrigérants.
- **Normalisation** : Ils contribuent à l'harmonisation des informations dans le secteur, ce qui est crucial pour le développement de normes et de pratiques industrielles.

En résumé, les identificateurs de réfrigérant sont fondamentaux pour assurer la sécurité, la conformité et l'efficacité dans l'utilisation des réfrigérants.

III.7 Balances numériques pour récupération et charge



Les balances numériques pour récupération et charge jouent un rôle crucial dans les systèmes de réfrigération et de climatisation. Voici quelques-uns de leurs rôles principaux :

- **Précision** : Elles fournissent des mesures exactes du poids des réfrigérants, ce qui est essentiel pour garantir que les systèmes fonctionnent efficacement et en toute sécurité.
- **Récupération de réfrigérant** : Lors de la maintenance ou de la réparation, ces balances permettent de mesurer avec précision la quantité de réfrigérant récupéré, ce qui est important pour respecter les réglementations environnementales concernant le recyclage et l'élimination des substances.
- **Charge correcte** : Elles assurent que la quantité de réfrigérant ajoutée à un système est conforme aux spécifications du fabricant. Un surdosage ou un sous-dosage peut entraîner une performance inefficace, des pannes et des dommages au système.
- **Suivi des fuites** : En mesurant la quantité de réfrigérant chargée et récupérée, ces balances aident à identifier les fuites dans le système. Une différence significative entre la charge initiale et la quantité récupérée peut indiquer une fuite.
- **Facilité d'utilisation** : Les balances numériques sont souvent conçues pour être simples à utiliser, avec des affichages clairs et des fonctionnalités supplémentaires, comme la capacité de tare, ce qui facilite les opérations de pesage.
- **Sécurité** : En assurant un dosage précis, elles minimisent les risques liés à une mauvaise manipulation des réfrigérants, qui peuvent être dangereux pour la santé humaine et l'environnement.
- **Données et rapport** : Beaucoup de balances numériques peuvent stocker des données et générer des rapports, ce qui est utile pour le suivi et l'audit des opérations de maintenance et de service.

En résumé, les balances numériques pour récupération et charge sont des outils essentiels qui garantissent la précision, la sécurité et l'efficacité dans le domaine de la réfrigération et de la climatisation.

III.8 Ensemble manomètre by-pass à huit échelles de température (R12, R134a, R404a)



L'ensemble manomètre by-pass à huit échelles de température, conçu pour des réfrigérants tels que R12, R134a et R404a, joue un rôle essentiel dans la gestion des systèmes de réfrigération et de climatisation. Voici les principaux rôles de cet équipement :

- **Mesure de pression** : Les manomètres permettent de mesurer la pression à l'intérieur du système de réfrigération, ce qui est crucial pour évaluer son bon fonctionnement et détecter des anomalies.
- **Évaluation de la performance** : En surveillant la pression et les températures de différents points du système, les techniciens peuvent évaluer l'efficacité du cycle de réfrigération et déterminer si le système fonctionne dans les paramètres recommandés.
- **Diagnostics des pannes** : Les manomètres aident à identifier les problèmes, comme des fuites, des obstructions ou des défaillances des composants. Des pressions anormales peuvent indiquer un besoin de maintenance ou de réparations.
- **Chargement approprié** : Lors de la charge de réfrigérant, les manomètres fournissent des données critiques pour s'assurer que la quantité correcte de réfrigérant est ajoutée, ce qui est essentiel pour un fonctionnement optimal du système.
- **Compatibilité avec plusieurs réfrigérants** : Avec des échelles de température adaptées à différents réfrigérants (R12, R134a, R404a), cet ensemble permet une utilisation polyvalente dans divers systèmes de réfrigération, ce qui est particulièrement utile pour les techniciens qui interviennent sur différents équipements.
- **Facilité d'utilisation** : La disposition des manomètres avec plusieurs échelles de température rend leur utilisation plus intuitive, permettant une lecture rapide et précise des mesures nécessaires pour l'entretien et la réparation.
- **Contrôle des températures** : En complément de la mesure de pression, les échelles de température permettent de suivre les variations thermiques dans le système, ce qui est crucial pour optimiser le rendement et la sécurité du fonctionnement.

En résumé, l'ensemble manomètre by-pass à huit échelles de température est un outil indispensable pour les techniciens en réfrigération, permettant des mesures précises de pression et de température, tout en facilitant le diagnostic et la maintenance des systèmes de réfrigération et de climatisation.

III.9 Manomètre au HC



Le manomètre au HC (hydrocarbures) est un outil essentiel dans les systèmes de réfrigération et de climatisation utilisant des réfrigérants à base d'hydrocarbures, comme le propane (R290) et le butane (R600a). Voici les principaux rôles de ce type de manomètre :

- **Mesure de pression** : Il permet de mesurer la pression des réfrigérants à base d'hydrocarbures dans le système, ce qui est crucial pour évaluer le bon fonctionnement du cycle de réfrigération.
- **Diagnostic des systèmes** : En surveillant la pression, le manomètre aide à détecter des anomalies telles que des fuites, des obstructions ou des défaillances de composants, facilitant ainsi le diagnostic des pannes.
- **Chargement correct** : Lors de la charge de réfrigérant dans un système, le manomètre indique la pression à laquelle le réfrigérant doit être ajouté, garantissant que la quantité correcte est utilisée pour un fonctionnement optimal.
- **Évaluation de la performance** : Il permet d'évaluer l'efficacité du système de réfrigération en fournissant des données sur la pression de fonctionnement, ce qui aide à déterminer si le système opère dans les paramètres recommandés.
- **Compatibilité avec les hydrocarbures** : Les manomètres au HC sont spécifiquement conçus pour mesurer les pressions des réfrigérants à base d'hydrocarbures, garantissant ainsi des lectures précises et fiables pour ces types de systèmes.
- **Sécurité** : En fournissant des informations précises sur la pression, le manomètre contribue à assurer la sécurité lors de l'utilisation de réfrigérants inflammables, comme les hydrocarbures.
- **Facilité d'utilisation** : Généralement, ces manomètres sont conçus pour être simples à utiliser, avec des affichages clairs, permettant aux techniciens d'effectuer des lectures rapides et précises lors de l'entretien des systèmes.

En résumé, le manomètre au HC joue un rôle crucial dans la gestion des systèmes de réfrigération utilisant des réfrigérants à base d'hydrocarbures, en permettant des mesures précises de pression, en facilitant le diagnostic et en contribuant à la sécurité et à l'efficacité du système.

III.10 Thermomètres digitaux à plusieurs lectures



Les thermomètres digitaux à plusieurs lectures sont des instruments de mesure essentiels dans divers domaines, y compris la réfrigération, la climatisation, l'alimentation et d'autres applications industrielles. Voici leurs principaux rôles :

- **Mesure précise de la température** : Ces thermomètres fournissent des lectures précises de la température dans différents points d'un système, ce qui est essentiel pour garantir un fonctionnement optimal.
- **Surveillance simultanée** : Ils permettent de mesurer et d'afficher simultanément la température de plusieurs zones ou points, facilitant ainsi le suivi des performances des systèmes, comme ceux de réfrigération ou de chauffage.
- **Diagnostic des problèmes** : En surveillant les températures dans différents segments d'un système, les techniciens peuvent identifier rapidement des anomalies, telles que des variations de température qui pourraient indiquer des problèmes de fonctionnement.
- **Optimisation des performances** : En fournissant des données en temps réel sur les températures, ces thermomètres aident à ajuster les réglages du système pour maximiser l'efficacité énergétique et réduire les coûts.
- **Contrôle des processus** : Dans des applications industrielles, ils sont utilisés pour contrôler et maintenir les températures dans des plages spécifiques, garantissant ainsi la qualité des produits et le respect des normes.
- **Facilité d'utilisation** : Les modèles numériques offrent des affichages clairs et intuitifs, souvent avec des fonctions telles que l'enregistrement des données, la tare et des alertes de température, ce qui les rend faciles à utiliser pour les techniciens.
- **Sécurité** : Dans les applications alimentaires et médicales, le contrôle précis de la température est crucial pour assurer la sécurité des produits. Ces thermomètres aident à éviter les risques liés à des températures inappropriées.

- **Documentation et traçabilité** : De nombreux modèles peuvent stocker des données, ce qui permet de garder une trace des températures sur des périodes prolongées, utile pour les audits et le respect des normes réglementaires.

En résumé, les thermomètres digitaux à plusieurs lectures sont des outils indispensables pour la mesure, le contrôle et l'optimisation des températures dans divers systèmes, contribuant ainsi à la sécurité, à l'efficacité et à la performance globale.

III.11 Détecteurs de fuite électronique au HC



Les détecteurs de fuite électroniques au HC (hydrocarbures) sont des outils spécialisés utilisés dans le domaine de la réfrigération et de la climatisation pour identifier les fuites de réfrigérants à base d'hydrocarbures, tels que le propane (R290) et le butane (R600a). Voici les principaux rôles de ces détecteurs :

- **Détection précise des fuites** : Ils permettent de détecter rapidement et avec précision les fuites de réfrigérants, minimisant ainsi le temps nécessaire pour effectuer des réparations.
- **Sensibilité élevée** : Ces détecteurs sont conçus pour détecter de très faibles concentrations de réfrigérants dans l'air, ce qui est crucial pour identifier les fuites avant qu'elles ne deviennent problématiques.
- **Sécurité** : En détectant les fuites de réfrigérants inflammables, ces appareils contribuent à prévenir les risques d'incendie et d'explosion, assurant ainsi la sécurité des installations et des utilisateurs.
- **Réduction des impacts environnementaux** : Les réfrigérants à base d'hydrocarbures peuvent avoir un impact environnemental significatif. En détectant et en réparant les fuites, on contribue à réduire les émissions de ces substances dans l'atmosphère.
- **Facilité d'utilisation** : La plupart des détecteurs de fuite électroniques sont conçus pour être faciles à utiliser, souvent avec des affichages clairs et des alertes sonores ou visuelles pour signaler la présence de fuites.

- **Portabilité** : Ces appareils sont généralement légers et portables, ce qui permet aux techniciens de les utiliser sur le terrain lors des inspections et des réparations.
- **Vérification de l'intégrité des systèmes** : Ils permettent de s'assurer que les systèmes de réfrigération et de climatisation fonctionnent de manière optimale et sans fuite, garantissant leur efficacité et leur durabilité.
- **Conformité réglementaire** : L'utilisation de détecteurs de fuite contribue à respecter les réglementations environnementales concernant l'utilisation et l'élimination des réfrigérants, ce qui est essentiel pour les entreprises du secteur.

En résumé, les détecteurs de fuite électroniques au HC sont des outils cruciaux pour garantir la sécurité, l'efficacité et la conformité des systèmes de réfrigération et de climatisation utilisant des réfrigérants à base d'hydrocarbures.

III.12 Pince ampère métrique



La pince ampèremétrique est un instrument de mesure électrique utilisé pour mesurer le courant électrique circulant dans un conducteur sans avoir besoin de le couper ou de l'interrompre. Voici les principaux rôles de cet appareil :

- **Mesure du courant** : La pince ampèremétrique permet de mesurer le courant alternatif (AC) et, dans certains modèles, le courant continu (DC) dans un circuit électrique, offrant une mesure rapide et sans contact.
- **Facilité d'utilisation** : Grâce à sa conception, il suffit d'ouvrir la pince et de l'enclencher autour d'un conducteur pour obtenir une lecture instantanée, ce qui est particulièrement pratique dans des espaces confinés ou difficiles d'accès.
- **Sécurité** : La possibilité de mesurer le courant sans contact direct avec les fils réduit le risque de choc électrique, ce qui est essentiel lors des travaux d'entretien ou de diagnostic.
- **Diagnostic des pannes** : Elle permet d'identifier des problèmes dans les circuits électriques, comme des surcharges, des courts-circuits ou des pannes, en fournissant des données sur le courant circulant dans les différents composants.

- **Surveillance de la consommation d'énergie** : En mesurant le courant, la pince ampèremétrique aide à évaluer la consommation d'énergie des appareils électriques, ce qui peut être utile pour optimiser l'efficacité énergétique.
- **Vérification de la conformité** : Lors des installations électriques, elle peut être utilisée pour vérifier que les valeurs de courant correspondent aux spécifications des équipements et des installations.
- **Enregistrement de données** : Certains modèles avancés de pinces ampèremétriques sont équipés de fonctions d'enregistrement, permettant de suivre les variations de courant sur une période donnée pour des analyses ultérieures.
- **Analyse des harmoniques** : Pour les systèmes électriques complexes, certaines pinces ampèremétriques peuvent analyser les harmoniques, ce qui aide à diagnostiquer les problèmes de qualité de l'énergie.

En résumé, la pince ampèremétrique est un outil indispensable pour les électriciens et les techniciens, facilitant la mesure du courant, le diagnostic des pannes et l'optimisation des systèmes électriques tout en garantissant la sécurité.

III.13 Multimètre



Le multimètre est un instrument de mesure polyvalent utilisé pour tester et diagnostiquer divers paramètres électriques. Voici les principaux rôles d'un multimètre :

- **Mesure de la tension** : Le multimètre peut mesurer la tension continue (DC) et la tension alternative (AC) dans un circuit, permettant de vérifier si les niveaux de tension sont conformes aux spécifications.
- **Mesure du courant** : Il peut également mesurer le courant électrique en ampères, que ce soit en courant continu ou alternatif, ce qui est essentiel pour évaluer le fonctionnement des circuits.
- **Mesure de la résistance** : Le multimètre est capable de mesurer la résistance électrique en ohms, ce qui permet de tester des composants comme les résistances, les fils et les connexions.
- **Test de continuité** : Avec une fonction de test de continuité, le multimètre peut vérifier si un circuit est fermé et fonctionne correctement, ce qui est utile pour diagnostiquer des pannes.

- **Mesure de la capacité** : Certains multimètres avancés peuvent mesurer la capacité des condensateurs en farads, ce qui est important pour le diagnostic des circuits.
- **Test de diodes** : Le multimètre peut tester les diodes pour s'assurer qu'elles fonctionnent correctement en mesurant la tension de seuil et en vérifiant la direction du courant.
- **Fonction de fréquence** : Certains modèles peuvent mesurer la fréquence des signaux, ce qui est utile dans les applications audios et RF.
- **Enregistrement de données** : Les multimètres numériques modernes peuvent enregistrer des données et fournir des rapports, facilitant l'analyse et le suivi des mesures sur le long terme.
- **Diagnostic des pannes** : En offrant plusieurs types de mesures, le multimètre est un outil essentiel pour diagnostiquer les problèmes dans les circuits électriques et électroniques.
- **Portabilité et facilité d'utilisation** : Les multimètres sont généralement compacts et faciles à utiliser, ce qui les rend pratiques pour une utilisation sur le terrain ou dans des ateliers.

En résumé, le multimètre est un outil indispensable pour les électriciens, les techniciens et les ingénieurs, permettant des mesures précises et diversifiées pour le diagnostic, la maintenance et l'optimisation des systèmes électriques et électroniques.

III.14 Bouteille d'azote avec accessoires (flexibles, manomètres de régulation)



La bouteille d'azote avec accessoires (flexibles, manomètres de régulation) est un équipement essentiel dans diverses applications industrielles, notamment dans la réfrigération, la climatisation, la métallurgie et les laboratoires. Voici les principaux rôles de cet équipement :

- **Fourniture d'azote** : La bouteille d'azote stocke l'azote gazeux sous pression, permettant de l'utiliser comme gaz inerte dans diverses applications.

