Utilisation des fluides frigorigènes

Principes pour l'acquisition du permis

Avant-propos

Au début de la technique du froid, il a fallu tout d'abord trouver des « récipients de transport » pour la marchandise à transporter « la chaleur ». Car la mission de chaque installation frigorifique ou de chaque pompe à chaleur est essentiellement le transport de la chaleur. Il est clair que la qualité du transport dépend dans une large mesure de « l'emballage » de la marchandise à transporter. Dans un système de réfrigération, cette fonction est assurée par le fluide frigorigène. En réalité, il a d'abord fallu développer des matières adaptées pour répondre à toutes les exigences.

Permis pour l'utilisation de fluides frigorigènes (Permis de manipuler les fluides frigorigènes - PMFF) :

Le cours dispense les connaissances sur les interactions entre l'environnement et la technique du froid du point de vue des fluides frigorigènes utilisés.

Toute personne travaillant en autonomie avec ces substances doit détenir un permis.

Chacun doit être motivé à réduire les émissions de fluides frigorigènes à un minimum inévitable.

- **Exigences envers les pressions de travail**

Une très haute pression de condensation représente un risque pour la sécurité, de plus le coût du matériel augmente considérablement. Une pression d'évaporation trop faible fait augmenter les dimensions des conduites et des composants, si l'installation fonctionne sous vide la surveillance sera plus complexe et l'étanchéité plus difficile à assurer.

- **Exigences envers la stabilité chimique**

Bien que par définition seul les fluides frigorigènes et l'huile frigorifique doivent se trouver dans un système frigorifique, une stabilité suffisante de ces matières d'exploitation doit être assurée pour que les réactions chimiques entre elles ou avec les matières utilisées dans le système soient exclues. Idéalement, les substances d'exploitation doivent atteindre la durée de vie de l'installation globale.

- **Exigences envers l'énergétique**

Dès le début de la technique du froid, les planificateurs ont visé un chiffre de performance élevé à l'aide de fluides frigorigènes adaptés. Pour réaliser ainsi un transport de chaleur aussi important que possible avec une puissance absorbée du compresseur aussi faible que possible.

- **Exigences envers le comportement environnemental**

En regardant en arrière, on pourrait dire que les exigences envers la stabilité chimique dans le développement des fluides frigorigènes synthétiques a profité d'une trop grande priorité. En effet, c'est précisément pourquoi les aspects écologiques ont dû être intégrés plus fortement dans les réflexions à partir de 1990. La stabilité des fluides frigorigènes CFC leur permet de séjourner longtemps dans l'atmosphère après une émission. Les problèmes qu'ils déclenchent sont d'une part un ***effet de serre*** important et d'autre part un amincissement de la ***couche d'ozone***, vitale pour notre survie, provoqué par la teneur en chlore transportée jusque dans la stratosphère par les molécules des fluides frigorigènes.

Les exigences internationales réclament une réduction de ces effets secondaires par le développement de fluides frigorigènes alternatifs sans teneur en chlore, et avec un potentiel d'effet de serre réduit, ainsi qu'une manipulation compétente et en conscience des responsabilités de ces substances. Ce dernier point est atteint par la sensibilisation et la formation des personnes concernées. En Suisse, le ***permis pour l'utilisation de fluides frigorigènes*** est la réponse à cette exigence.

Mentions légales

Manipulation des fluides frigorigènes :	Principes pour l'acquisition du permis Version juillet 2021-63 basée sur l'ORRChim
Page d'accueil :	www.svk.ch/fachbewilligung www.asf-froid.ch
Contact :	fachbewilligung@svk.ch / info@asf-froid.ch
Rédacteur : Adaptation version française :	Patrick Goetz / SVK Nils Hutin / ASF Section Romande
Donneur d'ordres :	Office fédéral de l'environnement OFEV
Éditeur / source :	Association Suisse du Froid (ASF) Eichistrasse 1 6055 Alpnach Dorf
Prix unitaire :	25.- CHF. Port, emballage et TVA en sus

Notes sur le matériel pédagogique:

Tous droits réservés, la reprise d'extraits de ce matériel pédagogique implique l'accord préalable écrit de l'éditeur.

La forme masculine est employée dans tout le matériel pédagogique. Ceci apporte une meilleure lisibilité et ne doit en aucun cas discriminer les techniciennes (malheureusement encore trop peu nombreuses dans les métiers techniques).

Pour une lecture rapide, les mots-clés dans le texte sont conservés en ***italiques et en vert***.

Les déclarations clés et fondamentales se trouvent dans des encadrés jaunes de ce type.

Permis sur Internet :

Ce matériel pédagogique constitue une aide pour obtenir le permis pour l'utilisation des fluides frigorigènes. Il est possible d'obtenir des informations supplémentaires ou actualisées sur internet :

- www.fachbewilligung.ch
- www.asf-froid.ch

Les instructions de ce type sont repérées dans le matériel pédagogique en bas de page par une boule orange après le texte.

Termes techniques :

Si un mot est repéré avec une *, vous trouverez un commentaire à ce sujet au chapitre 11 « Termes techniques »

Pour déclarer les installations frigorifiques :

Les installations frigorifiques et les pompes à chaleur contenant plus de 3 kg de fluide frigorigène doivent être déclarées ici :

- www.smkw.ch

Guide :

Il est possible de télécharger un guide d'aide à la déclaration des installations soumises à déclaration au bureau de déclaration (www.meldestelle-kaelte.ch).

OFEV :

L'Office fédéral pour l'environnement peut être contacté à l'adresse Internet suivante :

- www.bafu.admin.ch

Sommaire

1	**Principes de l'écologie**	**5**
1.1	Les espaces de vie	6
1.2	L'atmosphère	7
1.3	Composition de l'atmosphère	8
1.4	L'ozone dans la troposphère	9
1.5	La couche d'ozone	10
1.6	Appauvrissement de la couche d'ozone dans la stratosphère	11
1.7	L'effet de serre	12
1.8	Pollution des rivières	13
1.9	Propriétés et compatibilité environnementale	14
1.10	Émission et scénario	15
1.11	Termes concernant la couche d'ozone et l'effet de serre	16
2	**Toxicologie**	**17**
2.1	Inhalation	17
2.2	Pénétration cutanée	18
2.3	Ingestion	18
2.4	Toxicité	19
2.5	Évaluation des risques et prévention	21
3	**Législation**	**22**
3.1	Loi sur les produits chimiques	22
3.2	Loi sur la protection de l'environnement	23
3.3	Loi sur la protection des eaux	23
3.4	Loi sur le travail	23
3.5	Loi sur l'assurance-accidents	24
3.6	Ordonnance sur les produits chimiques	24
3.7	Ordonnance sur la réduction des risques liés aux produits chimiques	24
3.8	Permis et obligation de recours à des spécialistes de la sécurité du travail	25
3.9	Marquage	26
3.10	Importation et utilisation de produits chimiques	27
3.11	Autorités compétentes	27
4	**Protection de la santé**	**28**
4.1	Premiers secours	28
4.2	Plan d'urgence	28
4.3	Travailler seul	28
4.4	Jeunes	28
4.5	Nouveau au poste de travail	29
4.6	Postes de travail non sédentaires	29
4.7	Moyens de travail, machines et outils	29
4.8	Travail avec des fluides frigorigènes et des produits chimiques	30
5	**Fluides frigorigènes**	**31**
5.1	Fabrication de fluides frigorigènes synthétiques	32
5.2	Désignation des fluides frigorigènes	33
5.3	Mélanges de fluides frigorigènes	35
5.4	Fluides frigorigènes inorganiques	36
5.5	Tableau des principaux fluides frigorigènes	37
6	**Huile frigorifique**	**38**
6.1	Choix de l'huile frigorifique	38
7	**Recyclage et élimination**	**40**
7.1	Élimination par destruction	40
7.2	Recyclage primaire	40
7.2	Recyclage secondaire	40
8	**Technique du froid**	**41**
8.1	Principes techniques de la réfrigération	42
8.2	Installation frigorifique et pompe à chaleur	43
8.3	Les principaux composants	44
8.4	La climatisation dans les véhicules	46
9	**Construction d'une installation**	**47**
9.1	Montage des conduites et guidage des conduites	48
9.2	Prévention des fuites	49
9.3	Le retour de l'huile	50
10	**Maintenance et entretien**	**51**
10.1	Points de contrôle sur le système	52
10.2	Recherche de pannes et diagnostic	53
11	**Termes techniques**	**54**

1 Principes de l'écologie

L'écologie, issue de la biologie (apprentissage de la vie), traite de l'équilibre de la nature. Elle tente d'appréhender la nature comme un tout et décrit les interactions (symbioses) entre l'être vivant et son environnement inhabité. Le terme écosystème se compose au sens le plus large des deux mots « maison » et « relié », et signifie la « maison reliée ».

Mais pourquoi la technique en général et la technique du froid en particulier devrait s'occuper de sujets de l'écologie ?

Pour simplifier on peut dire que le moyen d'exploitation « fluide frigorigène » et ses effets après une émission* réclament de meilleures connaissances de techniciens aussi bien sur l'écologie que sur les substances utilisées comme fluides frigorigènes.

Les fluides frigorigènes synthétiques possèdent souvent un potentiel fortement accru d'effet de serre.

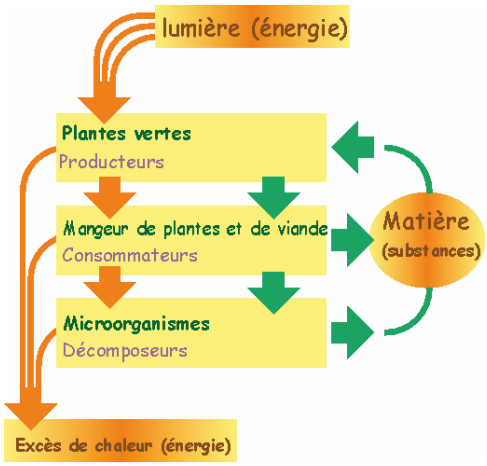
Les fluides frigorigènes contenant du chlore dans les anciennes installations dégradent la couche d'ozone par une émission.

Un écosystème peut être grand ou petit. Ainsi un étang ou un océan, un jardin potager ou un paysage de champs en Russie ou en Amérique peuvent être considérés comme des écosystèmes. Aucun de ces systèmes n'est clairement délimité et ils chevauchent les écosystèmes voisins. Non seulement les zones naturelles, comme les étangs, les lacs, les fleuves, les marais, les bois, les prairies naturelles, etc. sont des écosystèmes, mais les systèmes artificiels comme les champs de céréales et les zones d'habitation également. Ainsi il est possible d'appréhender toute la planète Terre comme un écosystème.

Écosystème :

Environnement inhabité (espace de vie) plus la communauté des êtres vivants

L'examen plus approfondi révèle de nombreuses influences et interactions réciproques entre les plantes et les animaux. L'environnement, par ex. le sol, l'eau et l'air sont également en lien avec les êtres vivants. C'est pourquoi les biologistes décrivent la totalité par écosystème et différencient fondamentalement l'environnement inhabité, l'***espace de vie*** et la ***communauté des êtres vivants***. Ainsi, un écosystème s'entend comme la somme des êtres vivants au sein de leurs espaces de vie. La condition principale pour la ***vie*** et pour le ***métabolisme*** nécessaire ici est ***l'énergie***, émise sous forme de lumière par le soleil.



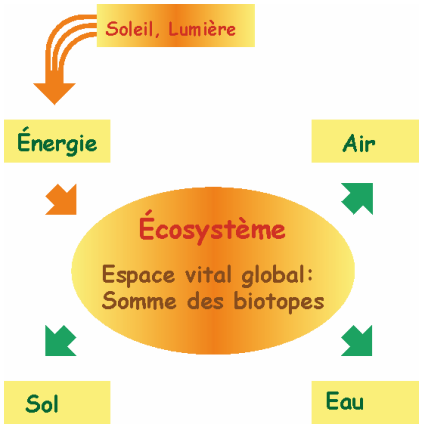
Les plantes par exemple utilisent dans la ***photosynthèse*** l'énergie de la lumière pour développer leur propre substance corporelle. Celle-ci est constituée à l'aide de la teneur en CO_2 de l'atmosphère : le carbone est absorbé tandis que l'oxygène est rejeté dans l'atmosphère. De plus, les plantes ont besoin d'engrais comme substances nutritives, qui sont dissous dans l'eau sous forme de nitrate* entre autres.

Les hommes et ***les animaux*** ont besoin à leur tour de l'oxygène de l'atmosphère, pour entretenir le processus de combustion du métabolisme. Cette énergie permet le travail des muscles, du cerveau et des cellules. Le CO_2 produit comme déchet est rejeté dans l'atmosphère, ce qui referme le circuit entre les plantes d'une part et les hommes et les animaux d'autre part.

Un corps en équilibre énergétique est mort.

1.1 Les espaces de vie

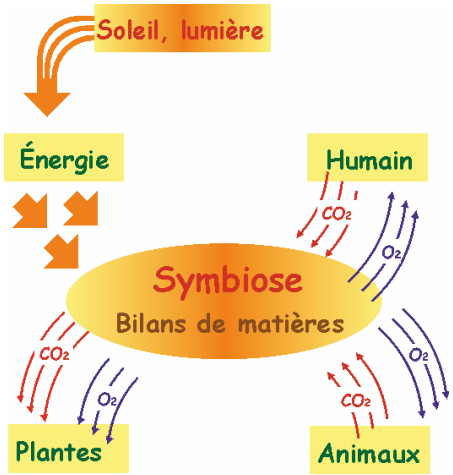
La plupart du temps, on ne voit que les différents éléments d'un écosystème. Les influences et circuits réciproques doivent être étudiés, mais souvent ils ne peuvent être rendus visibles que indirectement. Il ne fait pas de doute que le changement climatique influencera les communautés dans les espaces de vie. Il est vrai que les modifications dans les écosystèmes ont souvent plusieurs causes, cependant l'augmentation du dioxyde de carbone, des autres gaz à effet de serre présents dans l'atmosphère et le réchauffement global renforcé qui en résulte jouent un rôle décisif. On ignore à quel point les communautés de vie peuvent en être perturbées dans leur développement.



Les écosystèmes sont généralement multiples dans leur structure. Ceci s'applique à plus forte raison à toute la partie de la Terre habitée par des êtres vivants. Il est donc utile d'examiner en détail les parties d'un écosystème, car il est souvent impossible d'appréhender la globalité en une seule fois :

L'environnement inhabité englobe d'une part les ***espaces de vie*** fondamentaux comme ***l'air***, ***l'eau*** et ***le sol.***
D'autre part, ce système est complété par le fournisseur d'énergie, le soleil. Toute la vie se déroule dans ces espaces de vie, et les matières sont également échangées entre eux.

Selon l'organisme et le niveau de la spécialisation, le lieu de résidence d'un individu se limite à l'un des ces espaces de vie. Ainsi l'organisme humain est conçu pour absorber l'oxygène de l'air à l'aide de nos poumons, alors que les poissons confient la même tâche à leurs branchies. C'est l'une des raisons pour laquelle notre espace de vie est l'air et celui des poissons l'eau. Les plantes par contre absorbent le ***dioxyde de carbone**** CO_2 de l'air, stockent le ***carbone**** C et ses composés sous forme de ***biomasse*** et émettent l'***oxygène***. Ce « gaz d'échappement » des plantes est élémentaire pour l'homme et l'animal. En revanche, leurs gaz d'échappement, le dioxyde de carbone CO_2, est nécessaire à la plante pour la photosynthèse. C'est ainsi que le circuit est bouclé.



On appelle ce principe, selon lequel le déchet d'un processus devient la matière première du suivant, la ***symbiose****. Suite à l'industrialisation et à la pollution de l'environnement qui en découle, on essaie de plus en plus de copier ce principe. On parle ici d'écosystème industrialisé.

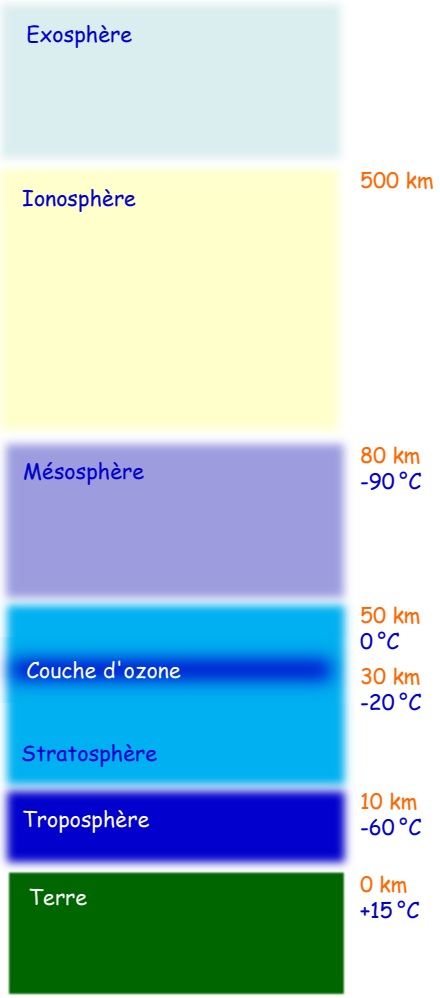
Étant donné que le carbone joue un rôle important dans le circuit des matières des organismes et qu'il est également utilisé comme « porteur d'informations » des gênes, la chimie globale du carbone est appelée ***chimie organique****. Ainsi tous les fluides frigorigènes contenant du carbone sont des produits de la chimie organique, qu'ils soient d'origine naturelle ou synthétique.

Le dioxyde de carbone CO_2 constitue une exception à cette règle. En tant que fluide frigorigène avec la désignation ***R744***, cette molécule est le produit d'une combustion propre. Et les produits de combustion ne sont plus considérés comme organiques.

1.2 L'atmosphère

Étant donné que les fluides frigorigènes restent dans l'atmosphère après une émission*, cet espace de vie doit être examiné de plus près. ***L'effet de serre*** aussi bien que ***la couche d'ozone*** agissent dans l'atmosphère. Alors que l'effet de serre est surtout actif dans les couches inférieures de l'atmosphère (troposphère), la couche d'ozone se trouve à env. 30 km au-dessus du sol dans la stratosphère.

L'écosystème avec ses formes de vie est composé des 3 espaces de vie ***eau***, ***terre*** et ***air***. Il faut être particulièrement attentif à l'air, parce que presque tous les fluides frigorigènes s'y retrouvent après une émission. La colonne d'air totale est appelée atmosphère et elle s'étend jusqu'à une hauteur de 500 km. C'est pourquoi elle a été divisée en 5 couches fermées et une couche ouverte vers le haut, car l'atmosphère ne débouche pas sans transition dans l'univers. On parle également des ***étages de l'atmosphère***.



L'étage inférieur s'étend sur une hauteur de 8 km env. aux pôles et de 16 km env. à l'équateur. Les températures en chute à mesure que l'on monte sont typiques du « rez-de-chaussée » désigné par ***troposphère***. Cependant dans la couche suivante, la ***stratosphère***, l'air se réchauffe à nouveau. On y trouve la couche d'ozone, l'enveloppe de protection qui transforme par un processus chimique le rayonnement UV du soleil qui détruit la vie en chaleur. Ainsi la température augmente dans la stratosphère. C'est seulement dans la ***mésosphère***, qui s'étend de 50 à 80 km d'altitude, que la température redescend, parce que le filtre chauffant de l'ozone manque. Dans l'***ionosphère*** suivante, la température augmente fortement. Ceci suite à l'absorption de l'énergie du rayonnement par les particules de l'atmosphère. Malgré cela, la chaleur est à peine perceptible, parce la densité de l'air est déjà des millions de fois plus faible qu'au niveau du sol et il y a peu d'échanges d'énergie (collisions) entre les particules. La température de 300 à 500 °C apparaît simplement dans le rapide mouvement des particules de gaz. L'***exosphère*** n'est pas limitée par le haut et termine l'atmosphère par rapport au vide d'air de l'univers.

Jusqu'à une altitude de 120 km environ, les gaz atmosphériques sont dans un rapport de mélange constant les uns par rapport aux autres. Aux altitudes supérieures, il se produit une démixtion des gaz. Ainsi les gaz lourds comme par ex. l'azote et l'oxygène se concentrent à faible hauteur, tandis que les gaz plus légers comme par ex. l'hélium et l'hydrogène montent à de hautes altitudes. En conséquence, le rapport de mélange se déplace peu à peu avec une hauteur croissante au profit des gaz plus légers. La couche jusque 120 km est appelée homosphère en raison de sa composition homogène et aussi par turbosphère en raison des turbulences qui y dominent, alors que la couche au-dessus de 120 km est appelée hétérosphère ou diffusosphère.

Les deux tiers de la masse de l'atmosphère se trouvent dans la couche d'air la plus basse. En raison de la densité de l'air trop faible, l'homme ne peut vivre que dans la troposphère. C'est également là que se produisent tous les phénomènes météorologiques. Cette enveloppe sensible doit cependant avaler des millions de tonnes de produits toxiques.

1.3 Composition de l'atmosphère

Sans l'atmosphère qui enveloppe notre planète, il n'y aurait pas de vie sur la Terre. Le mélange de gaz contrôle l'équilibre thermique et prévient les variations extrêmes de température. Les chapitres importants de ce manuel pédagogique ***« Effet de serre »*** et ***« Appauvrissement de la couche d'ozone »*** décrivent les processus au sein de l'atmosphère. C'est pourquoi ceux-ci doivent être examinés de plus près.

L'atmosphère est composée d'air, qui est lui-même un mélange de gaz. De tous les espaces de vie, l'air est notre plus grande entreprise de transport : les substances volatiles qui y sont éliminées se répartissent de façon globale. Grâce à la forte dilution des gaz d'émissions qui en résulte, la concentration se réduit à un minimum non critique. Toutefois l'enveloppe d'air ne peut pas être agrandie si sa « capacité de dilution » s'avérait trop faible. Du point de vue précisément des substances toxiques et des gaz stables dans l'air, le mot d'ordre est de réduire les émissions à un minimum inévitable.

Enveloppe d'air de la Terre : l'atmosphère (non à l'échelle)

Ceci s'applique aussi aux substances sans effet toxique direct, étant donné que chaque gaz provoque pendant son séjour dans l'atmosphère un effet de serre plus ou moins important. De plus, tous les effets des émissions ne peuvent pas être expliqués en laboratoire, étant donné qu'un environnement artificiel se comporte différemment de la nature.

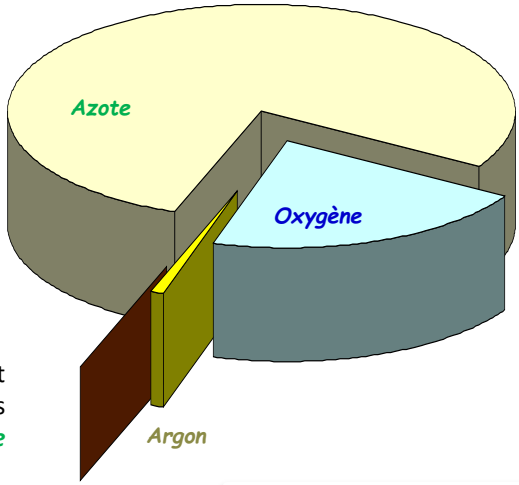
Les émissions de substances stables dans l'air doivent être réduites à un minimum inévitable.

L'atmosphère se compose principalement des trois gaz suivants :

- 78,08 % ***Azote***
- 20,95 % ***Oxygène***
- 0,93 % ***Argon***

Il existe une multitude d'autres gaz qui restent également dans l'atmosphère. Cependant étant donné que la somme totale de ces gaz représente seulement une petite partie, ils sont désignés en globalité :

- 0,04 % ***Gaz traces***



Le dioxyde de carbone, qui apparaît (directement ou indirectement) dans tous les processus industriels constitue la plus grande part. ***Le protoxyde d'azote*** est principalement libéré par l'agriculture dans les engrais.

Gaz traces :

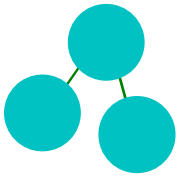
- Dioxyde de carbone
- Protoxyde d'azote
- Ozone
- Méthane
- . . .
- Fluide frigorigène

L'ozone dans la troposphère sera traité séparément au chapitre 1.4. Les hydrocarbures inflammables (HC : méthane, éthane, propane, butane, isobutane, pentane, etc.) sont produits essentiellement par l'affinage de produits alimentaires sur le chemin de la plante vers la viande. Ainsi les grands troupeaux de bœufs contribuent pour une part non négligeable à l'effet de serre global. Les ***fluides frigorigènes*** rejetés dans l'air par les émissions* appartiennent également au groupe des gaz traces.

Grâce aux processus automatisés, la part de tels gaz en traces augmente fortement depuis le début de l'industrialisation. Pour limiter les effets négatifs de ces émissions, de grands efforts devront être fournis à l'avenir pour éviter des incidences plus larges.

1.4 L'ozone dans la troposphère

L'ozone proche du sol n'est pas émis directement comme les autres substances toxiques pour l'air, il se forme dans l'air à partir de « précurseurs », les oxydes d'azote, les gaz organiques et les vapeurs sous l'effet de la lumière du soleil. Les fortes températures accélèrent la réaction. ***L'ozone est composé de trois atomes d'oxygène***. L'oxygène représente env. 21% de la composition de notre atmosphère. On rencontre rarement l'oxygène à l'état élémentaire dans la nature. En règle générale il apparaît sous la forme d'une molécule d'oxygène O_2. Sous cette forme, il est également indispensable à notre survie. Dans certaines conditions, la molécule O_3 (ozone) peut aussi être construite.



Molécule d'ozone: O_3

Étant donné que dans la troposphère, la lumière du soleil n'a plus l'énergie nécessaire pour fabriquer de l'ozone directement à partir de l'oxygène, les impuretés de l'air doivent fournir de l'aide avec leur appauvrissement photochimique. L'oxyde d'azote et les composés organiques volatiles de la circulation, de l'industrie et des foyers privés jouent un rôle particulier en tant que précurseurs d'ozone.

Formation de l'ozone dans la troposphère:

- température élevée de l'air
- fort rayonnement solaire
- longue durée d'ensoleillement
- faible humidité de l'air
- faible vitesse du vent

Le ***smog**** qui se forme en été surtout dans les grandes villes est composé essentiellement d'ozone. Les fortes concentrations d'ozone dans la troposphère, le « rez-de-chaussée » de l'atmosphère, ne peuvent pas compenser l'appauvrissement de la ceinture de protection (couche d'ozone) dans la stratosphère. Ce qui nous protège à 30 km d'altitude des rayons solaires potentiellement mortels, agit au sol comme une toxine cellulaire agressive.

L'ozone est le polluant atmosphérique qui produit les effets les plus néfastes sur la végétation. Il agit comme une toxine cellulaire et diminue la performance de la photosynthèse, et donc la croissance des végétaux.

L'ozone dans la troposphère agit comme une toxine cellulaire et encourage en plus l'effet de serre.