- **Pressurisation et régulation** : Les manomètres de régulation permettent de contrôler la pression de l'azote, assurant ainsi que le gaz est délivré à la pression adéquate pour chaque application.
- **Protection des équipements** : L'azote est souvent utilisé pour purger des systèmes afin d'éviter l'oxydation et la contamination, notamment lors de la maintenance de circuits de réfrigération et de climatisation.
- **Équilibrage de pression** : Dans certains procédés, l'azote est utilisé pour équilibrer la pression dans des systèmes ou des conteneurs, prévenant ainsi les défaillances dues à des différences de pression.
- **Soudage et découpe** : Dans la métallurgie, l'azote est utilisé pour protéger les joints lors du soudage, empêchant l'oxydation et garantissant la qualité des soudures.
- **Inertage** : L'azote est souvent utilisé pour créer un environnement inerte dans des réactions chimiques sensibles, évitant ainsi des réactions indésirables avec l'oxygène.
- **Flexibilité et accessibilité** : Les flexibles permettent de diriger le gaz azote vers différentes zones de travail ou d'équipement, offrant une grande flexibilité dans son utilisation.
- **Sécurité** : L'utilisation de manomètres permet de surveiller la pression de manière continue, garantissant que l'azote est utilisé de manière sûre et conforme aux normes.
- **Contrôle des fuites** : Les manomètres aident à détecter d'éventuelles fuites dans le système, ce qui est crucial pour maintenir la sécurité et l'efficacité des opérations.

En résumé, la bouteille d'azote avec accessoires joue un rôle essentiel dans de nombreuses applications, garantissant la fourniture contrôlée et sécurisée d'azote pour divers procédés industriels tout en protégeant les équipements et en améliorant l'efficacité des opérations.

III.15 Les Outils

III.15.1 Pince ou valve d'intervention



La pince ou valve d'intervention est un outil essentiel dans le domaine de la réfrigération et de la climatisation. Voici son rôle succinct :

- **Isolation des circuits** : Elle permet de fermer rapidement un circuit de réfrigération pour isoler une section pendant la maintenance ou la réparation, empêchant la circulation du réfrigérant.
- **Contrôle du débit** : Elle régule le flux de réfrigérant dans un système, permettant d'ajuster la charge de réfrigérant ou de gérer les niveaux de pression.
- **Sécurité** : Elle contribue à garantir la sécurité des techniciens en permettant une intervention rapide et sécurisée sur des systèmes sous pression.
- **Facilité d'utilisation** : Ces outils sont conçus pour une utilisation rapide et efficace, facilitant les opérations de maintenance et réduisant le temps d'arrêt des systèmes.

En résumé, la pince ou valve d'intervention est cruciale pour gérer le réfrigérant dans les systèmes de réfrigération, assurant la sécurité et l'efficacité lors des interventions techniques.

III.15.2 Adaptateur de tube / valve schraeder



L'adaptateur de tube ou valve Schraeder est un dispositif utilisé principalement dans les systèmes de réfrigération et de climatisation. Voici son rôle succinct :

- **Accès au circuit** : Il permet de connecter facilement des équipements de mesure (comme des manomètres) ou de remplissage (comme des bouteilles de réfrigérant) au système, facilitant ainsi les opérations de diagnostic et de maintenance.
- **Contrôle de la pression** : La valve Schraeder permet de mesurer la pression du réfrigérant dans le système sans nécessiter de démontage, garantissant une lecture précise.
- **Sécurité** : Elle offre un moyen de fermer le circuit lorsque l'équipement n'est pas connecté, minimisant les risques de fuite de réfrigérant.
- **Flexibilité** : Les adaptateurs peuvent être utilisés avec différents types de tubes et de connecteurs, augmentant la compatibilité entre divers équipements.

En résumé, l'adaptateur de tube ou valve Schraeder est essentiel pour faciliter l'accès et la gestion des systèmes de réfrigération, permettant des interventions efficaces et sécurisées.

3.15.2. Coupe-tube (petit et grand)



Le coupe-tube, qu'il soit petit ou grand, est un outil utilisé principalement dans la plomberie et la réfrigération. Voici son rôle succinct :

- **Découpe précise** : Il permet de couper des tubes en métal ou en plastique avec précision, garantissant des bords nets et droits pour un ajustement optimal.
- **Facilité d'utilisation** : Le coupe-tube est conçu pour être facile à manipuler, rendant le processus de découpe rapide et efficace, même dans des espaces restreints.
- **Préparation des joints** : Une découpe propre facilite la création de joints hermétiques, ce qui est essentiel pour le bon fonctionnement des systèmes de plomberie et de réfrigération.
- **Réduction des débris** : Contrairement aux scies, le coupe-tube génère moins de débris, ce qui aide à maintenir un environnement de travail propre.

En résumé, le coupe-tube est un outil indispensable pour réaliser des coupes précises de tubes, facilitant les installations et les réparations dans divers systèmes.

III.15.3 Pince à obturer

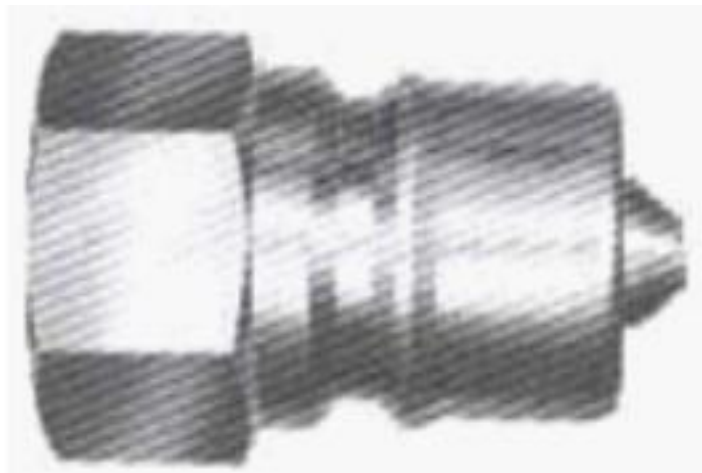


La pince à obturer est un outil utilisé principalement dans les systèmes de réfrigération et de climatisation. Voici son rôle succinct :

- **Isolation des circuits** : Elle permet de bloquer temporairement le flux de réfrigérant dans un tuyau, isolant ainsi une section du système pour des interventions de maintenance ou de réparation.
- **Prévention des fuites** : En obturant le circuit, elle évite les fuites de réfrigérant, assurant la sécurité et la conformité lors des travaux.
- **Facilité d'utilisation** : Conçue pour être rapidement manipulable, la pince à obturer permet d'effectuer des interventions efficaces sans nécessiter de démontage complexe.
- **Polyvalence** : Elle peut être utilisée sur différents types de tubes et de matériaux, augmentant son utilité dans divers systèmes de réfrigération.

En résumé, la pince à obturer est essentielle pour sécuriser les interventions sur les circuits de réfrigération, permettant de travailler en toute sécurité et efficacement.

III.15.4 Raccord d'intervention rapide mâle et femelle



Les raccords d'intervention rapide mâle et femelle sont des dispositifs utilisés dans les systèmes de réfrigération et de climatisation. Voici leur rôle succinct :

- **Connexion facile** : Ils permettent une connexion et déconnexion rapides entre les équipements (comme les manomètres ou les bouteilles de réfrigérant) et les systèmes de réfrigération, sans nécessiter d'outils supplémentaires.
- **Étanchéité** : Ces raccords assurent une connexion hermétique, minimisant ainsi les risques de fuite de réfrigérant lors des interventions.
- **Gain de temps** : Leur conception facilite les opérations de maintenance, réduisant le temps d'arrêt des systèmes grâce à une manipulation rapide.
- **Polyvalence** : Disponibles en différentes tailles et configurations, ils peuvent être utilisés avec divers types de réfrigérants et d'équipements.

En résumé, les raccords d'intervention rapide mâle et femelle sont essentiels pour assurer des connexions efficaces et sécurisées dans les systèmes de réfrigération, facilitant ainsi les interventions techniques.

III.15.5 Dudgeonnière complète



La dudgeonnière complète est un outil utilisé principalement dans la réfrigération et la climatisation.

- **Raccordement des tubes** : Elle permet de réaliser des raccords entre différents tubes de réfrigération, en créant des joints solides et étanches.
- **Facilité d'assemblage** : La dudgeonnière facilite l'assemblage de tubes en permettant de les façonner et de les ajuster facilement, ce qui est essentiel lors de l'installation ou de la maintenance.
- **Durabilité des connexions** : En assurant une connexion robuste, elle contribue à la durabilité des systèmes de réfrigération et de climatisation, évitant les fuites et les défaillances.
- **Économie de temps** : L'utilisation de la dudgeonnière permet d'accélérer le processus d'installation et de réparation des circuits de réfrigération.

En résumé, la dudgeonnière complète est un outil clé pour assurer des raccords fiables et efficaces dans les systèmes de réfrigération et de climatisation.

III.15.6 Cintreuses pour tube 1/4", 3/8", 5/8", 3/4" ;



Les cintreuses pour tube de 1/4", 3/8", 5/8" et 3/4" sont des outils utilisés principalement dans la réfrigération, la plomberie et la métallurgie. Voici leur rôle succinct :

- **Cintrage précis** : Elles permettent de plier des tubes de différentes tailles avec précision, assurant des courbures uniformes et sans déformation.
- **Facilité d'installation** : En offrant la possibilité de cintrer les tubes, elles facilitent l'installation dans des espaces restreints, évitant les angles aigus et les raccords supplémentaires.
- **Préservation de l'intégrité** : Les cintruses minimisent le risque de fissures ou de dommages aux tubes, préservant ainsi leur intégrité et leur fonctionnalité.
- **Gain de temps** : Elles permettent des opérations rapides et efficaces lors de la préparation des tubes pour l'assemblage dans des systèmes.

En résumé, les cintruses pour tube sont essentielles pour réaliser des pliages précis et efficaces, facilitant ainsi l'installation et la maintenance des systèmes de réfrigération et de plomberie.

IV. Impacts environnementaux de la réfrigération

Dans le choix d'un fluide frigorigène, mis à part les caractéristiques thermodynamiques, une attention particulière doit être portée sur son impact environnemental, mesuré par son PRG, son PAO et son Impact de Réchauffement Total Équivalent (TEWI).

Pour chaque fluide, on attribue trois indices principaux, qui sont fonction de leurs impacts respectifs sur l'environnement :

IV.1 Le Potentiel d'appauvrissement de la couche d'ozone (PAO).

Il mesure la capacité relative d'une SAO comparativement à un composé de référence.

Il varie de 0 à 1.

Exemple :

Fluides frigorigènes	PAO
R11	1
R12	1
R22	0,055
R404A	0

IV.2 Le Potentiel de réchauffement global (PRG).

Le potentiel de réchauffement global (PRG) est une mesure relative de la contribution estimée d'une masse donnée de gaz à effet de serre au réchauffement planétaire. Il est calculé sur un horizon temporel spécifique, arbitrairement sur 100 ans, mais parfois aussi sur 20, 100 ou 500 ans. L'horizon de 20 ans est recommandé car il correspond approximativement à la période couverte par l'amendement de Kigali au protocole de Montréal. Le PRG est exprimé par rapport au dioxyde de carbone, qui a un PRG = 1. Plus la valeur du PRG est élevée, plus une substance contribuera au réchauffement de la planète (Tableau 1). Voir une liste des réfrigérants et leurs PRG en Annexe 3.

Le potentiel de réchauffement global de nombreux réfrigérants est régulièrement révisé par le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) à la lumière de nouvelles découvertes concernant l'effet du CO₂ sur le réchauffement global et le comportement des substances dans l'atmosphère. De ce fait, les valeurs des PRG proviennent des rapports du GIEC. On peut citer comme exemple, le 4^{ème} rapport 2007 (AR4) et le 5^{ème} rapport 2016 (AR5). L'utilisation des valeurs les plus

récentes est recommandée. Par ailleurs, le GIEC alerte également sur l'augmentation attendue de la consommation énergétique liée à l'utilisation de la climatisation.

IV.3 L'Impact de Réchauffement Total Équivalent.

Cet indice caractérise l'impact d'une installation frigorifique sur l'effet de serre : Impact direct par l'émission de fluide frigorigène et impact indirect par la consommation d'électricité (CO₂) rejeté lors de la production d'électricité).

IV.3.1 Produit de dégradation persistant

Tout comme les CFC, les HCFC et les HFC, la nouvelle classe de réfrigérants synthétiques, les uHFC (HFO), sera à nouveau responsable de l'introduction d'un composé persistant dans l'environnement. Contrairement à leurs prédécesseurs, les uHFC (HFO) n'ont pas de PAO et un faible PRG. Leur produit de dégradation, l'acide trifluoroacétique (TFA), n'a cependant pas de voie de dégradation connue et s'accumule dans les eaux, les plantes et les sols. Il est phytotoxique, c'est-à-dire qu'il est toxique pour certaines plantes, et ses effets à long terme ne sont pas encore connus.

De nombreux uHFC (HFO) sont également inflammables ou présentent des risques de toxicité et génèrent des produits de décomposition dangereux lorsqu'ils brûlent.

IV.3.2 Les Substances qui Appauvrissent la couche d'Ozone (SAO)

Les substances appauvrissant la couche d'ozone (SAO) sont des substances qui endommagent la couche d'ozone de la haute atmosphère.

Les substances appauvrissant la couche d'ozone (SAO) contiennent diverses combinaisons d'éléments chimiques, à savoir le chlore, le fluor, le brome, le carbone et l'hydrogène et sont souvent décrites par un terme général, les halocarbures. Les composés qui ne contiennent que du chlore, du fluor et du carbone sont appelés chlorofluorocarbures, ou CFC. Les CFC, le tétrachlorure de carbone et le 1,1,1-trichloroéthane sont d'importants gaz d'origine anthropique appauvrissant la couche d'ozone ; ils ont été utilisés dans beaucoup de secteurs, notamment la réfrigération, la climatisation, le gonflement de mousses, le nettoyage de composantes électroniques et enfin comme solvants. Un autre groupe important d'halocarbures d'origine anthropique est constitué par les halons qui contiennent du carbone, du brome, du fluor et (dans certains cas) du chlore ; ils ont surtout été utilisés comme extincteurs d'incendie.

Les SAO comprennent les chlorofluorocarbures (CFC) tels que le R12 et le R502, les hydro chlorofluorocarbures (HCFC) tels que le R22, le R123, le R142b et les mélanges tels que le R408A. Les HCFC sont encore utilisés comme réfrigérants dans de nombreux équipements de réfrigération, de climatisation et de pompes à chaleur (RACPC). Les SAO sont définies à l'annexe A du protocole de Montréal.

L'appauvrissement de l'ozone augmente la quantité de rayonnement UVB qui atteint la surface de la Terre et entraîne les conséquences négatives suivantes pour la vie sur Terre :

- Effets sur la santé humaine : augmentation des cas de cancer de la peau ; les UVB ont été associés au développement de la cataracte, une opacification du cristallin.
- Effets néfaste sur les plantes.

IV.4 Le réchauffement climatique

Le réchauffement climatique est un phénomène global de transformation du climat caractérisé par une augmentation générale des températures moyennes, et qui modifie durablement les équilibres météorologiques et les écosystèmes.

Lorsque l'on en parle aujourd'hui, il s'agit du phénomène d'augmentation des températures qui se produit sur Terre, liées aux activités humaines. Depuis le début de la Révolution Industrielle, les températures moyennes sur terre ont en effet augmenté plus ou moins régulièrement. En 2022, la température moyenne sur la planète terre était environ 1,15°C au-dessus des températures moyennes de l'ère pré-industrielle (avant 1850).