Conséquences sur la végétation :

Avec les charges en ozone actuelles, des dommages avérés apparaissent sur les cultures agricoles. Les pertes de rendement vont de 5 à 15 % selon la culture, la région et l'année. L'industrie forestière est également touchée. En combinaison avec d'autres substances polluantes, l'ozone est un facteur de stress pour les arbres et co-responsable des dégâts forestiers. L'ozone affaiblit les arbres et ralentit la croissance du bois, ce qui peut influencer négativement la stabilité des forêts protectrices.

Effet de l'ozone sur les arbres

La forte charge estivale en ozone cause périodiquement des dégâts visibles principalement aux feuilles des arbres feuillus, aux arbustes et aux cultures.

Effets sur l'homme et l'animal :

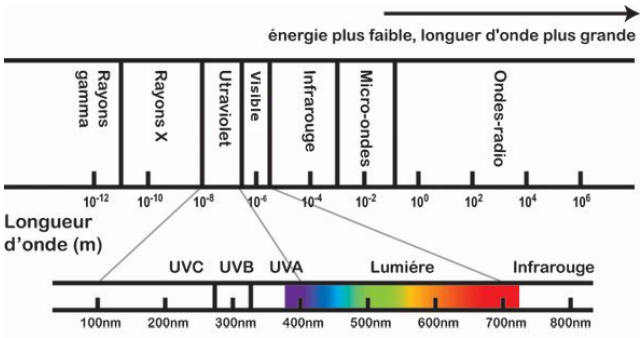
L'organisme de l'homme et de l'animal est également agressé. L'ozone attaque les muqueuses et peut provoquer des maux de têtes, des difficultés respiratoires, des irritations des yeux, une toux, de l'asthme ou des douleurs dans la poitrine. De plus le gaz toxique diminue les performances et les défenses naturelles contre les infections. Les admissions à l'hôpital et la mortalité augmentent avec la concentration d'ozone en hausse.

Une présence renforcée d'ozone dans l'atmosphère n'est pas incompatible avec sa dégradation en pourcentage, étant donné que l'ozone est formé à partir d'un gaz déjà présent dans l'atmosphère. Ainsi la teneur en oxygène n'est pas modifiée.

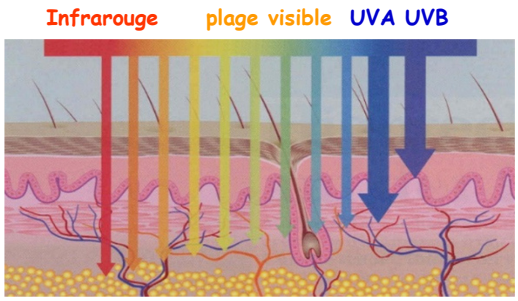
1.5 La couche d'ozone

Le ***spectre du rayonnement*** du soleil n'englobe pas uniquement la plage visible pour l'œil humain. Au-dessus de la lumière visible se trouve la zone ***ultraviolette*** (à ondes courtes), sous la zone ***infrarouge*** (à longues ondes).

Alors que le rayonnement thermique infrarouge est inoffensif pour notre peau, celle-ci peut être lésée par le rayonnement UV.

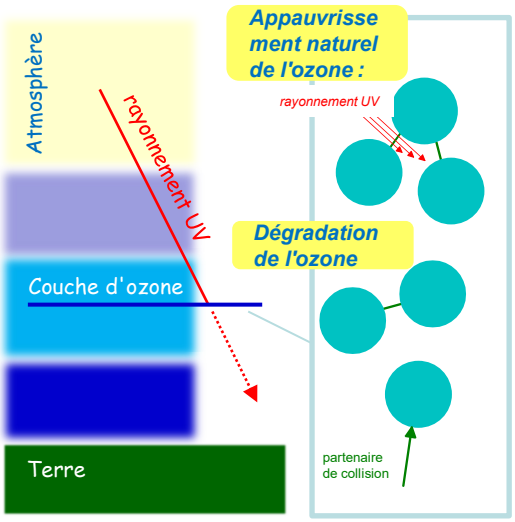


Le rayonnement UV fabrique de la vitamine D dans notre corps, mais il est également responsable du coup de soleil. C'est pourquoi il faut protéger la peau avant le bain de soleil. Chaque bain de soleil augmente le risque de cancer de la peau.



Les rayons UVA pénètrent encore plus profondément dans les tissus. Ils brunissent également la peau, mais détruisent le ***tissu conjonctif**** et produisent des rides. Il est prouvé que ces rayons provoquent aussi le cancer de la peau.

Dans une atmosphère saine, la majeure partie du rayonnement UV est absorbée par la ***couche d'ozone*** située à 30 km d'altitude, soit au milieu de la stratosphère. L'énergie du rayonnement est divisée d'une molécule d'ozone composée de trois atomes d'oxygène (O_3) en une molécule d'oxygène (O_2) et un atome d'oxygène radical O. Le « partenaire de collision » en retour favorise la production d'ozone, étant donné qu'avec son aide, les atomes d'oxygène radicaux se combinent avec les molécules d'oxygène en ozone. Grâce à ce processus en boucle, la concentration d'ozone dans la stratosphère reste à peu près constante.



Du moins tant qu'aucune autre substance appauvrissant l'ozone ne vienne charger l'écran protecteur.

L'énergie nécessaire pour le processus en boucle est fournie par le rayonnement UV, transformé en chaleur par ce processus de travail. C'est pourquoi la mesure de la température indique une température en hausse dans la zone de la couche d'ozone.

Maintien de l'ozone dans la stratosphère :

- La couche d'ozone dans la stratosphère éloigne le rayonnement UV de la surface de la Terre par un processus chimique.
- Par ce processus, l'ozone est détruite.
- À l'aide d'un partenaire de collision, l'oxygène libre (O) issu de l'appauvrissement de l'ozone se constitue avec les molécules existantes d'oxygène (O_2) en ozone (O_3) .
- La constitution et l'appauvrissement de l'ozone sont en équilibre, l'énergie du rayonnement UV est transformée en chaleur.

1.6 Appauvrissement de l'ozone dans la stratosphère

Fondamentalement, un fluide frigorigène doit contenir du ***chlore*** et présenter une stabilité suffisante dans l'atmosphère pour endommager la couche d'ozone. Il faut 15 à 30 ans pour que les molécules des fluides frigorigènes atteignent la couche d'ozone de la stratosphère après une émission* et pénètrent dans la zone d'influence du rayonnement UV dur. De cette manière, des composés aussi stables que les CFC se laissent décomposer. Les HCFC moins stables contiennent également du chlore, mais ils sont déjà décomposés dans la troposphère à 90 ou 95 % après une émission. Ainsi le chlore peut exercer son effet d'amincissement de l'ozone seulement dans une faible mesure. C'est également la raison pourquoi les fluides frigorigènes HCFC ont été tolérés 10 ans de plus que les CFC.

Si un atome de chlore est séparé d'une molécule de fluide frigorigène dans la couche d'ozone par le ***rayonnement UV***, cet élément très réactif arrachera un atome d'oxygène à la molécule d'ozone la plus proche pour constituer avec lui un ***monoxyde de chlore***.

Le monoxyde de chlore n'est pas une liaison stable. Si un atome d'oxygène libre arrive à proximité, les deux atomes d'oxygène se combineront en une molécule d'oxygène O_2. Ainsi le chlore est à nouveau libre et peut dégrader la molécule d'ozone suivante. Le processus recommence.

Le chlore contenu dans les fluides frigorigènes CFC et HCFC peut encourager l'appauvrissement de l'ozone en tant que ***catalyseur**** au point où l'équilibre sort de la structure. Un seul atome de chlore peut détruire entre ***10000*** et ***100000*** molécules d'ozone. Il en résulte ***l'amincissement menaçant de l'ozone***, désigné dans le monde entier par voie de simplification sous le terme ***trou dans l'ozone***.

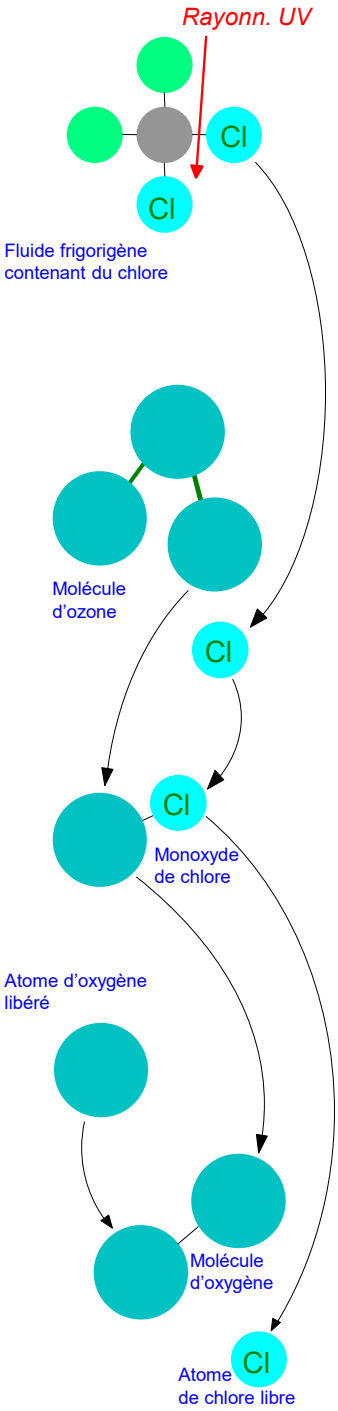
Destruction de l'ozone par les CFC et les HCFC :

- La molécule de fluide frigorigène stable ne peut être dégradée que par le rayonnement solaire, le chlore reste lié.
- La molécule de fluide frigorigène atteint la couche d'ozone après 15 à 30 ans. La molécule y est décomposée par le rayonnement UV.
- Le chlore libéré agit comme catalyseur de l'appauvrissement de l'ozone.
- Cette réaction en chaîne produit un amincissement important de l'ozone, appelé « trou dans l'ozone ».

Étant donné que les fluides frigorigènes HCFC sont moins stables que les CFC, ils dégradent la couche d'ozone environ 10 à 20 fois moins : ils se décomposent la plupart du temps avant d'atteindre la couche d'ozone.

En conséquence, certains fluides frigorigènes qui ne contiennent pas de chlore, et qui ne peuvent donc pas endommager la couche d'ozone, sont encore autorisés aujourd'hui.

Destruction de l'ozone par le chlore :



Le potentiel d'appauvrissement de l'ozone d'un fluide frigorigène moderne doit être de « 0 ».

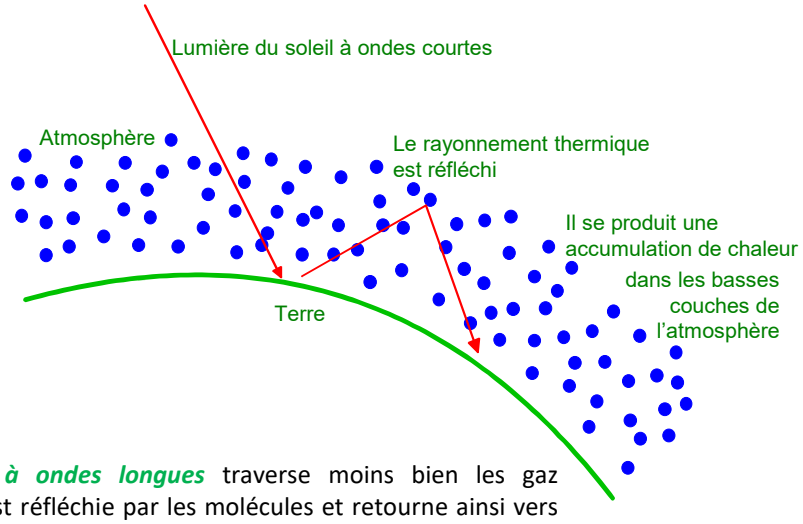
1.7 L'effet de serre

La formulation correcte serait ici ***potentiel de réchauffement global***. Cependant, comme l'atmosphère présente des propriétés de transparence similaires à celles d'une plaque de verre par rapport au rayonnement, on parle couramment d'***effet de serre***. Chaque gaz qui séjourne dans l'atmosphère contribue au potentiel de réchauffement, toutefois avec des intensités très variables. Ainsi l'effet de l'oxygène ou de l'azote est environ 8000 fois plus faible que celui de du dioxyde de carbone, tandis que les fluides frigorigènes connus, selon leur groupe, présentent des effets plus importants autour du facteur 1000 à 3000.

Le ***potentiel d'effet de serre*** des gaz naturels est responsable de la température moyenne jour/nuit de la Terre de +15 °C environ. Sans effet de serre, cette température serait d'environ -18°C. L'effet de serre a donc été et est toujours important pour le développement de l'écosystème, même s'il y a toujours eu, au cours des siècles, des évolutions de la température moyenne liées à l'environnement. Cependant, ces modifications doivent se produire seulement très lentement, si l'écosystème doit garder le rythme pour pouvoir réagir suffisamment. Mais l'effet de serre supplémentaire créé par l'homme avec les gaz industriels ne laisse aucun temps de réaction à l'écosystème. Au cours du siècle dernier, l'émission de de gaz à effet de serre au cours d'une seule génération a pris des proportions qui laissent trop peu de marge de manœuvre à l'écosystème pour qu'il s'adapte de façon naturelle.

Fonction :

La lumière du soleil à ondes courtes peut traverser sans problème les gaz atmosphériques. Les rayons sont absorbés par le sol et transformés par lui en ***chaleur***. Le sol réchauffé commence alors à émettre un rayonnement thermique à ondes longues.



Ce ***rayonnement thermique à ondes longues*** traverse moins bien les gaz atmosphériques : une partie est réfléchie par les molécules et retourne ainsi vers la Terre. Il en résulte une ***accumulation de chaleur dans la partie inférieure de l'atmosphère***. Ce potentiel de réchauffement est généralement connu sous le nom effet de serre. La réflexion du rayonnement thermique par un gaz atmosphérique, et donc sa contribution à l'effet de serre, dépend essentiellement de 3 facteurs.

Ces réflexions laissent à penser que chaque gaz produira un effet de serre pendant son séjour atmosphérique. S'agissant des composés moins stables, les effets possibles des ***produits de décomposition*** qui en résultent doivent aussi être pris en compte.

Comme tout gaz séjournant dans l'atmosphère a un effet de serre, il reste important de faire des efforts afin d'éviter les émissions* inutiles de fluides frigorigènes dans l'atmosphère.

Facteurs d'influence sur le potentiel d'effet de serre d'un gaz :

1. la taille de la molécule
2. ses « propriétés réfléchissantes »
3. le temps de séjour atmosphérique

Le potentiel d'effet de serre d'un fluide frigorigène moderne doit être aussi faible que possible.

1.8 Pollution des cours d'eau

Dans le domaine de la technique du froid, de la climatisation et des pompes à chaleur, les cours d'eau peuvent être pollués par des produits d'exploitation. Aussi bien ***les fluides frigorigènes*** et ***l'huile frigorifique*** que par les ***fluides secondaires*** utilisés pour le transfert de chaleur et qui peuvent affecter les organismes et les plantes aquatiques, détruire ou influencer leur reproduction. Il faut particulièrement surveiller les installations en contact direct avec le sol ou avec un cours d'eau (cours d'eau de surface, eau souterraine).

Concernant les agents frigorifiques, il y a un risque de pollution des cours d'eau seulement dans certaines cas spécifiques, car ceux-ci sont généralement sous forme gazeuse à la pression normale de l'air.

Les produits d'exploitation des fluides frigorigènes et huile frigorifique ne doivent en aucun cas être déversés dans l'eau.

Ammoniac

L'ammoniac est très soluble dans l'eau, nettement plus que l'oxygène ou le dioxyde de carbone par exemple. Il est très toxique pour les organismes aquatiques et les poissons. La solubilité dépend de la température et de la pression partielle de l'ammoniac gazeux. L'ammoniac s'évapore à partir de ***l'eau ammoniacale***, grâce à sa pression de vapeur plus élevée, beaucoup plus rapidement que l'eau elle-même, c'est pourquoi la concentration d'ammoniac dans les récipients ouverts diminue avec le temps.

On perçoit alors l'odeur âcre et piquante typique de l'ammoniac. Lors d'une fuite de R717 d'une installation, celui-ci peut être facilement dissous avec de l'eau. La capacité de réaction dans l'environnement est tellement importante qu'il ne faut pas attendre de perturbations qui durent plus longtemps que quelques heures ou jours après les fuites.

Ammoniac :

NH_3 / R 717

Descendants d'hydrocarbures (dérivés de HC)

Les fluides frigorigènes de sécurité qui s'écoulent dans le sol peuvent mettre en danger l'eau souterraine. Les composés hautement fluorés sont dégradés par les micro-organismes en parties en ***toxines environnementales***. Selon les conditions environnementales, ces matières peuvent être difficilement biodégradables. Même les produits de décomposition non toxiques seuls peuvent gêner par leur présence persistante*.

Dérivés de HC :

- HFO
- HFC
- HCFC
- CFC

Hydrocarbures (HC)

Les hydrocarbures sont également produits par des processus biologiques de décomposition et n'exercent aucune influence importante sur l'environnement. De plus, ils se dégradent relativement bien et vite.

HC purs :

- Propane R290
- Isobutane R600a
- Propène R1270

Fluides secondaires

Si la quantité de fluide frigorigène est réduite ou si des fluides frigorigènes toxiques et / ou inflammables sont utilisés, un fluide secondaire peut être utilisé pour le transfert de chaleur de et / ou vers l'installation frigorifique. Les principaux fluides utilisés sont ***l'eau***, ***l'eau salée (saumure) l'éthylène glycol***, ***le propylène glycol*** ou ***le dioxyde de carbone***. Ceux-ci sont tout à fait biodégradables, et aucune perturbation persistante n'est à craindre. Le dioxyde de carbone s'échappe également très rapidement dans l'air, à partir de l'eau dans laquelle il a été prélevée. Mais il faut prendre en compte une acidification de courte durée sur le lieu d'exposition. Le dioxyde de carbone est le seul fluide secondaire avec lequel la chaleur latente peut être utilisée via une évaporation partielle. Dans les systèmes avec des températures d'évaporation supérieures à 0 °C, l'eau est la meilleure alternative : non toxique, peu réactive, ininflammable et elle présente en plus la valeur c* la plus élevée de tous les fluides secondaires*. Plus le point d'écoulement d'un fluide secondaire est basse, plus la valeur c* est faible, le débit massique nécessaire augmente en conséquence.

Fluides secondaires :

- **Eau**
  point d'écoulement 0°C
- **Éthylène glycol**
  point d'écoulement -12,9 °C
- **Propylène glycol**
  point d'écoulement -59,6 °C
- **Dioxyde de carbone**
  point d'écoulement -78 °C

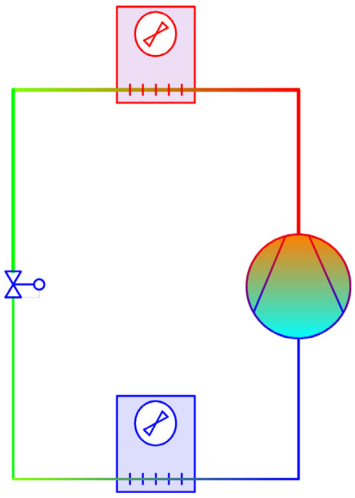
1.9 Propriétés et compatibilité environnementale

Au début de la technique du froid, on utilisait ce qui fonctionnait comme fluide frigorigène. Les fluides frigorigènes de la 1ère génération (pas toujours très sécurisant) ont provoqué une série d'accidents. En 1928 alors que l'ammoniac et d'autres substances toxiques ou inflammables devaient être remplacées comme fluides frigorigènes, l'attention a été portée sur la sécurité : les nouvelles substances ne devaient être ni toxiques, ni inflammables. Ainsi avec les ***CFC***, des substances ont été introduites et ont déclencher des décennies plus tard l'une des plus grandes discussions écologiques à cause de leur stabilité chimique. C'est pourquoi la liste des propriétés souhaitées a dû être complétée dès 1992 avec les entrées suivantes :

Propriétés écologiques souhaitées :

- Aussi respectueuse de l'environnement que possible après une émission.
- Le potentiel d'appauvrissement de l'ozone doit être de « zéro ».
- L'effet de serre doit être aussi réduit que possible.
- Dégradable aussi rapidement que possible dans l'environnement en produits de décomposition non critiques.

Cependant la focalisation sur le comportement écologique ne doit pas faire négliger d'autres propriétés comme par exemple une bonne ***énergétique***. Pour pouvoir garantir une exploitation sûre et sans incidents de l'installation, une substance adaptée comme fluide frigorigène doit répondre à quelques exigences du point de vue de la technique du froid :



Propriétés techniques souhaitées :

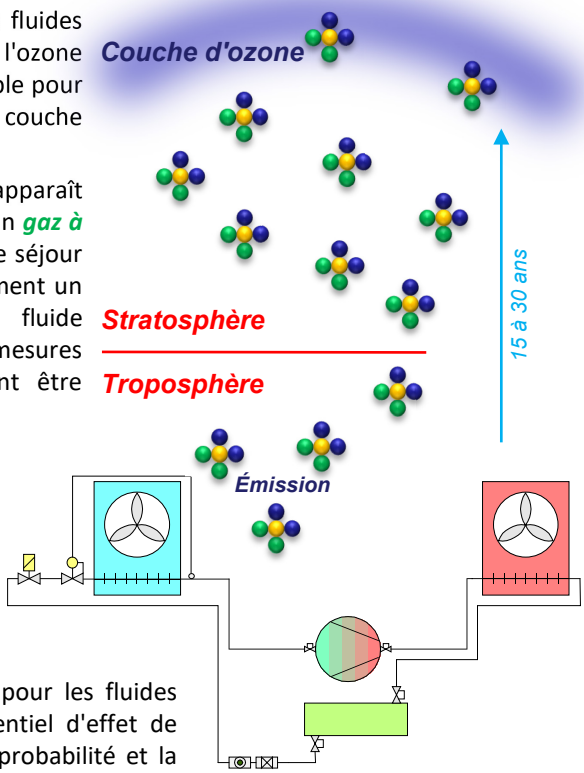
- Stable dans un système frigorifique à toutes les pressions et températures.
- Ne doit pas réagir ni avec les matériaux utilisés dans le système, ni avec l'huile frigorifique.
- Autant que possible non toxique et ininflammable.
- Enthalpie d'évaporation* aussi importante que possible
- Miscible avec l'huile frigorifique utilisée.
- Pression d'évaporation pas sous vide.
- Pression de liquéfaction ne dépassant pas 40bars.

Plus un produit doit réunir de propriétés, plus les ***compromis*** doivent être tolérés. Il est clair que certaines de ces exigences des deux catégories se contredisent (voir la flèche entre les deux fenêtres de propriétés). Pour éviter une pression encore plus forte du monde politique et du public sur les fluides frigorigènes, toutes les mesures possibles pour réduire les émissions doivent donc être prises, également du côté de la planification, de la construction des installations et de l'entretien.

1.10 Émission et scénario

Effet de serre et ***Trou dans l'ozone*** sont deux termes aujourd'hui connus du grand public. L'effet de serre basé sur la physique et le bilan de l'ozone par un processus chimique ainsi que son appauvrissement par des ***catalyseurs**** sont deux phénomènes différents indépendants l'un de l'autre. Cependant les fluides frigorigènes utilisés dans la technique du froid peuvent favoriser aussi bien l'effet de serre dans la ***troposphère*** que la destruction de l'ozone dans la ***stratosphère***. Immédiatement après une émission, chaque fluide frigorigène produit un effet de serre dans la mesure où il séjourne dans l'atmosphère. Seuls les fluides frigorigènes contenant du ***chlore*** détruisent l'ozone dans la mesure où ils sont suffisamment stable pour supporter le voyage de 15 à 30 ans vers la couche d'ozone.

- Tout fluide frigorigène qui séjourne dans l'atmosphère après une émission produit un effet de serre.
- Les fluides frigorigènes contenant du chlore provoquent un appauvrissement de l'ozone dans la stratosphère.



Après une émission*, le fluide frigorigène apparaît dans l'atmosphère d'abord sous la forme d'un ***gaz à effet de serre****. Il n'existe pas de gaz dont le séjour atmosphérique ne provoque pas simultanément un effet de serre. S'il s'agit en plus d'un fluide frigorigène toxique et / ou inflammable, les mesures de sécurité nécessaires doivent également être prises.

Le pouvoir de destruction ultérieur de la couche d'ozone d'un fluide frigorigène contenant du chlore dépend essentiellement de sa teneur en chlore et de sa stabilité. Des composés peu stables se décomposent avant même d'atteindre la couche d'ozone.

Les ***émissions doivent être évitées*** même pour les fluides frigorigènes avec seulement un faible potentiel d'effet de serre ou de destruction de l'ozone. Car la probabilité et la mesure dans laquelle une substance libérée va agir comme substance toxique ne dépend qu'en partie de ses propriétés connues. De plus, les effets toxiques sont souvent remarqués des décennies plus tard.

Les points de fuite potentiels doivent être détectés et éliminés par un montage impeccable et une maintenance compétente. Une perte de fluide frigorigène ne doit ***pas être considérée comme normale***, avec cet état d'esprit toute motivation pour une augmentation de la qualité est déjà tuée dans l'œuf. Même (du point de vue académique seulement !) s'il ne peut y avoir d'installation absolument étanche, il est tout de même possible de construire des installations dans lesquelles il n'est pas nécessaire de compléter le niveau du fluide frigorigène pendant toute la durée de vie de l'installation, ce qui a déjà été prouvé à plusieurs reprises.

Principes de base de la construction d'une installation :

- Le système doit être aussi hermétique que possible, cependant sans réduire les possibilités de diagnostic ou la maintenance.
- Le volume de remplissage du fluide frigorigène doit être maintenu aussi réduit que possible, cependant sans effet de réduction de la performance dans des conditions de charge maximale.
- Les installations avec un détendeur régulateur doivent disposer d'un collecteur.

1.11 Termes concernant la couche d'ozone et l'effet de serre

Ozone depletion potential — ODP

Potentiel d'appauvrissement de l'ozone — Substance de référence : R11

L'amincissement de l'ozone est principalement causé par le chlore. Mais le chlore peut atteindre la couche d'ozone seulement comme élément d'un composé stable. Celui-ci sera alors détruit par le rayonnement UV, le chlore sera libéré. Le potentiel de destruction de l'ozone d'une substance est mesuré sur la base du dérivé du méthane, le fluide R11 (R11 = ODP 1). Ce CFC a été le plus répandu dans l'industrie : Comme gaz cellulaire dans les mousses synthétiques, en blanchisserie comme solvant de graisse, comme gaz propulseur* dans les pulvérisateurs et surtout comme fluide frigorigène. Sa stabilité empêche sa dégradation rapide dans l'atmosphère, c'est pourquoi une grande partie d'une émission peut atteindre la stratosphère. La part de chlore d'une molécule provoque alors la destruction de la couche d'ozone.