De façon plus précise, lorsque l'on parle du réchauffement climatique, on parle de l'augmentation des températures liées à l'activité industrielle et notamment à l'effet de serre : on parle donc parfois du réchauffement climatique « d'origine anthropique » (d'origine humaine). Il s'agit donc d'une forme dont les causes ne sont pas naturelles mais économiques et industrielles.

De nombreux scientifiques étudient ce phénomène et tentent de comprendre comment les activités des sociétés humaines provoquent ce réchauffement. Ces scientifiques sont regroupés au sein du GIEC (Groupe International d'Experts sur le Climat), et ils publient régulièrement des rapports étudiant l'évolution du réchauffement climatique.

IV.4.1 Les causes du réchauffement climatique

Les modèles du GIEC ont permis d'établir les causes du réchauffement climatique, c'est-à-dire de savoir d'où provient ce réchauffement climatique, ce qui le provoque. Grâce aux scientifiques, on sait que ce sont principalement les émissions de gaz à effet de serre d'origine humaine qui influencent le climat. Mais d'où viennent ces émissions ?

Principalement, c'est la production d'énergie (électricité, chauffage) et notamment des énergies fossiles et des carburants pour les transports (principalement les voitures, mais aussi en partie l'aviation ou le transport maritime) qui causent le réchauffement climatique. Ensuite arrivent la gestion des territoires et notamment la déforestation, l'agriculture mais aussi l'élevage.

L'utilisation des appareils de froid et de climatisation participe également au réchauffement climatique à plusieurs niveaux, que ce soit par l'air chaud rejeté dans les villes, en termes de consommation d'énergie et du fait des émissions de gaz à effets de serre liées aux produits frigorigènes nécessaires à la climatisation.

IV.4.2 Les conséquences du réchauffement climatique

Grâce aux travaux du GIEC et des autres scientifiques qui travaillent sur la définition du réchauffement climatique, on comprend désormais mieux les conséquences de ce phénomène sur notre vie. Dans l'esprit de beaucoup, le réchauffement climatique est un problème relativement lointain qui implique simplement qu'il va faire plus chaud. Mais en fait, les conséquences sont beaucoup plus profondes.

IV.4.2.1 Conséquences sur l'écosystème et la planète

D'abord, une augmentation des températures à cause du réchauffement climatique affecte l'ensemble de l'écosystème mondial et pas seulement la chaleur ressentie. La météo s'en trouve perturbée, avec une augmentation des phénomènes météorologiques extrêmes, des changements des modèles météorologiques habituels. Cela veut dire plus de tempêtes, plus d'inondations, plus de cyclones et de sécheresses.

La capacité de régulation des océans est aussi affectée par une augmentation des températures. Si les températures globales augmentent de façon très importante, il y aura donc augmentation des niveaux des océans, mais aussi une acidification et une désoxygénation des zones océaniques. En outre, une acidification des océans trop prononcée pourrait limiter la capacité des mers de la planète à produire de l'oxygène et à stocker le CO₂, et donc augmenter encore le réchauffement climatique. Mais cela peut aussi affecter des zones de forêts et les écosystèmes fragiles (barrière de corail, forêt amazonienne) ainsi que la biodiversité (les coraux, certains insectes et même des mammifères pourraient ne pas survivre).

IV.4.2.2 Conséquences sur la société et l'économie

Sur la société et l'économie, le réchauffement climatique peut avoir potentiellement plusieurs conséquences : la capacité des sociétés à s'adapter à un nouveau climat, à adapter leurs infrastructures, notamment médicales, mais aussi leurs bâtiments. Le réchauffement climatique aura aussi des conséquences sur la santé publique, la capacité alimentaire des pays...

IV.4.2.3 Conséquences sur les entreprises

Enfin, les entreprises risquent également d'être affectées par le changement et le réchauffement climatique. En effet, dans un contexte où le climat change, il est plus difficile d'adapter ses activités.

IV.4.2.4 Conséquences sur la couche d'ozone

Le réchauffement accélère la destruction de l'ozone.

IV.4.3 Comment lutter contre le réchauffement climatique : les solutions

Pour lutter contre le réchauffement climatique, il faut avant tout réduire les émissions de gaz à effet de serre. Pour cela, le premier moyen est de se tourner vers les énergies renouvelables et d'éviter les énergies fossiles.

V. La protection de la couche d'ozone

Pour résoudre les problèmes liés à l'intensification du rayonnement UV, il faut protéger la couche d'ozone et arrêter de la détruire avec les substances chimiques que nous produisons et que nous consommons.

La meilleure solution est donc de mettre un terme à la production et à la consommation des CFC ou autres substances appauvrissant la couche d'ozone (SAO), et de s'assurer qu'à l'avenir aucune substance de ce type ne sera plus jamais libérée dans l'atmosphère.

V.1 Perspectives : technologies de refroidissement vertes

Les exigences relatives aux réfrigérants de l'avenir sont essentiellement l'absence de PAO et un PRG nul ou très faible, ainsi que l'absence d'autres effets néfastes sur l'environnement. Les réfrigérants synthétiques ne peuvent pas répondre à ces exigences. Les réfrigérants naturels n'ont pas de PAO et ont un PRG faible ou nul. Ils constituent d'excellentes alternatives respectueuses de l'environnement pour l'avenir. Mais les réfrigérants naturels possèdent des propriétés, telles que l'inflammabilité ou la toxicité, qui doivent être prises en compte lors de la manipulation des systèmes de refroidissements et des pompes à chaleur (RACPC). Pour utiliser ces réfrigérants en toute sécurité, les techniciens doivent posséder des compétences adéquates. Les systèmes de réfrigération ont également besoin d'autres dispositifs de sécurité pour les nouveaux réfrigérants naturels.

Aujourd'hui, l'industrie est confrontée à deux options principales concernant l'utilisation future des réfrigérants. Les entreprises peuvent soit passer à des HFC ou HCFC non-saturés (les "HFO"), qui ont un PRG plus faible mais des impacts inconnus sur l'environnement. Elles peuvent également opter pour des réfrigérants naturels.

Les réfrigérants naturels sont des substances présentes naturellement dans l'environnement. Les réfrigérants naturels sont composés des éléments hydrogène, oxygène, carbone et azote et comprennent les hydrocarbures, le dioxyde de carbone, l'ammoniac, l'eau et l'air (également appelés "les cinq réfrigérants naturels").

Les réfrigérants naturels n'appauvrissent pas la couche d'ozone et ont un PRG nul ou négligeable. Faisant partie des cycles biogéochimiques naturels, les réfrigérants naturels ne forment pas de substances persistantes dans l'atmosphère, l'eau ou la biosphère.

Les réfrigérants naturels ont été partiellement utilisés dans les processus de réfrigération jusqu'au milieu du 20^e siècle. Alors que certaines substances comme l'ammoniac sont utilisées depuis un siècle, d'autres comme le dioxyde de carbone et les hydrocarbures ont été "redécouverts" plus récemment en tant qu'options efficaces pour la réfrigération.

Certains réfrigérants naturels sont toxiques et/ou inflammables ou ont une pression de fonctionnement plus élevée que, par exemple, les HFC. Leur utilisation nécessite donc une formation supplémentaire pour les techniciens.

V.2 Refroidissement vert : Réfrigérants naturels et efficacité énergétique

La conception de l'ensemble du système de réfrigération a une influence décisive sur la consommation d'énergie. L'efficacité d'un système de réfrigération est beaucoup plus influencée par le concept global que par le choix du réfrigérant. Pour chaque réfrigérant chimique, il existe un réfrigérant naturel de remplacement. Dans la majorité des cas, les réfrigérants naturels sont plus performants que les réfrigérants fluorés.

V.2.1 Émissions et efficacité énergétique

Dans le contexte de la réfrigération et de la climatisation, il y a deux types d'émissions de GES (Gas à Effet de Serre) : les émissions dites "émissions directes", qui sont causées par les fuites de réfrigérants dans l'atmosphère, et les émissions "indirectes" qui sont dues à la consommation d'énergie lors de la production, le transport, le fonctionnement et l'élimination des systèmes RACPC en fin de vie.

Les équipements dont l'efficacité énergétique et l'utilisation de réfrigérants naturels sont maximales, et dont l'impact sur l'environnement est donc réduit au minimum, sont appelés "technologies de refroidissement vertes" dans le présent manuel. Les technologies de refroidissement vertes offrent des alternatives à long terme pour presque tous les types de systèmes et d'appareils dans les secteurs RACPC.

Le passage des substances fluorées, qui appauvrissent la couche d'ozone et nuisent au climat, aux réfrigérants naturels dans les systèmes et applications à haut rendement énergétique est souvent appelé "saut qualitatif" (par exemple le passage des HCFC aux réfrigérants naturels directement sans le passage par les HFC ou les HFO). Trouver des occasions de sauter des étapes pourrait éviter aux pays et aux industries d'avoir à introduire et à supprimer progressivement de nouvelles séries de gaz fluorés à mesure que les accords internationaux deviendront plus stricts au cours des prochaines années.

Exemple de réduction de la facture électrique par l'utilisation d'un climatiseur de classe énergétique élevée. Dans l'exemple ci-après, une réduction de 30% est atteinte (prix du kWh : 175 FCFA/kWh)

- Climatiseur de classe énergétique A++
- Consommation énergétique annuelle : 137 kWh/an
- Coût : 137 kWh/an × 175 FCFA/kWh = 23 975 FCFA/an
- Équivalent à 2000 FCFA/mois

- Classe énergétique B
- Consommation énergétique annuelle : 200 kWh/an
- Coût : 200 kWh/an × 175 FCFA/kWh = 35 000 FCFA/an
- Équivalent à 3000 FCFA/mois



IV. CORRIGÉ DU DIAGNOSTIC

1. Les fluides utilisés en réfrigération et climatisation se divisent principalement en trois familles :

- **Fluide CFC (Chlorofluorocarbures)** : Très stables mais nocifs pour la couche d'ozone. Leur utilisation est aujourd'hui interdite dans de nombreux pays.
- **Fluide HCFC (Hydrochlorofluorocarbures)** : Moins nocifs que les CFC, mais toujours destructeurs pour l'ozone, leur utilisation est en phase d'interdiction.
- **Fluide HFC (Hydrofluorocarbures)** : N'affectent pas la couche d'ozone, mais sont des gaz à effet de serre très puissants, contribuant au réchauffement climatique.
- **Réfrigérants naturels** : Incluent des fluides comme l'ammoniac (NH_3), le dioxyde de carbone (CO_2), et les hydrocarbures (propane, isobutane), qui sont moins nocifs pour l'environnement.

2. Les principaux concepts du froid et de la climatisation ?

- **Le cycle frigorifique** : Processus de transfert de chaleur par un fluide réfrigérant qui passe de l'état liquide à l'état gazeux pour absorber la chaleur, puis retourne à l'état liquide pour la rejeter.
- **La compression** : Augmentation de la pression et de la température du réfrigérant par un compresseur.
- **La condensation** : Phase où le réfrigérant gazeux se refroidit et se liquéfie, libérant de la chaleur.
- **L'évaporation** : Le réfrigérant liquide absorbe de la chaleur pour se transformer en gaz, refroidissant ainsi l'environnement.

L'efficacité énergétique : Mesure de la performance du système de réfrigération ou de climatisation, exprimée en Coefficient de Performance (COP)

3. Impact du choix des fluides sur l'efficacité énergétique et l'environnement

Le choix des fluides a un impact majeur sur l'efficacité énergétique et l'environnement :

- **Efficacité énergétique** : Les réfrigérants naturels, tels que le CO_2 et l'ammoniac, sont souvent plus efficaces énergétiquement, car ils permettent un meilleur transfert de chaleur.
- **Impact environnemental** : Les fluides comme les CFC et les HCFC endommagent la couche d'ozone, tandis que les HFC contribuent au réchauffement climatique. Les réfrigérants naturels sont préférés car ils ont un faible potentiel de réchauffement global (PRG) et n'appauvrissent pas l'ozone.

V. ACTIVITÉS

1. Organiser une session pratique où les élèves professeurs effectuent des opérations comme la recharge d'un système de réfrigération, la détection de fuites de réfrigérant ou la récupération de réfrigérant usagé. Ils devront appliquer les normes de sécurité et de prévention des risques pour protéger les travailleurs et l'environnement.
2. Organiser un débat en classe où les élèves professeurs prennent position sur l'avenir des réfrigérants. Un groupe peut défendre l'utilisation de réfrigérants naturels, tandis qu'un autre plaide pour le développement de nouveaux réfrigérants synthétiques moins polluants. Ce débat peut aborder des questions éthiques, économiques, et environnementales.
3. Organiser une visite dans une entreprise qui utilise des systèmes de réfrigération, comme une industrie agroalimentaire ou une usine de production frigorifique. Les élèves pourront observer l'utilisation des réfrigérants, poser des questions sur les choix technologiques faits par l'entreprise et rédiger un rapport d'observation en lien avec leurs apprentissages théoriques.

Conclusion

Les réfrigérants jouent un rôle central dans la réfrigération et la climatisation, mais leur impact environnemental est un enjeu majeur. Historiquement, les chlorofluorocarbures (CFC) et les hydrochlorofluorocarbures (HCFC) ont été largement utilisés, mais leur rôle dans la destruction de la couche d'ozone a conduit à leur interdiction progressive par le Protocole de Montréal. Cependant, les hydrofluorocarbures (HFC), qui ont remplacé ces substances, bien qu'ils n'appauvrissent pas la couche d'ozone, ont un potentiel de réchauffement global élevé, contribuant significativement au changement climatique.

Aujourd'hui, la transition vers des alternatives plus écologiques devient une priorité. Les réfrigérants naturels, tels que le CO₂, l'ammoniac et les hydrocarbures, offrent des solutions respectueuses de l'environnement, tout en étant efficaces sur le plan énergétique. Ils présentent un faible potentiel de réchauffement global et n'affectent pas la couche d'ozone, faisant d'eux des candidats de choix pour un futur durable.

Les efforts de réglementation, d'innovation technologique et d'adoption de bonnes pratiques dans la gestion des réfrigérants sont essentiels pour minimiser leur impact environnemental. Il est également crucial de développer des technologies de refroidissement plus vertes et d'encourager une approche inclusive dans les formations techniques pour assurer une transition vers des systèmes de réfrigération durables, accessibles et respectueux de l'environnement

Ressources bibliographiques :

1. Collin Bootsveld, Fouzi Tabet, Dennis Frieske, Rolf Hühren (HEAT GmbH) revu par Antoine Azar (2023), Guide d'introduction aux réfrigérants naturels ;
2. Edgar Timm, HEAT GMBH, Module K : L'efficacité énergétique dans la réfrigération et la climatisation ;
3. PNUE Là-haut dans le ciel, éducation à la couche d'ozone pour le collège : guide de l'enseignant ;
4. PNUE (2006), Pack Éducatif ActionOzone, guide pour les enseignants de l'école primaire ;
5. [E-learning | Real Alternatives :](#)
6. <https://www.realalternatives.eu/plateforme-d-apprentissage> ;
7. <https://publikationen.giz.de/esearcha/index.tt.html?lang=en> ;
8. <https://www.heat-international.de/publications/>

Chapitre 3 : Solutions face à la dégradation de l'environnement

Introduction

L'utilisation de la réfrigération et de la climatisation dans les véhicules, les services et les ménages, est largement influencée par l'invention des CFC qui constituent des substances très nocives à la couche d'ozone dont la détérioration affecte dangereusement la vie des êtres sur la terre. Dès lors, la protection de cette couche d'ozone devient une préoccupation majeure de la communauté internationale. C'est dans ce but que les États membres au nombre de 197 ont élaboré et signé le Protocole de Montréal et pour aider les pays en développement à s'acquitter de leurs engagements vis-à-vis dudit Protocole, le Fonds Multilatéral a été mis en place. Pour parvenir à cet objectif de réduction des gaz nocifs à l'environnement, une combinaison de changements technologiques, d'actions réglementaires et de développement des capacités humaines s'impose.