Global warming potential — GWP

Potentiel de réchauffement global — Substance de référence : CO_2

Tout gaz qui séjourne dans l'air (l'atmosphère) produit un effet de serre. Celui-ci est co-responsable du fait que la vie ait pu se développer sur Terre. Sans effet de serre, la température moyenne sur la Terre serait de -18 °C. Cependant un effet de serre supplémentaire provoqué par l'industrie provoque une augmentation de la température en l'espace d'une très courte période. Ceci ne laisse pratiquement aucun temps de réaction à la nature (ni aux hommes). Généralement l'effet de serre est mesuré sur la base du CO_2 (CO_2 = GWP 1). Le R11 également utilisé autrefois comme substance de référence ne doit plus être utilisé. En parallèle à d'autres facteurs, le temps de séjour atmosphérique d'un gaz est le principal responsable de son effet de serre.

Total equivalent warming impact — TEWI

Potentiel total de réchauffement équivalent — Substance de référence : CO_2

À la différence du GWP, le TEWI ne prend pas seulement en compte l'effet de serre direct provoqué par la libération d'un gaz. Le TEWI tient également compte de l'effet de serre indirect provoqué par les ***émissions secondaires :***

- *Développement*
- *Fabrication*
- *Montage*
- *Émissions directes par les produits d'exploitation*
- *Besoin d'énergie pour l'exploitation*
- *Destruction / reconstruction*
- *Élimination / recyclage*

2 Toxicologie

La toxicologie est la science qui s'occupe de ***l'effet toxique*** des substances sur la santé. Le terme « toxicologie » est composé des mots grecs « toxicon » (poison) et « logos » (apprentissage). Les nouveaux constats toxicologiques ont souvent une résonance publique importante et immédiate. Actuellement, la crainte des atteintes à la santé et à l'environnement par les produits chimiques est un sujet très discuté.

L'exigence même que les fluides frigorigènes doivent se dégrader rapidement dans l'atmosphère après une émission génère un certain potentiel de risque pour l'homme, l'animal et les plantes. Car les substances ayant cette propriété interagissent avec d'autres substances (corps) ou avec l'aide de l'énergie. Elles sont alors inflammables ou elles ont un effet toxique car les réactions avec notre corps ne sont en général pas souhaitées. Simultanément, le danger augmente aussi que de tels fluides frigorigènes puissent se décomposer dans un système frigorifique. Les produits de décomposition à leur tour dégradent les composants ou se combinent avec l'huile frigorifique.

Effet

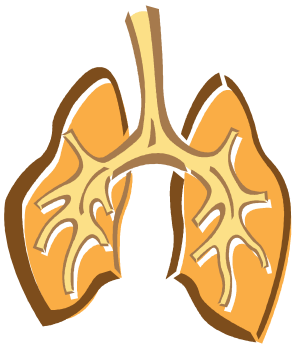
La quantité ou ***concentration*** et la ***durée*** de l'exposition* à une substance influencent le plus fortement son effet dans l'organisme. Mais aussi l'itinéraire par lequel une substance pénètre dans le corps et la circulation sanguine influence l'effet. Trois expositions principales et donc trois ***voies d'exposition*** de substances sont importantes : la respiration (inhalation), par la peau et par la bouche (orale).

Absorption de substances :

- Inhalation
- par la bouche (oral)
- par la peau

2.1 Inhalation

Chacun est exposé aux substances gazeuses par la respiration régulière. Avec env. 12 inspirations par minute et un volume d'air de 500 ml env., on obtient un volume par minute de 6 litres environ. Au cours d'une journée de travail normale de 8 heures, ceci peut produire 2800 litres d'air inspirés; pour un travail physiquement difficile, un volume de 10m^3 d'air par journée de travail est possible.



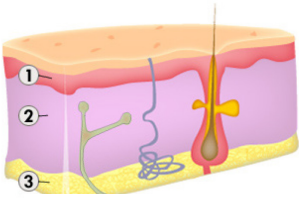
Les ***gaz*** et les ***vapeurs*** comme par ex. les solvants organiques, les aérosols* d'huile de coupe ou de perçage dans le travail du métal, les aérosols* de peintures en spray et les poussières ou la fumée peuvent être inhalés. Les fluides frigorigènes ou leurs produits de décomposition pénètrent également dans le corps par la respiration.

Selon la ***taille des particules*** une partie de la substance inhalée se dépose dans les voies respiratoires supérieures. Par le mouvement des cils vibratiles dans les bronches, les particules sont de nouveau transportées vers le haut et expulsées par la toux ou transférées dans le tube digestif en avalant. Selon leur composition, les particules déposées peuvent être dissoutes et résorbées*. Selon les circonstances, les particules difficilement solubles peuvent rester très longtemps dans les tissus pulmonaires (pneumoconiose, poumon du fumeur) ce qui peut provoquer une forte dégradation du tissu pulmonaire.

2.2 Pénétration cutanée

Par rapport à la plupart des autres organes, l'une des particularités de la peau est son ***contact direct avec l'environnement***. Elle constitue ainsi une barrière entre l'organisme et l'environnement. L'absorption de substances par la peau dépend entre autres de la ***taille des molécules*** de la substance à absorber. Les substances à petites molécules en particulier peuvent traverser la peau. Les grosses molécules comme par ex. les peptides* et les protéines* peuvent difficilement pénétrer* la peau saine. La solubilité d'une substance joue également un rôle. Les substances solubles dans l'eau pénètrent moins à travers la peau que les substances liposolubles.

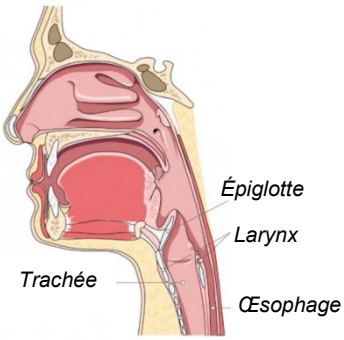
Les substances qui accèdent à la peau sont maintenues dans les couches supérieures de ***l'épiderme***. Elles sont en partie expulsées avec la desquamation naturelle et n'exercent aucun effet nocif sur l'organisme. Cependant elles peuvent être lentement transmises au derme irrigué situé sous l'épiderme. Une propagation dans tout le corps après une exposition* sur la peau se produit seulement si la substance a traversé tout l'épiderme* et a été absorbée par les vaisseaux sanguins dans le derme.
Si la barrière de la peau a été endommagée par des acides ou des lessives (brûlure) ou si la peau est lésée (coupures, brûlures), de plus grosses molécules peuvent être absorbées, tout comme la partie résorbée* d'une substance de faible poids moléculaire peut être fortement augmentée. Le risque d'absorption de bactéries et de transfert direct dans les vaisseaux sanguins augmente également considérablement avec des blessures.



1 Épiderme
2 Derme
3 Tissu sous-cutané

2.3 Ingestion

Pour les novices, l'absorption de substances par la bouche ou par la respiration ne semble pas très différente au premier abord, les deux voies passent par la bouche. C'est seulement au niveau du larynx via l'épiglotte qu'il sera décidé si la substance est dirigée vers l'estomac ou dans les poumons.



Les substance peuvent être absorbées via ***les aliments*** ou par mégarde via ***des mains sales***, l'aspiration de liquides par des pipettes, etc. L'absorption orale a en général une faible importance pour l'exposition professionnelle.

Une première résorption* de substances (par ex. l'alcool) peut déjà être effectuée par les muqueuses de la bouche et dans l'estomac. La zone de résorption principale se trouve cependant dans l'intestin grêle, où la surface de l'intestin est fortement augmentée par les nombreuses protubérances (microvillosités).

L'une des particularités de l'absorption orale de substances est qu'elle n'est pas répartie directement par le sang dans l'organisme après le passage dans l'intestin, elle est d'abord transportée dans le foie. Le ***foie*** est le principal organe métabolisant et il peut transformer des substances avant la répartition dans l'organisme par le sang. Les produits de transformation peuvent présenter une propriété moins toxique* ou plus toxique que la substance d'origine. Ceci signifie que selon la voie d'absorption, une substance dans l'organisme génère ***différents produits de transformation*** et peut donc présenter différents effets.

2.4 Toxicité

Selon la voie empruntée par une substance toxique pour pénétrer dans le corps, les effets peuvent être très différents. Si une réaction peut déjà être observée immédiatement après l'absorption, le diagnostic est généralement simple. Mais il n'est pas possible de constater immédiatement les effets sur les organes internes. Le risque existe qu'un effet nocif ne soit pas perçu comme tel. C'est pourquoi il est important que toutes les personnes travaillant avec des substances pouvant présenter un certain risque soient informées des effets potentiels.

Réactions locales

Réaction locale :
sur la surface, agit sur la peau, les yeux

Les effets locaux jouent un rôle important dans l'exposition professionnelle aux substances (la plupart du temps les produits chimiques). On trouve au premier plan les effets directs, irritants et corrosifs des substances sur ***la peau***, ***les yeux*** et les ***voies respiratoires*** supérieures.

Ces irritations sont caractéristiques par leur apparition très rapidement après l'exposition, elles restent généralement limitées à la surface d'exposition et elles dépendent de la concentration. Plus la concentration est élevée, plus l'effet irritant est important.

Les irritations de la peau peuvent être limitées à une légère rougeur et guérir sans dommage persistant. Mais dans les cas graves, elles peuvent provoquer des cloques ou la mort du tissu local (nécrose). Dans ces cas, une guérison se produit uniquement en laissant des cicatrices. La substance est repérée comme « corrosive ». Les expositions des yeux peuvent provoquer des rougeurs et des gonflements des paupières et des effets sur l'iris ou des opacifications de la cornée*. La plupart du temps, les effets sur les paupières sont réversibles, les opacifications de la cornée peuvent provoquer des déficiences visuelles durables ou une cécité totale. La poussière grossière ou la fumée peuvent provoquer des irritations des voies respiratoires supérieures. La poussière fine qui pénètre profondément dans les poumons peut provoquer des irritations jusque dans les alvéoles pulmonaires. Une toux, une respiration difficile jusqu'à une insuffisance respiratoire peuvent se produire. En cas de légères irritations chroniques des organes respiratoires, une hypersensibilité de toute les voies respiratoires peut survenir, par ex. à l'air froid, après l'arrêt de l'exposition à la substance primaire. De tels effets persistants* peuvent engendrer une incapacité de travail permanente et sont donc également très importants pour des raisons d'assurance.

Effets systémiques

Effet systémique :
sur les organes internes

Si des substances passent dans la circulation sanguine par la ***peau***, le ***poumon*** ou par ***ingestion*** puis dans leur lieu d'action (par ex. les organes internes), on parle d'un effet systémique.

Les organes les plus souvent touchés dans l'effet systémique sont le foie et les reins en tant qu'organes excréteurs. Cependant les dommages peuvent se produire dans pratiquement tous les autres organes. Selon l'organe touché et la réversibilité des effets, la perturbation des mécanismes physiologiques* normaux a une importance plus ou moins grande.

Les fluides frigorigènes peuvent avoir des effets très différents. Indépendamment de l'effet toxique, un fluide frigorigène liquide versé sur la peau provoquera une brûlure selon sa température d'évaporation. Les ***fluides frigorigènes de sécurité*** inhalés sous forme de vapeur n'ont pas d'effets négatifs sur le corps autres que ***l'effet d'expulsion de l'oxygène*** . ***L'ammoniac*** par contre provoque des problèmes déjà à de petites quantités, et la mort avec une concentration plus élevée. Mais on le remarque à son odeur intense. ***Le dioxyde de carbone*** perturbe durablement l'échange osmotique de gaz dans les poumons.

Allergies

Les réactions cutanées de type allergique, déclenchées par des substances sensibilisantes, se situent entre les effets purement locaux et les effets systémiques. Indépendamment de sa tolérance locale, une substance peut, lors d'une exposition locale*, être évaluée comme étrangère par le système immunologique. Cette information est transmise via le système immunitaire aux ganglions lymphatiques les plus proches et de là répartie dans tout l'organisme via des cellules mémoire spécifiques. La formation d'une allergie de contact est uniquement liée à la concentration. Le déclenchement d'une réaction allergique après un contact répété avec la même substance dépend en pratique de la concentration. Les plus infimes traces de la substance peuvent déclencher une réaction et, contrairement à l'irritation, la réaction peut dépasser la seule surface d'exposition. Une allergie contractée une fois est conservée toute la vie. Cependant l'intensité peut diminuer avec l'âge. Les substances ayant un potentiel d'allergie au contact (sensibilisant) se trouvent dans différents domaines. Ce sont par exemple : les substances végétales, les matières première des plastiques (monomères), les métaux (nickel, chrome), les produits de conservation dans les cosmétiques, les peintures ou les huiles industrielles, etc.

Évaluation des effets toxiques

Les effets des substances toxiques sur notre organisme sont examinés en fonction des symptômes locaux et systémiques ainsi que de leur forme d'apparition (aigüe ou chronique).
Dans les ***essais aigus*** il faut simuler des effets après une exposition courte, comme dans une absorption par erreur ou des accidents.

Dans les ***essais chroniques*** on étudie le comportement de l'organisme sous une charge durable avec de petites doses.

Effets aigus :

- La cause et le symptôme sont proches dans le temps
- Utilisation unique
- Apparition unique
- Troubles immédiats
- Évolution violente
- Se développent rapidement
- De courte durée

Effets des fluides frigorigènes

La ***classification*** des fluides frigorigènes selon leur potentiel de risques comporte un A ou d'un B suivi d'un chiffre 1, 2 ou 3. Alors que la lettre signale les effets ***chroniques*** (toxicité), le chiffre indique les effets ***aigus*** rendus possibles par l'inflammabilité :

	Nocivité / toxicité	
Inflammabilité	plus faible	accrue
ininflammable	A1	B1
peu inflammable	A2L	
difficilement inflam.	A2	B2
inflammable	A3	B3

La répartition respective des fluides frigorigènes est représentée dans le tableau en page 37.