Le présent module s'intéresse non seulement au protocole de Montréal, mais aussi à tous les instruments juridiques mis en place au plan national, régional et international de même qu'à toute action de mitigation pouvant accompagner et réussir la lutte contre la dégradation de l'environnement.

I. OBJECTIFS

- Expliquer la réglementation internationale en matière de protection de l'environnement ;
- Expliquer la réglementation régionale en matière de protection de l'environnement ;
- Expliquer la réglementation nationale en matière de protection de l'environnement ;
- Énumérer des actions de mitigation face aux dangers liés à la dégradation de l'environnement.

II. DIAGNOSTIC

- 1- Que savez-vous du protocole de Montréal ?
- 2- Quelle est la date d'entrer en vigueur du protocole de Kyoto ?
- 3- Combien de parties ont signé l'accord de Paris ?
- 4- Quelle différence y a-t-il entre le protocole de Kyoto et l'accord de Paris ?
- 5- Que dit le règlement CE 1005/2009 de l'Union européenne ?
- 6- Nomme un règlement national et sous-régional que tu connais.
- 7- Cite deux actions de mitigation que tu peux mener en faveur de l'environnement.

III. MEMENTO : CE QUE JE DOIS SAVOIR

1. Instruments juridiques de préservation de la couche d'ozone et la sauvegarde de l'environnement

1.1. Protocole de Montréal et son amendement de Kigali

Le protocole de Montréal est un accord international visant à réduire de moitié les substances qui appauvrissent la couche d'ozone en éliminant progressivement la production de nombreuses substances responsables de cet appauvrissement.

1.1.1. Objectifs

L'objectif du protocole est d'interdire la production et l'usage dans les pays développés des gaz nocifs afin de réduire leur abondance dans l'atmosphère et ainsi, de protéger la couche d'ozone fragile de la terre. Le protocole de Montréal vise également à réduire progressivement la consommation et la production des différentes SACO, avec des calendriers différents pour les pays développés (appelés "pays ne relevant pas de l'article 5") et les pays en développement (appelés "pays relevant de l'article 5"). Les CFC sont interdits dans le monde entier depuis 2010. Les HCFC, initialement utilisés comme substituts des CFC, sont interdits dans la plupart des pays non visés par l'article 5 depuis 2010, mais

sont encore largement utilisés dans les pays visés par l'article 5. Ils y seront éliminés peu à peu d'ici à 2040.

1.1.2. Signature et entrée en vigueur

Le protocole de Montréal relatif à des substances qui appauvrissent la couche d'ozone a été adopté en 1987 pour empêcher la poursuite de la destruction de la couche d'ozone. Il a été ratifié par tous les pays du monde. Cet accord international fut promu par les Nations Unies et signé par 24 pays ainsi que par la Communauté Économique Européenne le 16 Septembre 1987. Il convient de préciser que le Burkina Faso a ratifié le Protocole de Montréal, le 18 octobre 1989.

Depuis 1989, le protocole de Montréal a fait l'objet de huit révisions, la dernière ayant eu lieu en 2016 à Kigali. L'amendement de Kigali, qui est entré en vigueur en 2019, intègre le troisième groupe de gaz à fort PRG dans son cadre mondial : les hydrofluorocarbures (HFC). L'amendement établit donc un calendrier de réduction des HFC pour les pays visés à l'article 5 et les pays non visés à l'article 5. Pour la plupart des pays de l'article 5, la consommation de HFC sera ramenée progressivement à 20 % du niveau de référence d'ici à 2045.

1.1.3. Forces et faiblesses de l'accord

La solution la plus simple pour protéger la couche d'ozone est d'arrêter de libérer de dangereux produits chimiques dans l'atmosphère. Certains pays ont rapidement interdit l'utilisation des CFC après les découvertes des années 1970 et 1980, mais l'initiative la plus aboutie en matière d'élimination progressive des SAO reste le Protocole de Montréal sur les Substances qui appauvrissent la Couche d'Ozone. Cet accord international fut promu par les Nations Unies et signé par 24 pays ainsi que par la Communauté Économique Européenne le 16 Septembre 1987. Le Protocole de Montréal invitait les pays qui le signaient (que l'on appelle les « Parties ») à mettre progressivement fin à l'utilisation des produits chimiques responsables de la réduction de la couche d'ozone. Début 2008, plus de 190 pays avaient déjà ratifié le Protocole de Montréal et plus de 95% de toutes les substances qui appauvrissaient la couche d'ozone avaient été éliminées dans le monde. Ces résultats font du Protocole de Montréal l'accord environnemental le plus réussi de toute l'histoire.

Pour les pays développés, la plupart des dates limites pour l'élimination de ces substances ont été fixées aux années 1990, à l'exception des HCFC, du bromure de méthyle et d'autres usages essentiels. Les pays en développement disposent de plus de temps pour trouver des produits et des méthodes de substitution, et pour la plupart d'entre eux, les dates limites pour l'élimination sont fixées entre 2010 et 2030.

Lors de la Conférence des Parties au Protocole de Montréal en septembre 2007, la décision a été prise d'accélérer la fin de la production des HCFC dans les pays développés et de réduire progressivement leur consommation dans les pays en développement.

Malgré le succès du Protocole de Montréal, l'élimination des SAO se butte à des obstacles. Parmi ceux-ci, le commerce illégal, c'est-à-dire la contrebande. Par exemple, certains produits contenant des CFC franchissent illégalement les frontières dans la mesure où les produits de substitution aux SAO sont souvent plus chers et l'adaptation des équipements, bien coûteuse. Les organisations environnementales telles que le PNUE et l'Agence d'Investigation Environnementale (AIE) combattent le commerce illégal en assurant la formation des douaniers dans différents pays. La problématique de la destruction de la couche d'ozone est que les techniciens frigoristes sont eux-mêmes de grands producteurs. Il convient de préciser que le Burkina Faso a ratifié le Protocole de Montréal, le 18 octobre 1989.

1.2. Le Protocole de Kyoto

Le protocole de Kyoto est un accord international visant à la réduction des émissions de gaz à effet de serre et qui vient s'ajouter à la Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques dont les pays participants se rencontrent une fois par an depuis 1995.

1.2.1. Objectifs

Ce protocole engage les pays industrialisés et les économies en transition à limiter et à réduire d'au moins 5 % par rapport au niveau de 1990 les émissions de six gaz à effet de serre (dioxyde de carbone, méthane, protoxydes d'azote et trois substituts des chlorofluorocarbones) entre 2008 et 2012

1.2.2. Signature et entrée en vigueur

Le protocole de Kyoto a été adopté le 11 décembre 1997 lors de la troisième conférence des parties à la convention (COP 3) à Kyoto, au Japon. Il est entré en vigueur le 16 février 2005 « au quatre-vingt-dixième (90^{ème}) jour après la date à laquelle au moins 55 parties à la Convention avaient déposé leurs instruments de ratification, d'acceptation, d'approbation ou d'accession ». Actuellement, 192 pays sont membres du protocole de Kyoto.

1.2.3. Mécanismes du Protocole

Le protocole a adopté des mécanismes dits de flexibilité au nombre de trois. Ce sont :

a- Le Mécanisme des permis négociables

Il s'agit d'un système de marché où des systèmes de production les plus polluants et les moins efficaces sont encouragés. Dans de tels systèmes, la marge bénéficiaire issue de la revente des permis reviendra principalement à ceux qui amélioreront les structures les moins efficaces et les plus polluantes.

b- Le Mécanisme de développement propre (MDP)

Le mécanisme de développement propre (MDP) a été créé dans le cadre du protocole de Kyoto pour permettre aux Occidentaux de réaliser leurs objectifs en investissant dans les pays en développement. Il donne lieu au prélèvement d'une taxe qui contribuera au financement des coûts d'adaptation des pays en développement au réchauffement climatique.

c- La Mise en œuvre conjointe

La mise en œuvre conjointe (MOC) est un mécanisme de financement des projets ayant pour objectif premier le stockage de carbone ou la réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES) dans le but de générer des crédits d'émission de GES utilisables par les investisseurs.

1.3. Accord de Paris

L'accord de Paris ou accord de Paris sur le climat, est un traité international sur l'atténuation et l'adaptation au changement climatique, ainsi que sur leur financement suffisant. Cet accord est négocié par 196 parties lors de la conférence de Paris de 2015

1.3.1. Objectifs

L'objectif de l'accord, tel que décrit dans son article 2, est d'avoir une réponse plus forte aux dangers du changement climatique ; il cherche à accélérer et améliorer la mise en œuvre de la Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques en :

- a) contenant l'élévation de la température moyenne de la planète en dessous de 2°C et en poursuivant l'action menée pour limiter l'élévation de la température à 1,5 °C par rapport aux niveaux préindustriels ;
- b) renforçant les capacités d'adaptation aux effets néfastes des changements climatiques et en promouvant une faible émission de gaz à effet de serre qui ne menace pas la production alimentaire ;
- c) rendant les flux financiers compatibles avec un profil d'évolution vers un développement à faible émission de gaz à effet de serre et résilients aux changements climatiques.
- d) revisitant les engagements des pays tous les cinq ans.

1.3.2. Signature et entrée en vigueur

L'accord de Paris est ouvert à la signature des États et organisations économiques régionales faisant partie de la CCNUCC du 22 avril 2016 au 21 avril 2017 au siège des Nations unies à New York et constitue la première étape vers la ratification. La signature oblige les parties à ne pas agir en contradiction avec l'objectif du traité. Le 1^{er} avril 2016, les États-Unis et la Chine, qui représentent près de 40% des émissions mondiales, promettent signer l'accord de Paris sur le climat. En mars 2021, 194 États et l'Union européenne ont signé l'accord.

L'accord entre en vigueur à condition que 55 pays produisant au moins 55 % des émissions de gaz à effet de serre dans le monde ratifient le traité ou y adhèrent d'une autre manière. Après la ratification par l'Union européenne, l'accord obtient suffisamment de parties pour entrer en vigueur le 4 novembre 2016.

1.3.3. Forces et faiblesses de l'accord

L'accord de Paris a une structure ascendante en ce sens que son mécanisme central d'engagement et d'examen permet aux nations de fixer leurs propres CDN évitant ainsi l'imposition d'objectifs par un organisme de supervision. Contrairement au protocole de Kyoto qui fixe des objectifs d'engagement ayant force de loi, l'accord de Paris met l'accent sur la recherche de consensus et des objectifs volontaires, déterminés au niveau national. Comme le traité de la CCNUCC de 1992 a reçu le consentement du Sénat américain, ce nouvel accord ne nécessite pas de législation supplémentaire.

Une autre différence clé entre l'accord de Paris et le protocole de Kyoto est leur portée. Le protocole de Kyoto établit une distinction entre les pays riches ayant une responsabilité historique dans le changement climatique et les pays en développement mais cette distinction est floue dans l'accord de Paris puisque toutes les parties sont tenues de soumettre des plans de réduction des émissions.

1.4. Règlement de l'Union européenne

Le Parlement européen a adopté en septembre 2009, une réglementation sur les substances qui appauvrissent la couche d'ozone et sur les gaz fluorés.

1.4.1. Le règlement sur les substances appauvrissant la couche d'ozone

Le principal règlement sur les SAO en vigueur est celui de la (CE) n° 1005/2009 qui établit des règles concernant la production, l'importation, l'exportation, la vente, l'utilisation, la récupération, le recyclage, la régénération et la destruction des substances qui endommagent la couche d'ozone. Il établit les exigences et les mesures applicables pour les produits et les équipements qui utilisent ces substances. Le règlement a été légèrement modifié à quatre reprises. Il est entré en vigueur depuis le 1er janvier 2015 (principalement le R22).

En règle générale, la production et la vente de substances réglementées, telles que les halons (pour les extincteurs), le bromure de méthyle (pour lutter contre les parasites) et les hydro chlorofluorocarbures (utilisés dans les réfrigérateurs et les climatisations) sont interdites.

Certaines dérogations sont toutefois prévues dans des conditions précises.

1.4.2. Le règlement sur les gaz fluorés

Certains pays et régions ont déjà introduit des lois limitant l'utilisation des HFC dans leur ensemble ou dans des secteurs spécifiques. Dans l'UE, les HFC sont progressivement réduits à 21 % des niveaux actuels du règlement UE n° 517/2014.

Ce règlement limite non seulement la quantité totale des règlements principaux gaz fluorés pouvant être vendus dans l'UE à partir de 2015, mais interdit également leur utilisation dans les secteurs où des solutions de remplacement moins nocives sont facilement disponibles. Ces secteurs comprennent les réfrigérateurs domestiques, la réfrigération commerciale pour les supermarchés, la réfrigération industrielle ou les climatiseurs.

1.5. Règlement sous-régional (règlement UEMOA)

L'Union Économique et Monétaire Ouest Africaine (UEMOA) qui n'avait pas explicitement consacré la préservation de l'environnement dans son traité constitutif de 1994, a adopté depuis le 17 janvier 2008, un acte additionnel qui porte sur la Politique Commune d'Amélioration de l'Environnement (PCE-UEMOA).

Cet acte a pour ambition la réalisation d'un espace socio-économique restauré, fortement intégré dans un environnement sain, avec une gestion des ressources naturelles équilibrée qui soutient le développement durable des communautés. Il vise également à limiter la dégradation des ressources naturelles, du cadre de vie et à maintenir la biodiversité dans la préservation des écosystèmes et du climat. Il veille à la gestion des ressources de la forêt, de la faune sauvage, des pollutions, des nuisances et des ressources en eau.

1.6. Règlementation nationale

Au niveau national, nous pouvons citer la Loi N°006-2013/AN portant Code de l'environnement au Burkina Faso. Ce code est composé de 148 articles répartis en 5 titres à savoir : (i). Des dispositions générales ; (ii). Des changements climatiques, du maintien des équilibres écologiques et de l'amélioration du cadre de vie ; (iii). Des sanctions administratives et de la répression des infractions ; (iv). Des dispositions diverses ; (v). Des dispositions finales. Le Code de l'environnement vise à protéger les êtres vivants contre les atteintes nuisibles ou incommodes et les risques qui gênent ou qui mettent en péril leur existence du fait de la dégradation de leur environnement et à améliorer leurs conditions de vie et affirme que la promotion d'un environnement sain est d'intérêt général et une obligation pour toutes les personnes physiques et morales.

Le Gouvernement du Burkina Faso a aussi adopté en octobre 2024 un avant-projet de loi portant interdiction totale des emballages et sachets plastiques. Cette loi est une révision de la loi du 20 mai 2014 portant interdiction de la production, de la commercialisation et de la distribution des emballages et sachets plastiques non biodégradables. Cet avant-projet de loi accorde des dérogations aux produits industriels directement conditionnés dans du plastique. La loi entre en vigueur six (06) mois après son adoption par l'Assemblée nationale de la transition.