Effets chroniques :

- La cause et le symptôme sont éloignés dans le temps
- Processus répétitifs
- Dommages durables
- Troubles durables
- Se développent lentement
- Durent longtemps ou
- ont un effet prolongé

2.5 Estimation des risques et prévention

La prévention de l'exposition* aux substances toxiques est certainement la meilleure protection. Si ceci n'est pas possible, il faut prendre des mesures pour au moins maintenir l'exposition à un niveau aussi faible que possible. Ceci peut se faire à différents niveaux. Les connaissances concernant les substances avec lesquelles il faut travailler sont une condition préalable nécessaire. C'est le seul moyen d'évaluer le potentiel de mise en danger et de choisir la mesure adaptée parmi une multitude de mesures de protection.

État physico-chimique de la substance : L'inhalation de poussière est bien moindre si la substance se présente sous forme grossière et granuleuse et non comme une fine poudre (formation accrue de poussière). La température de transformation doit également être prise en compte dans la manipulation de substances liquides. La pression de la vapeur et la concentration de la substance par m^3 augmentent avec la température. L'exposition est ainsi augmentée.

Poste de travail : Les postes de travail doivent être propres. Les produits alimentaires ne doivent pas être absorbés au poste de travail pour éviter les contaminations* et / ou les confusions. Les travaux avec production de poussières ou avec des gaz dans des locaux fermés doivent être effectués seulement avec une ventilation adaptée. Le courant d'air doit s'éloigner de l'employé. L'aspiration de la ventilation doit être placée en fonction des substances utilisées ; par ex. au sol pour les vapeurs lourdes, au-dessus des tables ou au plafond. Les expositions aux solvants doivent être évitées dans la mesure du possible. Le stockage soigneux des produits chimiques est également important.

Protection personnelle : L'équipement de protection individuel doit être disponible et également utilisé. Le port de lunettes de protection, de vêtements de protection et de gants peut fortement réduire les expositions aux produits chimiques ; par ex. les projections de liquides dans les yeux ou sur la peau peuvent être facilement évitées. Les matériaux des gants peuvent être perméables à certaines substances, c'est pourquoi le choix du modèle de gants est très important. Le nettoyage soigneux des parties du corps exposées à la fin du processus de travail est important pour éviter l'absorption de substances qui pénètrent lentement. Mais un lavage trop fréquent des mains peut aussi provoquer une « dégradation » de la protection naturelle de la peau. Le traitement avec une crème pour les mains à la fin du travail aide à reconstituer plus rapidement la protection naturelle.

Fiche de données de sécurité : Une fiche de données de sécurité doit être remise à l'utilisateur professionnel et industriel de substances et de préparations dangereuses.

Respect des valeurs CMA : La concentration maximale au poste de travail (valeur CMA) est la plus forte concentration moyenne admise d'un substance de travail sous forme de gaz, de vapeur ou de poussière dans l'air, qui, selon l'état actuel des connaissances, n'affecte pas la santé d'une très large majorité des employés sur leur lieu de travail exposés pendant un temps de travail de 8 heures par jour et jusqu'à 42 heures par semaine, même sur de longues périodes. Les valeurs CMA sont le plus souvent définies en ppm (parties par million) ou en mg/m^3. Les valeurs CMA en vigueur en Suisse sont publiées par la SUVA*.

bien aérer :
- Au cours du brasage / soudage
- Travaux avec des gaz
- Travaux avec de la colle et des solvants

Produits chimiques :
- Marquer clairement
- Entreposer soigneusement
- Désigner correctement

Travaux à risques : (par ex. le brasage) :

Port de vêtements de protection comme des lunettes / des gants

Fluides frigorigènes :
- Risques de brûlure par les projections de liquides
- Expulse l'oxygène

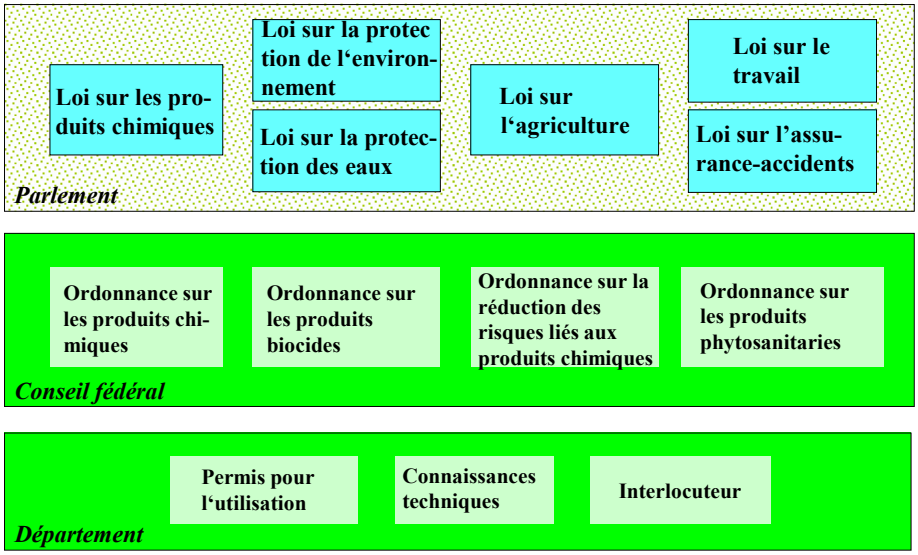
Valeur CMA :

Concentration maximale de substances toxiques au poste de travail

3 Législation

Les nombreuses bases légales des différents permis se trouvent dans les différentes lois et ordonnances. Il est nécessaire de les connaître au moins d'un point de vue global pour éviter les conflits avec les autorités ou la police. Ceci vaut en particulier pour les professionnels et les personnes détenant un permis.

Manipulation de produits chimiques :
Règles importantes pour la protection de l'homme et de l'environnement



En général, les principes directeurs sont déterminés dans la loi et sont concrétisés dans les ordonnances qui en découlent. Dans le cas des produits chimiques, ce sont trois domaines qui doivent être protégés de leurs dangers. La protection de la population est régie par la loi sur les produits chimiques, la protection de l'environnement dans la loi sur l'environnement et la protection des employeurs dans la loi sur le travail et dans la loi sur l'assurance-accidents.

3.1 Loi sur les produits chimiques

(LChim, RS 813.1)

L'objectif de la loi sur les produits chimiques est de protéger la vie et la santé des hommes des effets toxiques des substances et des préparations (« produits chimiques »). La LChim définit les exigences fondamentales à respecter lors de la manipulation des produits chimiques. Celui qui manipule des produits chimiques, donc par ex. celui qui fabrique, met en circulation, entrepose, transporte, utilise ou élimine des produits chimiques, doit s'assurer que la vie et la santé des hommes ne sont pas mises en danger. La loi est concrétisée par différentes ordonnances.

Sont considérées comme dangereux les substances et composés qui peuvent mettre en danger la vie ou la santé par un effet physique, chimique ou toxique. Celui qui manipule de telles substances ou composés doit tenir compte de leurs propriétés dangereuses et prendre les mesures de protection de la vie et de la santé nécessaires. Il faut en particulier tenir compte des informations du fabricant à ce sujet.

La LChim prescrit que l'offre (publicité) de substances ayant un potentiel de danger ne peut pas conduire à une erreur concernant la dangerosité ou entraîner une manipulation incorrecte ou à la légère.

3.2 la loi sur la protection de l'environnement

(LPE, RS 814.01)

La loi sur l'environnement a pour but de protéger ***les hommes***, ***les animaux***, ***les plantes*** et leurs ***biocénoses*** et leurs biotopes contre les atteintes nuisibles ou incommodantes et de conserver durablement les ressources naturelles, en particulier la diversité biologique et la fertilité du sol.
Les effets dans ce sens sont les impuretés dans l'air, le bruit, les vibrations, les rayons, les impuretés dans l'eau, les pollutions dans le sol, etc. produits par la construction et l'exploitation d'installations, par la manipulation de substances, d'organismes ou de déchets ou par l'exploitation du sol.

Les impuretés dans l'air, le bruit, les vibrations, les rayons à la sortie des installations sont désignés par ***émissions***, sur le lieu de leur effet par ***imitions***.

Les impuretés dans l'air sont des modifications de l'état naturel de l'air, notamment par la fumée, la suie, la poussière, les gaz, les aérosols, les vapeurs, ***les fluides frigorigènes*** ou la chaleur perdue.
Deux principes importants de la LPE sont ***le principe de précaution :*** Prévenir est mieux que guérir et en plus moins cher (art. 1 LPE) et ***le principe de causalité :*** celui qui cause des dégâts à l'environnement doit supporter les coûts de leur élimination (art. 2 LPE).

La loi est concrétisée par différentes ordonnances : par ex. l'ordonnance sur la protection de l'air (OPair), l'ordonnance sur les atteintes portées au sol (OSol), l'ordonnance sur les accidents majeurs (OPAM) et l'ordonnance sur la réduction des risques liés aux produits chimiques (ORRChim, ici les interdictions et les limites liées aux produits chimiques sont rassemblées).

3.3 Loi sur la protection des eaux

(LEaux, RS 814.20)

La loi sur la protection des eaux a pour but de protéger et de conserver les cours d'eau comme ***espace de vie naturel*** des animaux et des plantes, comme ***réservoir d'eau potable saine*** ainsi que comme ***élément des zones de détente***. Ce sont aussi bien les cours d'eau de surface que les eaux souterraines. La LEau interdit d'introduire directement ou indirectement dans un cours d'eau des substances de nature à polluer l'eau, l'infiltration de telles substances est également interdite. De même il est interdit également de déposer et d'épandre de telles substances hors d'une eau s'il existe un risque concret de pollution de l'eau (art. 6).

3.4 Loi sur le travail

(LTr, RS 822.11)

La loi sur le travail règle en parallèle à la ***protection de la santé au poste de travail*** (notamment l'hygiène de travail et l'ergonomie) les ***durées de travail***, les ***espaces de travail*** et leurs ***équipements***, les ***issues de secours*** et d'autres questions. Les congés et les salaires sont des questions de droit privé et ne font donc pas l'objet de la loi sur le travail. Elle sont réglées par le droit des obligations (RS 220). Les ordonnances 1 à 4 relatives à la loi sur le travail (RS 822.111 à RS 822.114) concrétisent la loi au sujet de différents thèmes. Les exigences à la protection de la santé sont définies dans l'ordonnance 3 relative à la loi sur le travail (OLT3, RS 822.113).

L'***employeur*** est tenu de prendre toutes les mesures nécessaires selon l'expérience à la protection de la santé de l'employé, applicables selon l'état de la technique et adaptées aux conditions de l'entreprise. Pour la protection de la santé, l'employeur doit appeler les ***employés*** à collaborer. Ceux-ci sont tenus d'assister l'employeur dans la réalisation des prescriptions sur la protection de la santé.

3.5 Loi sur l'assurance-accidents

(LAA, RS 832.20)

La LAA est essentiellement une ***loi sur le droit des assurances sociales*** qui règle le paiement des frais de guérison et des indemnités éventuelles (pensions, indemnités pour atteinte à l'intégrité) en cas ***d'accidents*** et ***de maladies professionnelles***. De plus, la LAA comporte un chapitre sur la sécurité au travail et la prophylaxie pour éviter les maladies professionnelles. Ce chapitre est concrétisé dans l'ordonnance sur la prévention des accidents et des maladies professionnelles (ordonnance sur la prévention des accidents, OPA RS 83230).

Selon cette loi les ***employés*** travaillant en Suisse sont ***obligatoirement assurés***, y compris les travailleurs à domicile, les personnes en formation, les stagiaires, les volontaires ainsi que les personnes travaillant dans les ateliers d'apprentissage ou pour invalides.

3.6 Ordonnance sur les produits chimiques

(LChim, RS 813.11)

L'ordonnance sur les produits chimiques précise la manière d'évaluer ***les dangers*** et ***les risques*** découlant de produits chimiques et elle cite en particulier les obligations pour la mise sur le marché (commercialisation). Les substances chimiques et les préparations dangereuses peuvent être distribuées (vendues) uniquement si elles sont classées, emballées et marquées dans le cadre de l'auto-contrôle par rapport à leur potentiel de danger (étiquette, LChim art. 35 et 36. Autres informations sous « Classement et marquage »). De plus, il existe des obligations de déclaration, de notification ou d'autorisation pour certains produits chimiques (bureau de notification des produits chimiques www.bag.admin.ch/organe de de réception des notifications) Les exigences générales pour la distribution de produits chimiques (par ex. obligation d'information, fiche de données de sécurité) ainsi que pour la conservation (stockage) et l'utilisation (art. 70 à 83) font également l'objet de la LChim.

Le producteur d'une nouvelle substance, ou le distributeur unique, doit déclarer la nouvelle substance à l'organe de notification avant que celle-ci ne soit mise sur le marché pour la première fois à l'état pur, dans une préparation ou dans un objet à partir duquel elle sera / pourra être libérée dans des conditions d'utilisation normales ou raisonnablement prévisibles.

3.7 Ordonnance sur la réduction des risques liés aux produits chimiques

(ORRChim)

Les dispositions sur les différents groupes de substances ou produits font l'objet principal de l'ordonnance sur la réduction des risques liés aux produits chimiques. Elle contient les restrictions et les interdictions comme par exemple l'interdiction de l'amiante ou du mercure. Ces restrictions et interdictions sont articulées dans différentes annexes et constituent le contenu principal de cette ordonnance.

De même, sont définies dans l'ORRChim (art. 7) les activités devant être exercées uniquement par des personnes ou sous la supervision de personnes disposant du ***permis*** correspondant. Toute la troisième partie de l'ORRChim contient les dispositions générales sur le permis, tandis que les exigences détaillées sont concrétisées dans les ordonnances du département.