À côté de la réglementation nationale, il y a le cadre institutionnel qui comprend quelques mesures prises pour la sauvegarde de l'environnement et la protection de la couche d'ozone. Parmi ces mesures, on a la mise en place d'un Fonds d'Intervention pour l'Environnement (FIE), l'institution d'une Conférence Nationale des Jeunes pour l'Environnement et le Climat (CONAJEC).

La CONAJEC a tenu sa neuvième conférence nationale sur le climat et les Objectifs du développement durable (ODD) les 3 et 5 octobre 2024 à Ouagadougou et ce, en prélude à la COP 29 qui se tiendra en Azerbaïdjan du 11 au 21 novembre 2024. L'objectif global de cette rencontre est d'outiller la jeunesse de capacités d'analyse critique lui permettant de s'approprier le potentiel de réduction des émissions des gaz à effet de serre (GES). La rencontre se tient sur le thème : "Contribution des jeunes à l'élaboration d'une contribution déterminée au niveau national (CDN) ambitieuse et impatiente au Burkina Faso" Toute cette démarche vise à impliquer activement la jeunesse dans les débats climatiques et à lui permettre de devenir un acteur de premier plan dans la construction d'un avenir durable.

2. Actions de mitigation

Chacun d'entre nous peut faire des choix pour protéger la nature, lutter contre le changement climatique et prendre soin de notre planète.

Les objectifs de développement durable précisent comment nous pouvons protéger notre environnement et ralentir le changement climatique, des forêts aux océans et partout ailleurs. Considérez votre consommation d'électricité et vos déplacements. Faites le point sur vos repas à table. Réutilisez tout ce qui peut l'être. De nombreuses possibilités d'action s'offrent à vous, engagez-vous et réalisez au moins une ou plusieurs d'entre celles qui suivent :

2.1. Économiser l'énergie à la maison

Le charbon, le pétrole et le gaz constituent la majeure partie de notre électricité et de notre chauffage. Utilisez moins d'énergie en réduisant votre consommation de chauffage et de climatisation, en optant pour des ampoules LED et des appareils électriques à haut rendement énergétique, en lavant votre linge à l'eau froide ou en suspendant vos affaires pour les faire sécher au lieu d'utiliser un sèche-linge. En améliorant l'efficacité énergétique de votre maison, grâce à une meilleure isolation par exemple, ou en remplaçant votre chaudière à mazout ou à gaz par une pompe à chaleur électrique, vous pouvez réduire votre empreinte carbone jusqu'à 900 kilogrammes de CO₂ par an.

2.2. Modifier la source d'énergie de votre maison

Renseignez-vous auprès de votre compagnie d'électricité pour savoir si l'énergie de votre maison provient du pétrole, du charbon ou du gaz. Si possible, essayez de passer à des sources d'énergie renouvelables telles que l'énergie éolienne ou solaire. Vous pouvez également installer des panneaux solaires sur votre toit pour produire de l'énergie pour votre maison. En remplaçant l'énergie produite par le pétrole, le gaz ou le charbon par des sources d'énergie renouvelables, telles que l'énergie éolienne ou solaire, vous pouvez réduire votre empreinte carbone jusqu'à 1,5 tonne de CO₂e par an.

2.3. Marcher, faire du vélo ou emprunter les transports publics

Au niveau mondial, les routes sont encombrées de véhicules qui, pour la plupart, consomment du diesel ou de l'essence. Se déplacer à pied ou à vélo plutôt qu'en voiture permet de réduire les émissions de gaz à effet de serre, tout en étant bénéfique pour la santé et pour la forme physique. Pour les longues distances, envisagez de prendre le train ou le bus, et pratiquez le covoiturage dans la mesure du possible. Le fait de vivre sans voiture peut réduire votre empreinte carbone de 2 tonnes de CO₂e par an par rapport à un mode de vie utilisant une voiture.

2.4. Opter pour un véhicule électrique

Si vous envisagez d'acheter une voiture, pensez à un véhicule électrique. Ces modèles d'engins sont de plus en plus nombreux et de moins en moins polluants. Ils contribuent plus à la réduction d'émissions de gaz à effet de serre que les véhicules utilisant du carburant. Le fait de passer d'une voiture à essence ou diesel à une voiture électrique peut réduire votre empreinte carbone jusqu'à 2 tonnes de CO₂e par an.

2.5. Utilisation rationnelle et écologique des équipements du froid et de la climatisation

Plus que jamais d'actualité, l'utilisation rationnelle de l'énergie implique dans tous les secteurs d'activité des développements technologiques très divers. Ceux-ci s'appuient sur une meilleure connaissance des phénomènes fondamentaux en jeu dans les principales disciplines : mécanique, électronique et thermo hydraulique notamment, et une modélisation toujours plus fine des processus. Le choix des équipements du froid et de la climatisation doit se faire en connaissance de cause et leur utilisation doit respecter les normes écologiques et technologiques soucieuses de la préservation de l'environnement.

2.6. Réfléchir à ses déplacements

Les avions consomment d'importantes quantités de combustibles fossiles, ce qui produit des émissions considérables de gaz à effet de serre. Le fait de prendre moins souvent l'avion constitue donc l'un des moyens les plus efficaces de réduire votre impact sur l'environnement. Lorsqu'il est possible, se rencontrer de manière virtuelle, privilégier le train ou éviter tout simplement les déplacements sur de longues distances.

2.7. Réduire, réutiliser, réparer et recycler

Les appareils électroniques, les vêtements, les plastiques et autres articles que nous achetons provoquent des émissions de carbone à chaque étape de la production, de l'extraction des matières premières à la fabrication et au transport des marchandises jusqu'au marché. La préservation du climat passe par la réduction des achats, l'achat de produits d'occasion et la réparation de ce qui peut l'être. Les plastiques ont généré à eux seuls 1,8 milliard de tonnes métriques d'émissions de gaz à effet de serre en 2019, soit 3,4 % du total mondial. Moins de 10% sont recyclés, et une fois que le plastique jeté, celui-ci reste en place pendant des centaines d'années. La réduction du nombre de vêtements neufs et d'autres biens de consommation peut également réduire votre empreinte carbone. Chaque kilogramme de textile fabriqué génère environ 17 kilogrammes de CO₂.

2.8. Manger plus de légumes

En consommant plus de légumes, de fruits, de céréales complètes, de légumineuses, de noix et de graines, et moins de viande et de produits laitiers, vous pouvez réduire de manière significative votre impact négatif sur l'environnement. La production d'aliments d'origine végétale entraîne généralement moins d'émissions de gaz à effet de serre et nécessite moins d'énergie, de surface agricole et d'eau.

En passant d'un régime mixte à un régime végétarien, vous réduisez votre empreinte carbone de 500 kilogrammes de CO2 par an

2.9. Jeter moins de nourriture

Lorsque vous jetez de la nourriture, vous gaspillez également les ressources et l'énergie utilisées pour la cultiver, la produire, l'emballer et la transporter. En outre, lorsque les aliments pourrissent dans une décharge, ils produisent du méthane, puissant gaz à effet de serre. La réduction des déchets alimentaires peut entraîner une baisse de votre empreinte carbone de 300 kilogrammes de CO2 par an.

2.10. Planter des espèces indigènes

Dans votre cour ou au jardin, il faut privilégier les espèces de plantes indigènes. Les plantes, les animaux et les insectes sont dépendants les uns des autres et la plupart des insectes ne mangent pas les plantes non indigènes, donc condamnés à disparaître. Leur disparition joue sur la chaîne alimentaire car certains oiseaux et d'autres espèces perdent une source de nourriture.

2.11. Assainir l'environnement

Les humains, les animaux et les plantes souffrent tous de la contamination des terres et des eaux par des déchets jetés de façon éparse qui polluent l'environnement. Il faudrait sensibiliser la population à assainir l'environnement en prenant part aux nettoyages des locaux, des parcs, des rivières, des plages et autres. Chaque année, la population produit 2 milliards de tonnes d'ordures et près d'un tiers provoque l'étouffement des réserves d'eau ou en l'empoisonnement des sols.

2.12. Mettre son argent à profit

Mettre son argent au profit d'entreprises qui utilisent les ressources de manière responsable, contribue à réduire les émissions de gaz et des déchets. En veillant à investir son épargne dans des entreprises respectueuses de l'environnement, l'on réduit considérablement son empreinte carbone.

2.13. S'exprimer

Faire entendre sa voix et inciter d'autres personnes comme les voisins, les collègues, les amis et la famille à se joindre à vous pour agir. Cette démarche est l'un des moyens les plus rapides et les plus efficaces pour faire changer les choses. Faire savoir aux chefs d'entreprises, aux dirigeants locaux et mondiaux qu'il s'agit de changements audacieux tant sur les produits et emballages sans plastique que sur les véhicules à émissions nulles. L'action climatique est une tâche qui incombe à tous.

IV. CORRIGE DU DIAGNOSTIC

1. **Quelle définition pouvez-vous donner du protocole de Montréal ?** = Le protocole de Montréal est un accord international visant à réduire de façon considérable et progressive les substances qui appauvrissent la couche d'ozone.
- 2- **Quelle est la date d'entrer en vigueur du protocole de Kyoto ?** = Le protocole de Kyoto est entré en vigueur le 16 février 2005.
- 3- **Combien de parties ont signé l'accord de Paris ?** = En mars 2021, 194 États et l'Union européenne ont signé l'accord de Paris.
- 4- **Quelle différence y a-t-il entre le protocole de Kyoto et l'accord de Paris ?**

La différence entre le protocole de Kyoto et l'accord de Paris est que le premier fixe des objectifs d'engagement ayant force de loi, tandis que le second met l'accent sur la recherche de consensus et des objectifs volontaires, déterminés au niveau national.

Une autre différence clé entre l'accord de Paris et le protocole de Kyoto est leur portée. Le protocole de Kyoto établit une distinction entre les pays riches ayant une responsabilité historique dans le changement climatique et les pays en développement mais cette distinction est floue dans l'accord de Paris puisque toutes les parties sont tenues de soumettre des plans de réduction des émissions.

5- Que dit le règlement CE 1005/2009 de l'Union européenne ?

Le principal règlement sur les SAO en vigueur est le règlement (CE) n° 1005/2009 qui établit des règles concernant la production, l'importation, l'exportation, la vente, l'utilisation, la récupération, le recyclage, la régénération et la destruction des substances qui endommagent la couche d'ozone. Il établit les exigences et les mesures applicables pour les produits et les équipements qui utilisent ces substances.

6- Nomme une disposition au niveau national et sous-régional que tu connais pour protéger l'environnement.

- L'adoption en octobre 2024 de l'avant-projet de loi portant interdiction totale des emballages et sachets plastiques. Cette loi est une révision de celle du 20 mai 2014 portant interdiction de la production, de la commercialisation et de la distribution des emballages et sachets plastiques non biodégradables.
- L'acte additionnel de l'UEMOA portant sur la Politique Commune d'Amélioration de l'Environnement (PCAE-UEMOA).
- L'acte additionnel N°01/2008/CCEG/UEMOA du 17 janvier 2008

7- Cite deux actions de mitigation que tu peux mener en faveur de l'environnement.

- a- Économiser l'énergie à la maison
- b- Marcher, faire du vélo ou emprunter les transports publics

V. ACTIVITES

Deux femmes sont allées acheter des condiments. L'une d'elles a rempli son panier de tomates fraîches, d'aubergines, de carotte, de légumes divers, d'arachides et d'oignons. L'autre avait dans son panier, des conserves de tomates, de sardines, de petits pois, de la mayonnaise et autres arômes dans de multiples sachets plastiques. Sur le chemin, elles voient un attroupement et s'aperçoivent qu'il s'agit de jeunes garçons en train de dépiécer un congélateur abandonné pour en extraire la ferraille. A l'approche, un des garçons était en train de taper sur le réservoir pour libérer le gaz et s'emparer du contenant. D'autres mettaient un grand feu à un lot de fer pour le débarrasser de ses plastiques et autres protections.

Questions :

1. Laquelle des deux femmes contribue à la protection de l'environnement ? Pourquoi ?
2. Que peux-tu dire du comportement de l'autre femme vis-à-vis de l'environnement ?
3. Donne à cette dernière, deux conseils précieux pour l'aider à avoir une attitude protectrice de l'environnement.
4. Quel est l'impact du congélateur jeté sur l'environnement ?
5. Que devrait faire le propriétaire du congélateur ?
6. Quels conseils donneras-tu aux enfants ?
7. Convoque pour les garçons et les femmes une disposition internationale et nationale pour attirer leur attention sur la protection de l'environnement et de la couche d'ozone.

Conclusion

La pollution de l'environnement va à une allure inquiétante au regard de la détérioration de la couche d'ozone. C'est une situation qui met en péril l'existence de la vie humaine, animale et végétale sur la Terre. Au regard de cette situation, une sensibilisation de tous les acteurs s'avère indispensable pour sauver l'environnement et partant, l'humanité. L'heure n'est plus aux tergiversations mais à l'action. Pour y arriver, une prise de conscience collective et individuelle doivent être observées, des actions fortes et courageuses entreprises tant au plan national qu'international à travers le respect des réglementations nationale et régionale. Agissons alors tous et tout de suite.

Ressources bibliographiques

1. Collin Bootsveld, Fouzi Tabet, Dennis Frieske, Rolf Hühren (HEAT GmbH) revu par Antoine Azar (2023), Guide d'introduction aux réfrigérants naturels ;
2. Christophe Marillet, L'utilisation rationnelle de l'énergie, Groupement pour la recherche sur les échangeurs thermiques (GRETh) Direction de la recherche technologique CLEFS CEA - N° 44 - HIVER 2000-2001
3. Edgar Timm, HEAT GMBH, Module K : L'efficacité énergétique dans la réfrigération et la climatisation ;
4. PNUE Là-haut dans le ciel, éducation à la couche d'ozone pour le collège : guide de l'enseignant ;
5. PNUE (2006), Pack Éducatif Action Ozone, guide pour les enseignants de l'école primaire ;
6. [E-learning | Real Alternatives :](#)
7. <https://www.realalternatives.eu/plateforme-d-apprentissage> ;
8. <https://publikationen.giz.de/esearcha/index.tt.html?lang=en> ;
9. <https://www.heat-international.de/publications/>
10. [Textes juridiques utilisés](#)

Chapitre 4 : Réfrigérants naturels et efficacité énergétique

I. OBJECTIFS

- Expliquer le fonctionnement des équipements de froid et de climatisation.
- Évaluer l'efficacité énergétique d'un équipement de froid et de climatisation.
- Relever les données sur la consommation d'énergie du secteur RCPC/RACHP.
- Énumérer les NPEM/MEPS et étiquetage.
- Identifier les facteurs influençant l'efficacité énergétique.

II. DIAGNOSTIC : CE QUE JE SAIS DÉJÀ

1. Comment se fait l'étiquetage de l'efficacité énergétique en rapport avec les NPEM ?
2. Cite quelques instruments supplémentaires qui entrent dans la promotion de l'efficacité des NMPE/MEPS et de l'étiquetage.
3. Quelles dispositions prendre pour le choix d'un réfrigérant ?
4. Pour un fonctionnement optimal d'un système RCPC/RACHP, il est recommandé de mesurer les conditions du système. Cite les principales valeurs à vérifier.
5. Quel équipement utilise-t-on pour mesurer l'énergie électrique ?