Depuis le 1er décembre 2013, la mise sur le marché (importation et mise à disposition) de ***systèmes de climatisation***, ***de pompes à chaleur***, ***d'installations frigorifiques*** dans l'industrie ou le commerce contenant des fluides frigorigènes stables à l'air (en particulier les ***hydrofluorocarbures HFC***) et dépassant la puissance de refroidissement / de chauffage définie est ***interdite***.

Selon l'ORRChim, l'OFEV peut délivrer une autorisation exceptionnelle pour une installation déterminée sur la base d'une demande détaillée s'il n'est pas possible, selon l'état de la technique, de respecter les normes en vigueur sans utiliser un fluide frigorigène stable à l'air.

3.8 Permis et obligation de recours à des spécialistes de la sécurité au travail

Les substances toxiques pour l'environnement et la santé sont utilisées dans de nombreuses activités qui impliquent un permis. C'est pourquoi les personnes détenant un ***permis*** doivent être conscientes de ***l'obligation de faire appel à des spécialistes de la sécurité au travail*** et s'assurer que l'entreprise répond à ces obligations :

L'ordonnance sur la prévention des accidents exige la présence de connaissances techniques dans les entreprises qui travaillent avec des « dangers particuliers », pour garantir la protection de la santé et la sécurité au poste de travail. Si ceci n'est pas possible, l'entreprise doit faire appel aux connaissances manquantes à l'extérieur, elle est « tenue de faire appel à des spécialistes de la sécurité au travail ».

La manipulation de produits avec le marquage de dangers correspondant fait également partie des « dangers particuliers » évoqués ci-dessus.

Un permis est nécessaire pour la manipulation de fluides frigorigènes par une personne travaillant de manière autonome avec ces substances.

Si un travail pour lequel on n'est pas qualifié doit être effectué, on est tenu de faire appel à des spécialistes de la sécurité au travail.

Seuls les détenteurs du permis sont habilités à se procurer des fluides frigorigènes.

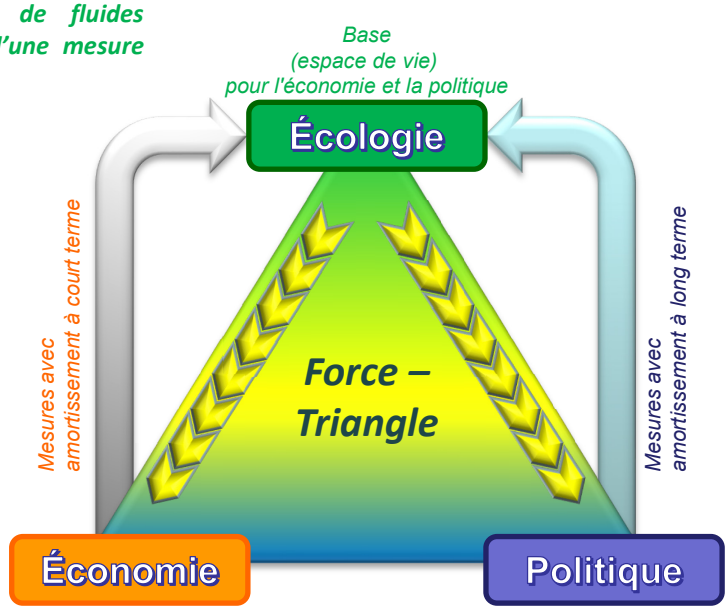
Mesures de protection de l'environnement

Les mesures de protection de l'environnement coûtent cher. L'économie de marché est en mesure de prendre des mesures adaptées autodynamiques si la dépense supplémentaire est amortie dans un délai raisonnable. Des investissements sont réalisés en fonction des gains attendus. Ainsi on peut vendre une meilleure isolation d'un bâtiment si ceci permet au propriétaire d'économiser suffisamment de frais de chauffage. Si le délai d'amortissement dépasse le délai commercial habituel, la politique doit permettre la mise en œuvre par des dispositions correspondantes.

Le permis pour l'utilisation de fluides frigorigènes est un exemple d'une mesure initiée par la politique.

Par cette disposition, les mêmes conditions s'appliquent à toutes les parties prenantes. On évite ainsi que les solutions moins chères et en conséquences moins bonnes soient proposées.

L'introduction de la technique des moteurs EC à grande échelle peut être une autre exemple : il a été rarement utilisé jusqu'ici comme type d'entraînement, pourtant largement supérieur au moteur asynchrone du point de vue de l'efficacité (à cause des investissements importants).



Étant donné que la politique a imposé des prescriptions énergétiques plus sévères concernant les installations de chauffage, les fabricants de pompes de circulation ont été pratiquement obligés de miser sur les moteurs EC. Ainsi cette technique a pu s'établir dans ce domaine. On trouve déjà des compresseur de fluides frigorigènes avec des moteurs de ce type. La politique dans les pays industrialisés et développés agira dorénavant davantage de manière dirigeante pour permettre l'établissement sur le marché d'une technologie meilleure et plus économe, mais tout d'abord plus chère.

Marquage

Dangers :	à prendre en compte :
Attention dangereux	
Peut irriter la peau, déclencher des allergies ou des eczémas, provoquer une somnolence. Peut provoquer des empoisonnements après un contact unique. Peut endommager la couche d'ozone.	Éviter le contact avec la peau. Utiliser uniquement la quantité nécessaire. Refermer soigneusement après usage.
Très inflammable	
Peut s'enflammer au contact d'une flamme ou d'étincelles, par des coups, un frottement, un réchauffement, au contact de l'air ou de l'eau. Possibilité d'auto-inflammation en cas de stockage Inadéquate même sans influence étrangère.	Éviter les sources d'inflammation. Tenir à portée des moyens d'extinction adaptés. Tenir compte de la température de stockage. Refermer soigneusement après usage.
Accélère la combustion	
Peut provoquer ou accélérer des incendies. Libère de l'oxygène en cas d'incendie, ne peut donc être éteint qu'avec des produits spéciaux. Un étouffement des flammes n'est pas possible.	Toujours conserver à l'écart de matières inflammables. Tenir à disposition des préparations d'extinction adaptées. Refermer soigneusement après usage.
explosif	
Peut exploser au contact d'une flamme ou d'étincelles, après des coups, un frottement ou un réchauffement. Peut provoquer une explosion en cas de stockage inapproprié même sans influence étrangère.	À utiliser uniquement par des techniciens ou du personnel formé. Tenir compte de la chaleur ambiante lors du stockage et de l'utilisation. Refermer soigneusement après usage.
Gaz sous pression	
Contient des gaz comprimés, liquéfiés ou dilués. Des gaz inodores ou invisibles peuvent s'échapper inaperçus. Les récipients avec des gaz comprimés peuvent éclater sous l'action de la chaleur ou d'une déformation.	Protéger du rayonnement solaire et stocker dans des endroits bien ventilés (pas à la cave). Refermer soigneusement après usage.
Dangereux pour les cours d'eaux	
Peut affecter de manière aigüe ou avec un effet à long terme les organismes aquatiques comme les poissons, les insectes et plantes aquatiques même à faibles concentrations .	Respecter les consignes de danger et de sécurité sur l'étiquette, suivre les instructions d'utilisation et les prescriptions de dosage.
Irritant	
Peut provoquer de graves irritations de la peau et des lésions oculaires. Peut dissoudre certaines matières. Est toxique pour l'homme, les animaux, les plantes et la matière organique de tous types.	Toujours porter des gants et des lunettes de protection lors de la manipulation. Refermer soigneusement après usage.
Nocif pour la santé	
Peut endommager certains organes. Peut générer de graves atteintes de la santé, provoquer un cancer, dégrader le patrimoine génétique ou la fertilité. Peut être mortel en cas de pénétration dans les voies respiratoires.	Ne jamais ingérer, éviter tout contact inutile, prendre en compte les atteintes à long terme. Refermer soigneusement après usage.
Très toxique	
Peut provoquer de graves intoxications et la mort, même en très faibles quantités.	Utiliser avec la plus grande prudence. Utiliser un équipement de protection comme des vêtements et un masque de protection. Exclure la mise en danger de tiers non impliqués. Refermer soigneusement après usage.

3.10 Importation et utilisation de produits chimiques

Le fabricant ou la distribution d'une nouvelle substance doit être enregistré(e) au bureau de déclaration. L'autorisation de distribution est accordée s'il peut être garanti que les méthodes de contrôle suffisent et conduisent à des résultats valables.

La ***fiche de données de sécurité*** sera nécessaire dès qu'une substance peut présenter un danger. Celle-ci doit être délivrée à la première remise de la substance et sur demande lors d'une remise ultérieure.

Une désignation admissible doit être univoque, elle ne doit pas comporter de données banalisantes ou erronées.

Un produit chimique peut être distribué en Suisse si :

- les contrôles ont été achevés avec succès.
- une fiche de données de sécurité a été établie.
- une désignation correcte existe.
- un emballage adapté avec étiquetage existe.
- la substance correspond à l'état de la science et de la technique.

3.11 Autorités compétentes

Les autorités cantonales sont responsables de l'application des dispositions de l'ORRChim.

L'***Office fédéral pour la santé publique (OFSP)*** est responsable de la protection de la vie et de la santé de l'homme. L'Office - avec les cantons - est responsable de la santé de la population suisse et du développement de la politique sanitaire nationale. De plus, l'OFSP représente la Suisse pour les affaires liées à la santé dans les organisations internationales et vis-à-vis d'autres États.

L'***Office fédéral de l'environnement (OFEV)*** règle toutes les affaires relatives à la protection de l'environnement et la protection indirecte de l'homme. L'Office a pour mission de sécuriser l'utilisation durable des ressources naturelles comme le sol, l'eau, l'air et la forêt. Il est responsable de la protection de dangers naturels, protège l'environnement et la santé des hommes de pollutions excessives, assure la conservation de la biodiversité et est responsable de la politique internationale de l'environnement.

L'***Office fédéral de l'énergie (OFEN)*** est le centre de compétences pour les questions d'approvisionnement en énergie et l'utilisation de l'énergie au Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication (DETEC).

Le ***Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication (DETEC)*** est responsalbe pour le « Permis pour l'utilisation de fluides frigorigènes ».

Autorités et associations :

- Cantons
- OFSP
- OFEV
- OFEN
- DETEC
- SECO
- SUVA
- ASF

Le ***Secrétariat d'État à l'économie (SECO)*** est le centre de compétences de la Confédération pour toutes les questions fondamentales de la politique économique. Son objectif est d'assurer une croissance économique durable. Il crée pour cela les conditions-cadres de la politique réglementaire et économique.

La ***Caisse nationale suisse d'assurance en cas d'accident (SUVA)*** est un organisme indépendant de droit public. Elle est la principal institution responsable de l'assurance-accidents obligatoire en Suisse. La Suva est notamment chargée d'élaborer des directives pour la manipulation des produits chimiques dangereux.

L'***Association suisse du froid (ASF)*** prend en compte les intérêts du secteur du froid et assume les missions de liaison entre les autorités et l'industrie. Elle se consacre à la formation initiale et continue de techniciens.

4 Protection de la santé

L'employeur doit dans un premier temps prendre toutes les mesures de prévention ou de minimisation des dangers de maladies et d'accidents pour les employés. Ceci signifie que les conditions de travail physiques, chimiques, biologiques, ergonomiques et psychosociales doivent être conçues pour éviter que les gens ne tombent malades à long terme. Si malgré tout un risque subsiste, des équipements de protection individuels doivent être mis gratuitement à disposition et les employés formés à leur utilisation.

L'équipement de protection individuel doit être disponible et également utilisé.

4.1 Premiers secours

Pour pouvoir apporter les premiers secours, les moyens nécessaires correspondant aux dangers de l'exploitation doivent toujours être disponibles. L'équipement de premiers secours doit être facilement accessible et conservé partout où les conditions de travail l'exigent. Il est recommandé de conserver la ***fiche de données de sécurité**** (SDB) actuelle bien en évidence et au même endroit que celui de l'utilisation des produits chimiques dans l'usine.

4.2 Planification d'urgence

L'entreprise doit s'assurer de l'existence d'une planification d'urgence tout à fait opérationnelle et connue de tous les employés. La planification d'urgence doit être contrôlée périodiquement et éventuellement adaptée aux conditions ayant évolué.

4.3 Travailler seul

Toutes les personnes travaillant seules sont soumises à des dangers particuliers et à une risque accru d'accident provoqué par une charge corporelle, intellectuelle et psychique supplémentaire. Après un accident, l'aide manque ou elle arrive en retard. C'est pourquoi le principe s'applique selon lequel le travail isolé n'est pas autorisé si celui-ci peut provoquer une blessure qui exige l'aide immédiate par une deuxième personne. Les qualifications nécessaires (par ex. un permis) à la réalisation du travail correspondant doivent être garanties.

4.4 Les jeunes

Les jeunes employées et employés doivent être protégés. Premièrement parce que certains travaux peuvent être plus difficiles par rapport à leur âge. Deuxièmement, ils vont souvent à l'école, ce qui doit être pris en compte dans la répartition du travail. Troisièmement, il est important de protéger leur développement corporel, social et psychique des influences néfastes.

4.5 Nouveau au poste de travail

L'employeur doit s'assurer que tous les employés sont informés des risques liés à leurs activités. Ils doivent connaître les mesure de prévention nécessaires. Ces informations et consignes doivent être transmises à chaque entrée en fonction et à chaque modification substantielle des conditions de travail et répétées en cas de besoin. La réalisation de travaux présentant un potentiel de risque accru doit être instruite, la manipulation des outils spéciaux apprise. Car les nouveaux arrivant encourent un risque d'accident deux fois plus élevé que les employées ou employés expérimentés.