III. MEMENTO : CE QUE JE DOIS SAVOIR

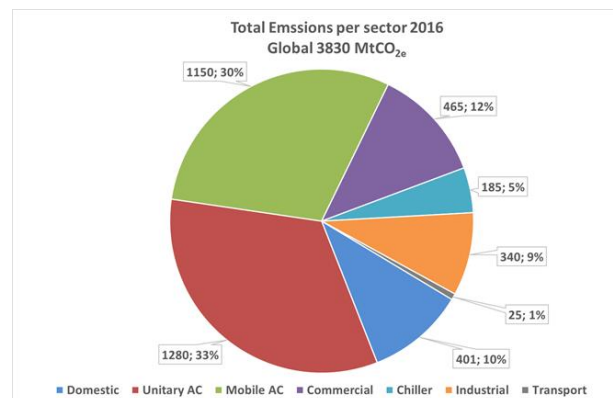
2. Données sur la consommation d'énergie du secteur de réfrigération, climatisation et pompe à chaleur (RCPC/RACHP)

Le secteur de réfrigération, climatisation et pompe à chaleur (RCPC/RACHP) et la cryogénie représentent 7,8 % des émissions mondiales de gaz à effet de serre (IIF-IIR, 2017) qui s'élève à environ 4 Gt CO₂-eq en 2016 comme l'indique le schéma 1 ci-dessous.

Avec l'augmentation des ventes d'unités de climatisation, les émissions totales devraient augmenter de façon spectaculaire. Sans mesures d'atténuation, la demande d'énergie pour les systèmes RCPC/RACHP pourrait tripler d'ici 2050 par rapport à 2016. Mais avec des mesures d'atténuation, une réduction entre 33 et 45 % des émissions de CO₂ est réalisable d'ici 2050 par rapport au scénario de référence.

Émissions totales de RACHP par secteur en 2016

Émissions totales par secteur en 2016 Global 3830 MtCO₂-eq



Domestique unitaire climatisation commercial réfrigération industriel transport

Source : ETuS UG à partir de www.green-cooling-initiative.org/country-data

L'une des manières permettant de réduire la demande d'énergie dans le secteur de la RCPC/RACHP est l'introduction ou l'augmentation de l'ambition dans les normes minimales de performance énergétique (NMPE/MEPS). Selon l'Agence internationale de l'énergie (2018), les NMPE/MEPS seuls ne suffiront pas à contrer l'augmentation des émissions dues au développement du marché dans les secteurs susmentionnés. Alors que la mise en œuvre de normes NMPE/MEPS plus strictes pourrait atténuer l'augmentation, de manière plus décisive, la mise en œuvre de sources d'énergie renouvelables (SER/RES) est nécessaire pour atteindre les objectifs ambitieux de la protection du climat.

3. Norme de performances énergétiques minimales et étiquetage (NPEM/MEPS)

3.1. Mesures politiques générales visant à augmenter l'efficacité énergétique et à réduire la consommation

Suite aux accords internationaux sur l'atténuation des impacts du changement climatique, les politiques doivent choisir les outils pour atteindre les objectifs. Parmi les exemples d'outils politiques, on peut citer les normes de performance réglementaires, les systèmes d'incitation à l'utilisation d'énergies renouvelables ou les projets de démonstration de technologies alternatives. Les mesures politiques peuvent comprendre les éléments suivants, de l'avis de Vreuls, 2005 :

- La réglementation : Les réglementations sont des lois juridiquement contraignantes qui dictent des comportements spécifiques, des caractéristiques technologiques (par exemple l'isolation des bâtiments), des niveaux de performance (par exemple concernant les NMPE/MEPS).
- L'information : les informations obligatoires ou volontaires visant à influencer le comportement des consommateurs en matière d'achats et de consommation.
- Les incitations : souvent introduites avec des informations ; elles sont utilisées pour surmonter les obstacles économiques lors de l'introduction de changements ou de nouvelles technologies.
- Les accords volontaires : ce sont des programmes dédiés à certaines industries, applications ou produits. Par exemple le programme de certification **Eurovent**, pour les unités de traitement de l'air¹, qui est un programme dirigé par l'industrie pour introduire des normes de qualité sur l'efficacité et la validation des données des fabricants par des tests tiers.
- La combinaison de mesures politiques et de programmes ou de projets.

3.2. Normes minimales de performance énergétique (NPEM/MEPS)

3.2.1. Pourquoi avons-nous besoin de la NPEM /MEPS ?

Il existe plusieurs instruments réglementaires qui soutiennent la réalisation des objectifs politiques. Les impôts, les taxes et les subventions constituent les instruments courants pour orienter la consommation des ressources, en influençant les comportements d'achat des consommateurs.

Les normes minimales de performance énergétique (NMPE/MEPS) sont des outils réglementaires qui définissent des valeurs minimales d'efficacité énergétique pour certains produits. Les produits qui n'atteignent pas ces valeurs seront bannis du marché. Habituellement, il existe sur le marché un large éventail de produits ayant divers niveaux d'efficacité. Les écarts d'efficacité entre les meilleurs et les pires peuvent varier d'un facteur 2 et même 3. Les NMPE/MEPS essaient généralement d'éliminer les produits les moins performants, tout en laissant le choix aux consommateurs. Les NMPE/MEPS

¹<https://www.eurovent-certification.com>

doivent être fixés à des niveaux réalisables et ils peuvent différer en fonction du produit et de son utilisation.

Les NMPE/MEPS ne doivent pas être utilisés pour protéger les marchés nationaux. Les principes de l'OMC exigent l'application de ces normes, tant pour les produits fabriqués au niveau national, que pour les produits importés. Aujourd'hui, plusieurs pays ont soit, mis en œuvre des NMPE/MEPS, soit fixé des objectifs pour les unités de climatisation. Heureusement, les plus grands marchés de la climatisation font partie de ces pays. D'autre part, avec un grand nombre de marchés en croissance ou en développement principalement en Afrique, il existe toujours un risque de « dumping technologique ou d'efficacité », car d'anciens modèles inefficaces sont vendus sur ces marchés qui n'ont pas mis en place des NMPE/MEPS.

3.2.2. Les principes de fonctionnement de la NPEM /MEPS

Le principe de fonctionnement des NMPE/MEPS est décrit dans le schéma 2. Il montre la répartition des unités vendues en fonction de leur efficacité.

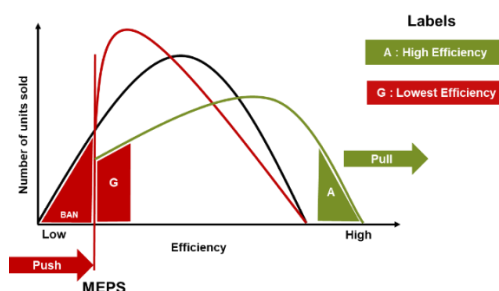
La courbe en cloche noire décrit la position de départ du marché, elle présente une distribution normale de produits, certains très efficaces et d'autres qui le sont moins. Une fois que les NMPE/MEPS sont introduits, les produits présentant une efficacité inférieure à la valeur NMPE/MEPS sélectionnée (l'efficacité minimale) sont éliminés du marché. Cela peut se faire sur une base volontaire, mais dans la plupart des cas, cela se réalise suite à des dispositions obligatoires. L'efficacité peut être mesurée de différentes manières, en fonction des produits et de leur utilisation.

Une fois les NMPE/MEPS introduits, les ventes de produits sont « orientées » vers une plus grande efficacité. Ce qui est généralement susceptible de se passer est décrit par la courbe rouge. Les ventes de produits ayant une efficacité supérieure, mais qui demeure proche de la valeur NMPE/MEPS ont tendance à augmenter, alors que celles des produits à haute efficacité restent inchangées. En pratique, le pourcentage de « mauvais » produits vendus augmente.

Pour éviter cet effet, les NMPE/MEPS sont généralement associés à l'étiquetage, comme instrument d'information. Les mécanismes d'étiquetage répartissent les produits en classes d'efficacité énergétique, en fonction des performances réelles de chaque produit et rendent l'information explicite pour les consommateurs. Ce marquage clair des produits permet aux consommateurs de distinguer les produits les plus performants des produits moins efficaces. La courbe verte indique cet effet. L'étiquetage « tire » les ventes vers des niveaux d'efficacité plus élevés en fin de processus.

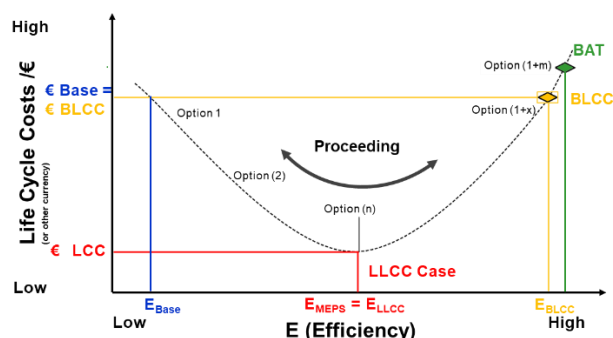
Les classes d'étiquetage et les NMPE/MEPS sont généralement mises à jour régulièrement pour tenir compte des améliorations technologiques sur le marché.

Mécanisme de fonctionnement des NMPE/MEPS et des étiquettes



3.2.3. Paramétrage de la NPEM /MEPS

Instaurer un niveau optimal pour les NMPE/MEPS est crucial pour le succès et l'acceptation des dispositions instaurées. Les options de réglage des NMPE/MEPS sont illustrées dans le schéma 3 ci-dessous.



Source : Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Umweltbundesamt, 2012 Où :

- LCC/CCV (Life Cycle Costs/ Coût du Cycle de Vie) = coût en capital + coût d'exploitation - valeur résiduelle en fin de vie
- LLCC/CCVPB = Coûts de cycle de vie les plus bas
- BLCC/CBCV = Coût basique du cycle de vie - Point de départ
- BAT/MTD = Meilleure technique disponible
- MEPS/NMPE = Norme minimale de performance énergétique
- E = L'efficacité

Un certain produit offre une efficacité spécifique à un coût défini (E_{Base} à $€ Base$). Cela représente le point de départ. Pour améliorer l'efficacité, le fabricant peut inclure différentes options. Par exemple, l'option 1 : utiliser des ventilateurs à CE/EC (à commutation électronique) au lieu de ventilateurs CA/AC (à courant alternatif)). Si l'augmentation des coûts d'investissement est inférieure au bénéfice financier des économies d'énergie au cours du cycle de vie du produit, le CCV/LCC diminuera. Une approche commune consiste à fixer les valeurs NMPE/MEPS à un certain niveau, si les alternatives techniques disponibles (options) conduisent à un coût minimum du LCC/CCV (Life Cycle Cost /Coût de Cycle de Vie).

En général, il est toujours possible d'augmenter encore l'efficacité avec des options plus sophistiquées telles que des commandes intelligentes, un compresseur onduleur, etc. Dans certains cas, ce faisant, le LCC/CCV augmentera par rapport au niveau minimal.

Compte tenu du coût du cycle de vie pour le scénario de base, il est possible de générer des économies supplémentaires importantes d'énergie (en augmentant l'efficacité) au même niveau du LCC/CCV que le point de départ, celui du Meilleur Coût de Cycle de Vie (MCCV/BLCC). Ainsi, il existe des preuves que des améliorations importantes de l'efficacité sont possibles, améliorations indispensables si l'on veut atteindre les objectifs climatiques.

Le processus d'introduction des NMPE/MEPS est divisé en plusieurs étapes :



Process for the implementation of MEPS (Source: Heat GmbH)

L'étape d'identification comprend une analyse de la consommation énergétique des classes de produits, en mettant l'accent sur le comportement des consommateurs du secteur domestique. Les classes de produits présentant un potentiel élevé d'économies d'énergie sont celles des lampes, des réfrigérateurs, des téléviseurs et des climatiseurs individuels (dits parfois « *climeurs* »).

Les études préparatoires sont menées par des consultants qui évaluent les économies potentielles et proposent des classes d'étiquetage et des NMPE/MEPS. Ces propositions sont utilisées pour rédiger des réglementations, qui sont présentées aux parties prenantes pour consultation. Les parties prenantes sont représentées en général par les décideurs politiques, les fabricants, les organisations de consommateurs, les organismes de normalisation, les instituts de test et les experts techniques.

3.2.4. Étiquetage des produits de réfrigération, climatisation et pompe à chaleur (RCPC/RACHP)

3.2.4.1. Étiquetage écologique ou éco-étiquetage

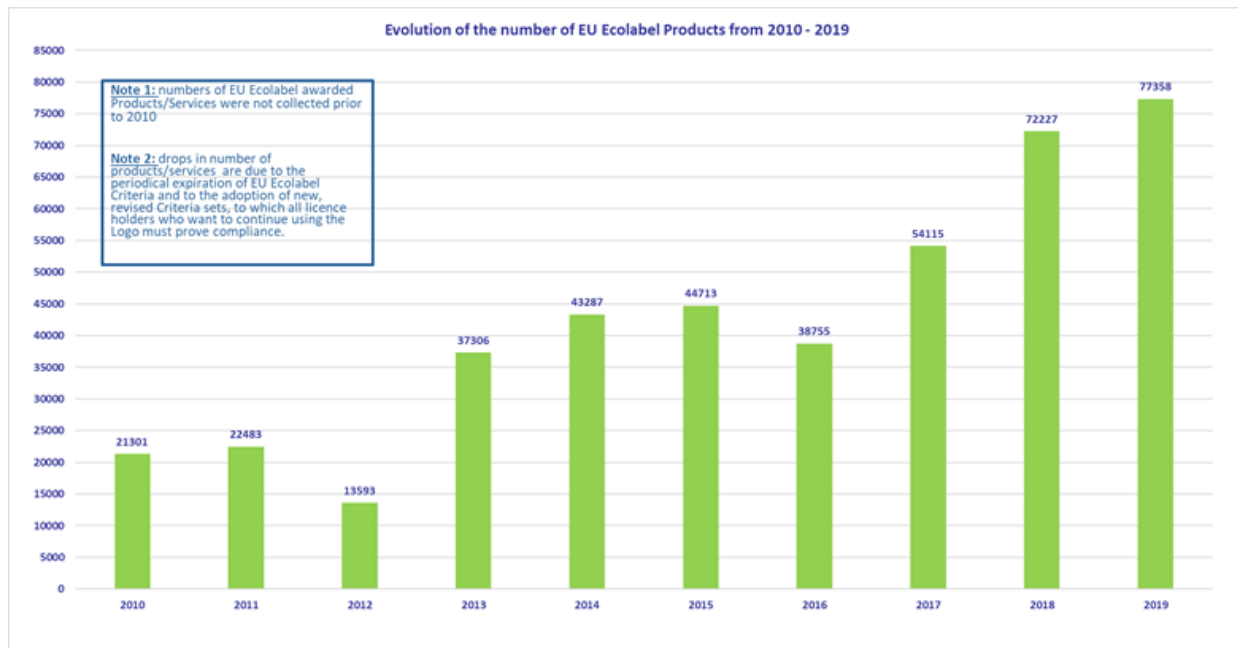
Avec la sensibilité croissante des consommateurs aux questions environnementales, l'impact d'un produit ou d'un service sur l'environnement prend de l'importance dans les décisions d'achat. Les consommateurs demandent des informations fiables à cette fin et l'éco-étiquetage ou étiquetage environnemental est une méthode qui permet de fournir ces informations de manière simple. Une large gamme de slogans est utilisée par les fabricants pour promouvoir leurs produits tels que « fabriqué à partir de matériaux 100 % recyclés », « d'origine locale », « n'utilise que x% d'énergie, en comparaison avec les concurrents », etc. Le Schéma 4 montre l'accroissement du nombre d'éco-étiquettes dans l'Union Européenne, à partir de 2010.

Le groupe de normes ISO14000 fournit un cadre de travail mondialement accepté sur l'éco-gestion et la conception des produits. Le groupe de normes ISO14020 fournit notamment des orientations et des règles en matière d'éco-étiquetage. Ces normes distinguent trois types d'étiquettes en fonction du niveau d'engagement affiché, requis ou bien effectivement mis en pratique, pour la sauvegarde de l'environnement.

Types d'éco-étiquetage selon les normes ISO :

- Type 1 (ISO 14024) : Les critères sont fixés par des tiers. Le label sera attribué par des organismes officiels. Exemples : Ecolabel UE, Cygne Nordique (Nordic Swan) ou Ange Bleu (Blue Angel) allemand. Il s'agit généralement de la classe la plus stricte, car ils obéissent à des critères clairs qui doivent être respectés. Ce genre de labels existe pour certains produits RCPC/RACHP et il est souvent lié à des régimes de subventions ou de primes gouvernementales.
- Type 2 (ISO 14021) : basé sur des critères auto-déclarées par les producteurs ou les détaillants, comme « 100 % fait de », « sans gaz F », etc.
- Type 3 (ISO 14025) : il fournit, sur une base volontaire des informations quantifiées, en appliquant des paramètres prédéterminés, sur l'impact environnemental du cycle de vie du produit. Cela sert essentiellement à la communication d'entreprise à entreprise.

Évolution du nombre des écolabels sur les produits de l'UE, de 2010 à 2019



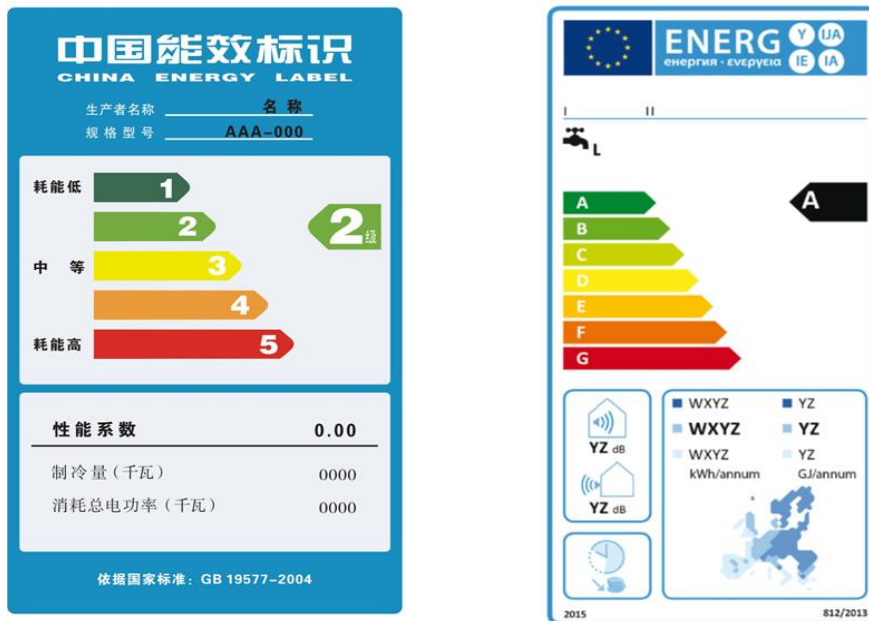
Source : Commission européenne, n ; d.

3.2.5. Étiquetage de l'efficacité énergétique en rapport avec la NPEM /MEPS

Les NMPE/MEPS constituent des mesures importantes et efficaces pour réduire la demande d'énergie. Trente-six (36) pays et l'Union européenne ont des NMPE/MEPS obligatoires pour les climatiseurs et plus de 85 % des climatiseurs ont été soumis à des contrôles basés sur les NMPE/MEPS en 2016 (AIE, 2018), à l'échelle mondiale. Les NMPE/MEPS rehaussent essentiellement le niveau minimum d'efficacité énergétique, tout en étiquetant les augmentations d'efficacité pour obtenir de meilleures valeurs au-dessus des NMPE/MEPS.

Les classes de performance des étiquettes sont généralement mises au point à l'aide d'une métrique indexée qui fournit une mesure du niveau de production par unité d'énergie consommée, par rapport à une « unité typique ». Cela permet de comparer des éléments de même nature. Les étiquettes doivent fournir des conseils faciles à comprendre pour les utilisateurs et doivent être régulièrement entretenues et mises à jour pour rester pertinentes. Le nombre de catégories et la désignation des classes dépendent des habitudes et des demandes locales et des groupes de produits. On y utilise souvent des lettres, des chiffres ou encore des étoiles pour indiquer la classe énergétique du produit. Dans cet esprit, les meilleurs produits par classe sont étiquetés en classe A, ou 1, ou ont 5 étoiles. Les produits moins performants seront étiquetés en B, C, D ou 2,3, 4, ou ont 4 étoiles, 3 étoiles, etc. Les valeurs pour chaque classe varient d'un pays à l'autre, car les paramètres utilisés pour la comparaison sont les suivants : les produits RCPC/RACHP sont évalués en utilisant un coefficient de performance (CDP/COP) et un coefficient saisonnier de performance (CSDP/SCOP) dans différents pays. Un codage couleur supplémentaire qui suit celui des feux de circulation, le vert est bon, le rouge est mauvais et le jaune est entre les deux, est censé simplifier la lecture des étiquettes. Des exemples d'étiquettes chinoises sur les refroidisseurs (à gauche) et les étiquettes UE pour les chauffe-eaux à pompe à chaleur (à droite) sont présentés dans le schéma 5.

Exemples d'étiquettes d'efficacité énergétique



Source : China Energy Label Center (à gauche) et Commission européenne (à droite).

3.3. Mesures de soutien à la NPEM /MEPS et à l'étiquetage

Certains instruments supplémentaires peuvent promouvoir l'efficacité des NMPE/MEPS et de l'étiquetage, dont on peut citer notamment :

3.3.1. Les mesures d'incitation

Les instruments économiques ont un fort impact sur le succès des réglementations ou mesures d'efficacité énergétique. Dans de nombreux cas, les subventions ou les incitations fiscales à l'utilisation de produits hautement efficaces peuvent aider à l'acceptation de ces produits et à leur promotion sur le marché. Cela peut se faire soit, pour rendre ces produits abordables et respectueux de l'environnement (par exemple, des incitations aux producteurs), soit pour surmonter une hausse probable des prix de la nouvelle technologie (par exemple, pour l'introduction de pompes à chaleur en remplacement des chaudières à combustibles fossiles).

3.3.2. Suivi/tests par des tiers

Le suivi et la vérification sont des éléments essentiels lors de l'introduction des NMPE/MEPS et des labels. L'autocertification ou les tests par des tiers sont souvent une obligation pour tous les fabricants (pour les NMPE/MEPS et les labels) avant la mise sur le marché de nouveaux produits. Les tests par des tiers sont utilisés pour le suivi et l'application du programme, en particulier lorsque des subventions sont allouées pour promouvoir une nouvelle technologie. Les rapports concernant les performances doivent être conformes à certains standards uniformisés.

Les rapports concernant les valeurs enregistrés par le produit, son enregistrement, les méthodes de test et les documents justificatifs doivent être inclus dans une base de données publique (disponible pour tous les clients) afin de garantir la transparence du programme.

3.3.3. Vérification /surveillance du marché

Les organismes officiels doivent effectuer des tests aléatoires sur les unités vendues sur le marché, faisant appel à des instituts de tests indépendants. Quand un test a échoué, l'application de la loi entre en vigueur. Les instituts d'essais doivent être accrédités et doivent satisfaire aux exigences liées à la réglementation sur l'efficacité.

3.3.4. Application des dispositions

Dans le contexte européen, lorsqu'un produit échoue à passer l'examen, le fabricant doit s'acquitter des frais du test et programmer des actions correctives en vue de le passer ultérieurement. Le test de répétition doit être payé par le fabricant jusqu'à ce que le produit réussisse où qu'il soit retiré du marché. Une pénalité ou une amende, en fonction de l'incidence des infractions et de leur gravité, est généralement appliquée (soit pour les nouveaux produits, soit pour tous les produits déjà écoulés). Dans d'autres pays, les dispositions peuvent être différentes, mais en général, elles impliquent des tests et des sanctions. L'application de la loi peut être coûteuse et les sources de financement doivent être sécurisées au stade de la planification. Elle peut être financée par les frais d'application des lois ou bien d'enregistrement de label, dont doivent s'acquitter les fabricants.

3.4. Facteurs influençant l'efficacité énergétique

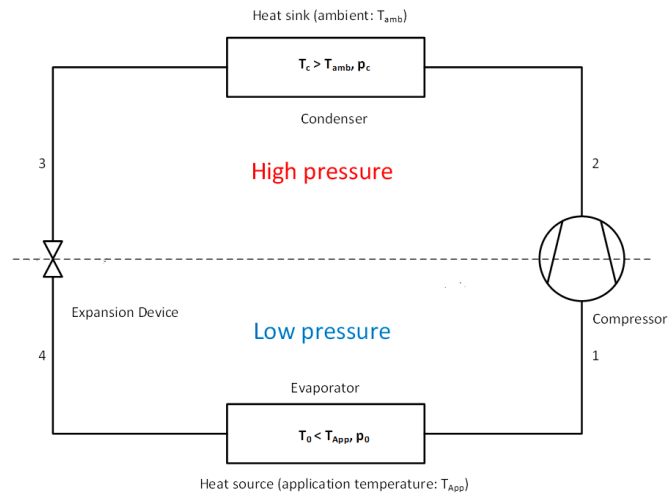
Les NMPE/MEPS, l'étiquetage et les normes établissent un cadre d'exigences en matière d'efficacité énergétique pour la mise sur le marché des produits, orientent les comportements d'achat et influencent les modes d'utilisation.

Les possibilités d'économiser de l'énergie ou d'améliorer l'efficacité énergétique sont données à différentes étapes du cycle de vie du produit. Cela commence par une conception optimale et économe en énergie des systèmes, en fonction de l'usage qui en sera fait, y compris la sélection de composants et de stratégies de contrôle efficaces et appropriés. Les modèles d'utilisation ont un fort impact sur le fonctionnement économe en énergie, ainsi que sur la maintenance régulière et les vérifications du système.

3.4.1. Le cycle de référence idéal

Pratiquement tous les systèmes de réfrigération, de climatisation et de pompes à chaleur utilisent des cycles de compression de vapeur. L'utilisation du cycle de référence thermodynamique pour ces systèmes est *le cycle inverse de Carnot*. Un schéma de système simple est décrit dans le schéma 6. Le processus idéal comprend deux changements d'état isentropique et deux changements d'état isotherme. Compression isentropique de l'étape 1 à l'étape 2, condensation isotherme de l'étape 2 à l'étape 3, expansion isentropique de l'étape 3 à l'étape 4 et évaporation isotherme de l'étape 4 revenant à l'étape 1.

Configuration du système de base pour les systèmes de compression de vapeur



Source : ETuS UG

Le CDP/COP maximal théorique (idéel) utilisant le cycle de Carnot est donné comme suit :

$$COP_{Carnot, \text{ refroidissement}} = \frac{T_0}{T_C - T_0} \text{ à des fins de refroidissement}$$

$$COP_{Carnot, \text{ chauffage}} = \frac{T_C}{T_C - T_0} \text{ 1.1 Pour le chauffage}$$

Où T_0 est la température d'évaporation et T_C , la température de condensation. Les processus techniques appliquant le cycle inverse de Carnot ne peuvent pas générer des CDP/COP plus élevés que ceux décrits ci-dessus. Pour évaluer l'efficacité du système du processus réel, on utilise le rapport entre le $COP_{\text{réel}} / COP_{\text{Carnot}}$. Ce terme est appelé **efficacité Carnot** d'un système ou d'un processus.

Idéalement, les seules variables des efficacités résident dans les niveaux de température. La première leçon à en tirer est qu'on doit essayer de maintenir la différence de température entre la source de chaleur et le dissipateur aussi basse que possible. La température d'évaporation dépend de la température d'application (la température de consigne (recommandée) d'un climatiseur), ce qui signifie que si la température de consigne est trop basse, l'efficacité du système diminue automatiquement. En effet, il influence l'efficacité au niveau thermodynamique le plus basique possible.

Les autres variables comprennent le type de réfrigérant, la conception du système, l'efficacité des composants et les problèmes opérationnels qui accompagnent tous les processus réels.

3.4.2. Évaluation du cycle de réfrigérant

Pour les ingénieurs en réfrigération, il est courant d'étudier le comportement du système en examinant les propriétés du réfrigérant à différents stades et conditions. Cela permet de déterminer l'efficacité théorique ainsi que l'efficacité pratique. Les informations pertinentes telles que la surchauffe et le sous-refroidissement peuvent également être prises en compte. Le diagramme p-h lg est l'outil commun utilisé dans l'industrie RCPC/ RACHP pour décrire le cycle.

Un diagramme lg p-h pour R290, avec un cycle de réfrigération de base, est illustré dans le schéma 20. L'efficacité du processus est calculée comme suit :

$$COP_{\text{refroidissement}} = \frac{h_1 - h_{3,4}}{h_2 - h_1} = \frac{h_1 - h_{3,4}}{w_t}$$

Où h est l'enthalpie spécifique du réfrigérant et w_t est le travail spécifique fourni par le compresseur. L'efficacité peut être estimée car les pressions de travail et les températures sont connues. C'est l'approche de base pour les évaluations pratiques en laboratoire et sur le terrain.

3.5. Conséquences pratiques

3.5.1. Conception, installation et fonctionnement du système

L'application pilote les températures de fonctionnement requises du système, mais normalement il y a encore une certaine marge qui pourrait être envisagée. Les rendements des échangeurs de chaleur (HX) ont un impact majeur sur les températures d'évaporation et de condensation. Le réfrigérant a un impact sur la pression et les températures, les pressions et la température influencent l'efficacité d'autres composants tels que le compresseur. Les récupérations potentielles de chaleur résiduelle doivent être prises en compte.

- **Agent réfrigérant**

Le choix du réfrigérant dépend principalement des températures de fonctionnement. Avec la mise en œuvre des dispositions de l'amendement de Kigali, le nombre des choix possibles diminue. Les alternatives à long terme aux gaz fluorés tels que les hydrocarbures (HC) ont généralement d'excellentes propriétés thermodynamiques qui conduisent à des rendements élevés du système en général. La question de l'inflammabilité doit être examinée attentivement lors de l'utilisation de HC.

- **Sélection des composants**

La sélection et la conception des composants ont des effets significatifs sur l'efficacité du système. L'échangeur de chaleur (HX) influence la température et la pression, mais aussi la taille du compresseur, les stratégies de contrôle et les conditions de fonctionnement du système. Le compresseur a le plus grand impact sur l'énergie d'entrée pour faire fonctionner le système, d'autres composants comme les vannes de détente, les ventilateurs ou les pompes orientent la contrôlabilité et la stabilité du fonctionnement du système.

- **Stratégie de contrôle**

Sans un contrôle approprié, le système ne peut pas fonctionner efficacement même avec les meilleurs composants disponibles en place. Les temps de fonctionnement, la stabilité de fonctionnement, la réponse du système aux changements de charge ou de conditions environnementales (comportement de charge partielle) dépendent des commandes correctes du système.

- **Fabrication et installation**

Une installation correcte des composants et des capteurs, une tuyauterie appropriée, une isolation suffisante, des joints de brasage de haute qualité, une bonne étanchéité du système et une charge précise du produit /système sont des exigences basiques et essentielles pour assurer un fonctionnement efficace.

- **Fonctionnement du système**

Les paramètres de température appropriés (ni trop bas, ni trop élevés), le contrôle de l'occupation, le fonctionnement en stand-by, les demandes de charge de chaleur ou de refroidissement peuvent être influencés par un fonctionnement adéquat et délibéré du système.

- **Révision, entretien et réparation**

Un système régulier soumis à des vérifications professionnelles est essentiel pour économiser de l'énergie tout au long du cycle de vie des unités RCPC/RACHP. Cela comprend le contrôle des paramètres de réfrigération, la vérification des connexions électriques, le réglage du point de consigne par le capteur, le nettoyage des filtres et des HX et les contrôles de fuite. En cas de réparation, des mises à niveau du système doivent être envisagées. Enfin, un autre facteur très important pour un fonctionnement durable est que les utilisateurs et les opérateurs doivent être informés et formés régulièrement sur les facteurs d'efficacité et d'influence.

3.5.2. Efficacité des composants

3.5.2.1. Compresseurs

Le choix du type de compresseur est principalement déterminé par les besoins en capacité. Le rendement du compresseur est principalement décrit par deux valeurs qui sont le rendement isentropique et le rendement volumétrique.

- **Efficacité du compresseur – Vitesse fixe vs vitesse variable**

La demande de refroidissement et de chauffage n'est généralement pas constante. Les compresseurs à vitesse variable (également connus sous le nom de compresseurs onduleurs) permettent un meilleur ajustement de la charge offerte par rapport à la charge demandée et peuvent fournir de meilleures valeurs d'efficacité de charge intégrale ou partielle. De plus, le confort généré est plus élevé car la surchauffe ou le refroidissement peuvent être évités. Le compresseur a une durée de vie plus longue en raison d'un courant de démarrage plus faible et de moins d'opérations marche/arrêt.

- ✓ **Efficacité de l'échangeur de chaleur (HX)**

Le principal critère pour le HX est la capacité de transférer la charge thermique requise Q ou \dot{Q} . L'équation générale de transfert de chaleur est : $\dot{Q} = k * A * \Delta\theta$ Il faut noter que \dot{Q} est la quantité de chaleur transférée (charge thermique) (W ou kW), k est le coefficient de transmission de chaleur (W/m^2K), A est la surface de transfert de chaleur (m^2) et $\Delta\theta$ est la différence de température (moyenne) (K) entre le réfrigérant et l'air ou le fluide qui doit être refroidi ou chauffé.

Des valeurs k élevées en raison de la vitesse élevée du fluide conduisent également à des chutes de pression plus élevées. Le HX sale ou congelé réduit la surface efficace A , ce qui entraînerait une température d'évaporation plus basse, ce qui entraîne à son tour, des pressions d'évaporation plus basses et, au total, des rapports et des différences de pression plus élevés et une efficacité plus faible. Il en va de même pour le HX sale ou encrassé.

Le HX sale ou gelé entraîne une augmentation de la pression côté air, ce qui entraîne à son tour une puissance de ventilateur requise plus élevée. Un nettoyage régulier est nécessaire. Cela s'applique aux évaporateurs et aux condenseurs et comme la glace peut s'accumuler à la surface, elle doit être dégivrée correctement.

La conception du HX influence les tendances au gel ; l'espacement des ailettes et la distribution du réfrigérant ont un fort impact, ainsi que la vitesse de l'air. La réduction de la vitesse du ventilateur lorsque l'évaporateur commence à givrer peut prolonger les périodes entre deux cycles de dégivrage.

Le dégivrage à la demande, en fonction d'un calendrier fixe, devrait être la stratégie de contrôle privilégiée.

Le HX sale et congelé conduit à une plus faible efficacité énergétique



Source : HEAT GmbH

3.5.2.2. Ventilateurs et pompes

La plupart des systèmes de réfrigération sont équipés de pompes. En Europe, ces composants sont soumis aux normes NMPE/MEPS et à la réglementation en matière d'étiquetage : cela conduit à des gains d'efficacité et oblige les fabricants de systèmes RCPC/RACHP à inclure ces composants.

L'utilisation de ventilateurs à commande CE/EC (à commutation électronique) par rapport à CA/AC (courant alternatif régulier) doit toujours être envisagée, et ce, afin d'augmenter l'efficacité globale des stratégies de contrôle qui sont plus sophistiquées. Les pompes à vitesse variable et les pompes à haut rendement peuvent être utilisées pour les mêmes raisons. Outre le ventilateur lui-même, des accessoires tels que des grilles d'air ou des buses spéciales pourraient augmenter l'efficacité ou influencer positivement la tendance à l'accumulation de glace au niveau du HX.

3.5.2.3. Contrôles du système

Le mécanisme de contrôle des unités RCPC/RACHP a une forte influence sur l'efficacité du système. L'offre doit être adaptée à la demande en veillant à ce que les températures ne deviennent pas trop froides ou chaudes, ce qui serait un gaspillage d'énergie et une diminution des niveaux de confort dans le cas des applications de confort.

La sélection de composants (par exemple des vannes de détente électroniques) au lieu de TEV (vanne de détente thermostatique) ou même de tubes capillaires, peut affecter l'utilisation optimisée de la surface HX ou augmenter le débit massique à travers le compresseur à mesure que la surchauffe est réduite.

La bonne installation des composants est seconde en importance pour l'efficacité énergétique, après le choix des bonnes pièces. Les capteurs qui sont placés à la mauvaise position ou qui ont une mauvaise connexion au système peuvent fournir de mauvaises valeurs, entraînant de mauvaises réponses du système et même des pannes ou des dommages. Une bonne surveillance du comportement du système peut être utilisée pour la maintenance préventive ou prédictive, par exemple en détectant la pression de condensation. Au fur et à mesure que le HX se salit, la pression du système augmente. Lorsqu'une pression accrue est détectée, le système de contrôle peut alerter l'utilisateur et suggérer des opérations d'entretien.

3.6. Évaluation sur terrain de l'efficacité énergétique et de la consommation d'énergie

Après qu'une unité RCPC/RACHP est mise en service, plusieurs raisons justifient l'évaluation sur le terrain de l'efficacité et de la consommation d'énergie. L'approche la plus commune consiste à vérifier si les données fournies par le fabricant sont exactes. Cela permet notamment de relever les données pertinentes pour l'environnement- qui sont d'intérêt général-, mais aussi de confirmer les économies, en particulier si un remboursement des investissements est envisagé.

Une enquête sur l'efficacité et / ou la consommation d'énergie peut également indiquer si le système fonctionne correctement ou s'il y a encore lieu de l'améliorer. L'évaluation sur le terrain doit toujours être envisagée avec soin en tenant compte des conditions de travail, notamment pour les applications avec des conditions ambiantes ou de travail fluctuant comme lorsqu'on utilise le CA ou bien pour les pompes à chaleur. Les données fournies par les fabricants sont générées normalement dans des conditions de laboratoire. Les évaluations sur terrain doivent permettre d'établir si les données générées dans les conditions réelles de fonctionnement leur sont identiques.

L'évaluation de l'efficacité nécessite la mesure des extrants et des intrants, ce qui n'est pas toujours faisable. La mesure de la consommation d'énergie (électrique) permet d'avoir une idée exacte sur l'efficacité, car les conditions lors des mesures sont prises en compte. La mesure de la consommation électrique d'un courant alternatif avant et après une mise à niveau du système (changement de produits, contrôles plus intelligents, maintenance appropriée, etc.) dans des conditions comparables (température et humidité extérieures, point de consigne du système) est susceptible d'établir la preuve que les modifications ont - ou n'ont pas - atteint l'objectif recherché.

3.6.1. Vérification du circuit

Pour une évaluation vraiment révélatrice du fonctionnement optimal d'un système RCPC/RACHP, il est recommandé de mesurer les conditions du système. Pour toute évaluation précise et fiable, il est obligatoire de le faire.

Les principales valeurs à vérifier sont :

✓ **Circuit de réfrigération**

- Pression (de condensation) élevée p_c
 - avec la pression, on peut calculer la température de condensation t_c
- Pression basse (évaporation) p_0
 - avec la pression, on peut calculer la température d'évaporation t_0
- Sous-refroidissement t_{sub}
- Surchauffe t_{oh}

Une comparaison avec les valeurs recommandées, fournies par le fabricant, démontre le bon fonctionnement ou bien la nécessité de reconfigurer le système ou bien encore un besoin d'ajustement. En règle générale, si aucune donnée du fabricant n'est disponible, le sous-refroidissement et la surchauffe devraient être d'environ 5 K.

✓ **Le dissipateur thermique/ de la source de chaleur**

Pour calculer la puissance, il est nécessaire de vérifier soit, le dissipateur thermique, soit la source de chaleur. Si l'un d'eux est refroidi par eau, la mesure est plus facile. La mesure du débit d'air en général est très imprécise lors des mesures sur le terrain.

- Refroidissement à l'eau : (condenseur/évaporateur)
 - Entrée d'eau t_{w1}
 - Sortie d'eau t_{w2}
 - Débit de volume \dot{V}

- Refroidissement par air
 - Entrée d'air t_{A1}
 - Entrée d'air t_{A2}
 - Débit volumique \dot{V} (via la vitesse de l'air ou les révolutions du ventilateur)

✓ **Apport d'énergie électrique (compresseur, ventilateurs, pompes)**

Pour le calcul d'efficacité et la détermination de la consommation d'énergie, l'apport (input) de puissance électrique doit être mesuré. Il est important d'y inclure l'alimentation complète, y compris les commandes, les ventilateurs et les pompes.

3.6.2. Méthodes de mesure

Méthode interne : La méthode interne fait référence à la mesure des conditions du réfrigérant et au calcul des enthalpies. Il est important d'intégrer les données du compresseur et, si possible, la mesure de la consommation d'énergie électrique, sinon il est seulement possible de générer des valeurs spécifiques, mais pas de chiffres absolus.

Méthode externe : Si seules l'extrait et l'intrant du système (le système est traité comme une boîte noire) sont prises en compte, la mesure de la consommation d'énergie électrique révèle seulement l'input. Les mesures du dissipateur thermique et de la source de chaleur, qui se font en mesurant les températures d'entrée et de sortie et le débit, fournissent les données de sortie. La capacité de chauffage ou de refroidissement est calculée avec les températures, le débit massique et la capacité thermique (isobare) du fluide (par exemple, l'eau).

3.6.3. Équipement de mesure

3.6.3.1. Énergie électrique

La mesure de l'alimentation électrique est essentielle pour mesurer l'efficacité énergétique ainsi que pour étudier la consommation d'énergie des appareils installés. Elle nécessite la mesure de la tension et du courant. Certaines applications exigent des mesures « sans étincelles » au cas où les réfrigérants inflammables sont utilisés. Dans ces cas, il peut ne pas être possible d'utiliser des pinces, car elles pourraient constituer une source d'inflammation lorsqu'elles ne sont pas correctement connectées.

Il serait possible d'effectuer les mesures de courant et le calcul de la puissance en déterminant des valeurs de réseau pour la tension. Le risque d'instabilité et de fluctuation de tension doit être pris en compte.



Source : HEAT GmbH

3.6.3.2. Température

Des mesures invasives sont possibles si des capteurs sont installés dans le flux de fluide avant que le réfrigérant ne soit chargé et que le système ne soit scellé. C'est le cas pour les capteurs intégrés en usine, par exemple pour le système de contrôle ou lorsqu'une unité est spécialement préparée, pour la mesure sur le terrain, en usine.

Les mesures non invasives comprennent le placement du capteur sur la surface du tube. Il est important d'assurer un bon contact avec la surface et de protéger le capteur contre les influences perturbatrices (source de chaleur, flux d'air, rayonnement thermique, etc.). Les capteurs typiques utilisés sont les thermomètres à résistance (Pt100), les semi-conducteurs et les thermocouples.

3.6.3.3. Pression

Seules les mesures directes ou invasives conviennent. Soit en utilisant des ports de service au niveau de l'unité ou des capteurs de pression intégrés. Les capteurs requis sont des transmetteurs de pression. Les jauges mécaniques communes ne conviennent pas.

3.6.3.4. Flux

Il existe différentes méthodes et différents processus de mesure. Si un échangeur de chaleur est refroidi à l'eau, il est alors possible d'inclure des capteurs de débit volumique, tels que des compteurs de turbine / rouet. Dans la plupart des cas, cela ne serait pas possible. Il est alors nécessaire d'opter pour une méthode non-invasive. Pour les mesures de champ non-invasives, des mesures de débit ultrasoniques sont possibles.

Mesure du débit par ultrasons



Source : Contrôles Systec

IV. CORRIGÉ DU DIAGNOSTIC

1. On y utilise souvent des lettres, des chiffres ou encore des étoiles pour indiquer la classe énergétique du produit. Dans cet esprit, les meilleurs produits par classe sont étiquetés en classe A, ou 1, ou ont 5 étoiles. Les produits moins performants seront étiquetés en B, C, D ou 2,3, 4, ou ont 4 étoiles, 3 étoiles, etc. Les valeurs pour chaque classe varient d'un pays à l'autre, car les paramètres utilisés pour la comparaison sont les suivants : les produits RCPC/RACHP sont évalués en utilisant un coefficient de performance (CDP/COP) et un coefficient saisonnier de performance (CSDP/SCOP) dans différents pays. Un codage couleur supplémentaire qui suit celui des feux de circulation, le vert est bon, le rouge est mauvais et le jaune est entre les deux, est censé simplifier la lecture des étiquettes.
2. Les mesures d'incitation, le suivi/tests par des tiers, la vérification /surveillance du marché et l'application des dispositions.
3. Le choix du réfrigérant dépend principalement des températures de fonctionnement. Avec la mise en œuvre des dispositions de l'amendement de Kigali, le nombre des choix possibles diminue. Les alternatives à long terme aux gaz fluorés tels que les hydrocarbures (HC) ont généralement d'excellentes propriétés thermodynamiques qui conduisent à des rendements élevés du système en général. La question de l'inflammabilité doit être examinée attentivement lors de l'utilisation de HC.
4. Le circuit de réfrigération, le dissipateur thermique/ de la source de chaleur et l'apport d'énergie électrique (compresseur, ventilateurs, pompes).
5. La mesure de l'alimentation électrique est essentielle pour mesurer l'efficacité énergétique ainsi que pour étudier la consommation d'énergie des appareils installés. Elle nécessite la mesure de la tension et du courant. Certaines applications exigent des mesures « sans étincelles » au cas où les réfrigérants inflammables sont utilisés. Dans ces cas, il peut ne pas être possible d'utiliser des pinces, car elles pourraient constituer une source d'inflammation lorsqu'elles ne sont pas correctement connectées.

V. ACTIVITÉS

Fais des recherches complémentaires pour compléter les informations reçues et reviens partager avec tes camarades.

Ressources bibliographiques

1. Collin Bootsveld, Fouzi Tabet, Dennis Frieske, Rolf Hühren (HEAT GmbH) revu par Antoine Azar (2023), Guide d'introduction aux réfrigérants naturels ;
2. Edgar Timm, HEAT GMBH, Module K : L'efficacité énergétique dans la réfrigération et la climatisation ;
3. PNUE Là-haut dans le ciel, éducation à la couche d'ozone pour le collège : guide de l'enseignant ;
4. PNUE (2006), Pack Éducatif ActionOzone, guide pour les enseignants de l'école primaire ;
5. [E-learning | Real Alternatives](#) ;
6. <https://www.realalternatives.eu/plateforme-d-apprentissage> ;
7. <https://publikationen.giz.de/esearcha/index.tt.html?lang=en> ;
8. <https://www.heat-international.de/publications/>