Une période d'intégration sérieuse protège des accidents.

4.6 Postes de travail non stationnaires

Sur les postes de travail non stationnaires, il est particulièrement important d'avoir une planification d'urgence bien organisée et connue de tous et de disposer de mesures de premiers secours opérationnelles ainsi que de personnel formé. C'est le seul moyen d'apporter une aide adéquate et sans hésitation en cas d'urgence.

Sur les postes de travail temporaires sur plusieurs jours ou mois, il est recommandé de construire un équipement mobile d'atelier et de veiller à l'ordre. Le local correspondant doit être fermé après la fin du travail. Le risque d'accident se réduit en fonction de l'organisation d'un poste de travail selon la commande et des moyens auxiliaires nécessaires disponibles.

4.7 Moyens de travail, machines et outils

Les moyens de travail, les machines et les outils doivent être utilisés selon l'usage prévu. Ils doivent en particulier être utilisés uniquement pour des travaux et dans des lieux auxquels ils sont adaptés. Les consignes du fabricant concernant l'utilisation du moyen de travail doivent être prises en compte. (manuel d'utilisation, déclaration de conformité, etc.). Si les moyens de travail sont fortement modifiés ou utilisés dans des buts autres que ceux prévus par le fabricant ou utilisés de façon non conforme, les nouveaux risques survenant doivent être réduits de sorte que la sécurité et la santé des employés restent garanties. De plus, les moyens de travail doivent être entretenus correctement selon les consignes du fabricant. Ici le but et le lieu de l'utilisation doivent être pris en compte. L'entretien doit être documenté.

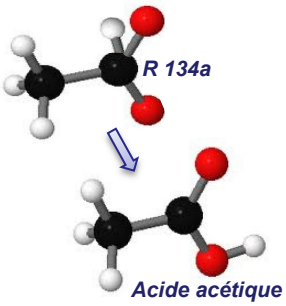
4.8 Travail avec les fluides frigorigènes et les produits chimiques

- Les fluides frigorigènes inflammables (par ex. le R290 ou le R600a) représentent un danger d'incendie et d'explosion. La formation d'atmosphères à risque d'explosion doit être évitée par une ventilation suffisante. Les sources d'inflammation efficaces doivent être évitées dans les zones à risque d'explosion.

- Certains fluides frigorigènes ont un effet toxique sur l'homme (par ex. l'ammoniac). Les produits de décomposition potentiels doivent également être pris en compte (par ex. lors du brasage dans des locaux contaminés).

- Les projections sur la peau de fluides frigorigènes liquides en extraient la chaleur de façon agressive. La blessure qui en résulte correspond à une brûlure.

- Pendant le travail avec des produits chimiques non toxiques, il faut tenir compte que certaines étapes de travail peuvent générer des produits de décomposition toxiques. Ainsi par exemple, dans un local contaminé avec un fluide frigorigène chloré, il se forme avec la fumée, le brasage ou le soudage le gaz très toxique phosgène, utilisé comme gaz de combat pendant le première guerre mondiale. Les produits de décomposition des dérivés fluorés sont également toxiques et ne doivent en aucun cas être inhalés.



- Ces fluides frigorigènes ont un léger effet psychotrope. En cas de manque d'oxygène, la capacité à l'auto-sauvetage peut manquer ici.

- Il faut tenir compte de l'effet d'expulsion de l'oxygène également de fluides frigorigènes non toxiques. Avec les fluides frigorigènes de forte densité supérieure à l'air, il y a un risque d'étouffement sans prise de conscience d'un manque d'oxygène.

- Les détenteurs et détentrices d'un permis travaillent souvent pendant des années avec des substances nocives pour la santé. Ils doivent être conscients que sans mesures de précaution, il faut s'attendre à des séquelles à long terme.

- Les personnes manipulant des produits chimiques doivent être conscientes de leurs dangers et observer les symboles de danger, de risques et des phrases de sécurité sur l'emballage. Il faut lire la fiche de données de sécurité (FDS) avant la première utilisation.

- Les emballages vides et restes de produits chimiques doivent être éliminés correctement.

- Il faut respecter un entreposage sûr des produits chimiques : des entrepôts pouvant être fermés et marqués de manière correspondante, une ventilation, une protection contre l'incendie, des interdictions de stockage commun (réactions dangereuses), pas de produits alimentaires, d'aliments pour animaux ou de médicaments à proximité, exclure la confusion avec les produits alimentaires, etc.

- Après une utilisation de produits chimiques dans des locaux fermés, un délai d'attente doit généralement être respecté pour que les substances novices pour la santé se volatilisent. Bien aérer les locaux avant d'y pénétrer. Lors d'une application de produits chimiques, le port de l'équipement de protection individuel est prescrit la plupart du temps. Après utilisation, celui-ci doit être correctement nettoyé et rangé.

5 Fluide frigorigène

Les installations avec un volume de remplissage supérieur à 3 kg de fluide frigorigène stable à l'air doivent être déclarées. Un carnet d'entretien doit être tenu. La mise hors service ultérieure est également soumise à l'obligation de communiquer.

Une grande partie des fluides frigorigènes utilisés dans les systèmes frigorifiques modernes sont basés sur des hydrocarbures naturels (méthane, éthane, propane). En remplaçant l'hydrogène par du fluor (autrefois également par du chlore), on obtient la famille des fluides frigorigènes synthétiques.

Hydrocarbures

Les hydrocarbures sont des substances naturelles inflammables qui peuvent être utilisées comme fluides frigorigènes avec une bonne efficacité. Attention : les consignes de sécurité doivent être respectées.

ODP :	non	à prendre en compte :	inflammable
GWP :	négligeable	nouvelles installations :	autorisé

HC

Fluides frigorigènes naturels

Hydro - Fluoro - Oléfines

Les HFO sont produits à partir des mêmes éléments que les HFC. Cependant, en raison d'une double liaison dans la molécule, ils sont moins stables et produisent ainsi un GWP plus faible. Ils peuvent être inflammables.

ODP :	non	à prendre en compte :	déclaration nécessaire
GWP :	très bas	nouvelles installations :	autorisé

HFO

Fluide frigorigène partiellement halogéné

Hydro – Fluoro - Carbures

L'halogène* fluor remplace une partie de l'hydrogène dans la molécule HC. Les fluides frigorigènes partiellement halogénés ont un GWP élevé, mais ils sont la plupart du temps ininflammables.

ODP :	non	à prendre en compte :	déclaration nécessaire
GWP :	élevé	nouvelles installations :	partiellement interdit

HFC

Fluide frigorigène partiellement halogéné

Hydro – Chloro – Fluoro - Carbures

En plus du fluor, on halogénise encore avec du chlore, ce qui donne un ODP. Une partie de l'hydrogène d'origine reste dans la molécule. On ne le rencontre plus que dans les installations existantes.

ODP :	oui	à prendre en compte :	seule l'exploitation est autorisée
GWP :	élevé	nouvelles installations :	interdit

HCFC

Fluide frigorigène partiellement halogéné

Chloro – Fluoro - Carbures

Toute la partie d'hydrogène est remplacée par les halogènes chlore et fluor, ce qui donne une molécule très stable. Cependant ceci produit des valeurs ODP et GWP élevées.

ODP :	oui	à prendre en compte :	seule l'exploitation est autorisée
GWP :	très élevé	nouvelles installations :	interdit

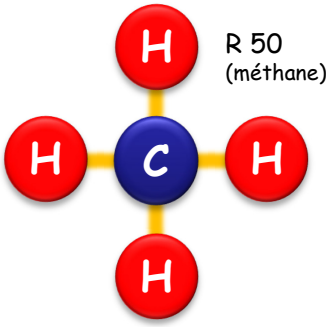
CFC

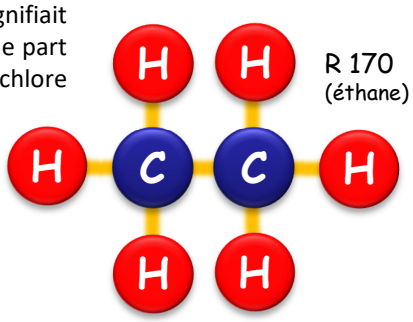
Fluide frigorigène entièrement halogéné

Des informations sur la procédure de déclaration peuvent être trouvées sur Internet. Guide : « Autorisation d'installations avec fluides frigorigènes stables à l'air »

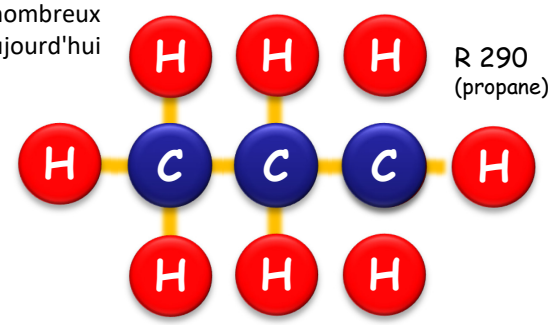
5.1 Fabrication de fluides frigorigènes synthétiques

En 1928, une base pour le développement de nouvelles substances pouvant servir de fluide frigorigène a été recherchée. A l'époque, il importait d'éliminer les fluides frigorigènes toxiques et inflammables. Des essais ont permis de découvrir que l'hydrogène des hydrocarbures tels que le méthane, l'éthane ou le propane pouvait être facilement remplacés par des éléments de la famille des halogènes. De cette manière, l'inflammabilité des molécules diminue alors que le point d'ébullition augmente.
Lorsqu'une partie de l'hydrogène est remplacée par des halogènes, on parle d'un fluide frigorigène ***partiellement halogéné***. Lorsque toute l'hydrogène est remplacée par des halogènes, on parle d'un fluide frigorigène ***totalement halogéné***. L'utilisation de ces composés très stables a été privilégiée à partir de 1930, car la stabilité signifiait également la ***sécurité***. La stabilité de ces substances est due d'une part à leur potentiel d'effet de serre important et d'autre part par le chlore destructeur d'ozone et transporté dans la stratosphère.



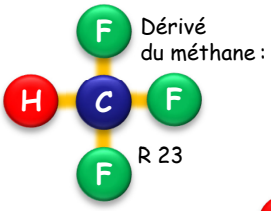


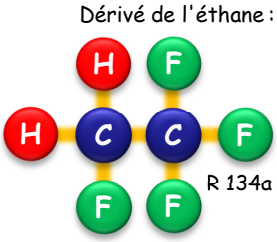
Il a essentiellement été utilisé du chlore et du fluor avec les fluides halogénés. Selon la substance initiale, on parle d'un ***dérivé de méthane, d'éthane ou de propane****. Depuis que l'effet du chlore sur la couche d'ozone s'est avéré, l'halogénation est effectuée uniquement avec du fluor. Cela a évidemment considérablement réduit le nombre de dérivés possibles. C'est la raison pour laquelle de nombreux mélanges de fluides frigorigènes sont disponibles aujourd'hui sur le marché.

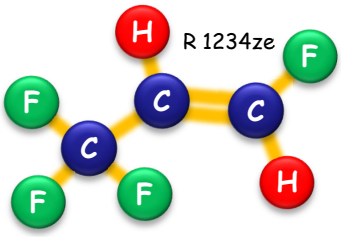


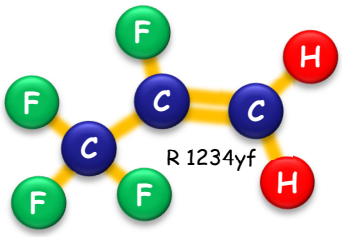
De cette manière, il est possible de produire un certain nombre de dérivés basés sur le méthane, l'éthane ou le propane. Plus le HC contient d'hydrogène, plus le nombre de dérivés réalisables est important. Étant donné qu'il existe une multitude d'hydrocarbures en plus de ceux cité, d'autres composés sont possibles.

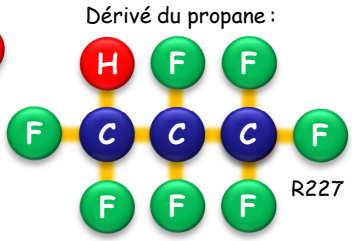
De plus en plus de composés avec liaison double sont utilisés, surtout avec l'objectif d'une stabilité moindre (et donc une dégradabilité plus rapide après une émission → GWP inférieur). Un travail propre garantit une stabilité satisfaisante dans le circuit de froid.











Tous ces composés sont non toxiques, mais peuvent générer des produits de décomposition toxiques en cas de combustion incontrôlée.

Des informations complémentaires sur la fabrication comme par ex. les mélanges de fluides frigorigènes peuvent être trouvées sur Internet.

5.2 Désignation des fluides frigorigènes

Chaque fabricant peut commercialiser son fluide frigorigène sous son propre nom. Les substances souvent utilisées sont alors proposées sous différentes désignations selon le fabricant. Il n'est pas facile de conserver une vision d'ensemble et de pouvoir différencier les substances identiques ou similaires. Cependant une alternative reconnue au niveau international existe pour ces désignations spécifiques aux fabricants : la ***désignation ASHRAE**** s'est imposée comme standard pour les désignations de fluides frigorigènes pratiquement dans le monde entier. Ces désignations doivent être utilisées dans la mesure du possible. Ainsi les malentendus peuvent être évités, la désignation ASHRAE étant indépendante des fabricants.

Réfrigérant (fluide frigorigène)

Une désignation ASHRAE se reconnaît au fait qu'elle commence toujours par la lettre « R ». Il est recommandé d'utiliser exclusivement ces désignations.

R

4e chiffre = nombre de liaisons doubles

Si la molécule ne possède pas de liaison double, on inscrit un 0. Les 0 de tête ne sont pas écrits. Toutes les désignations à 2 ou 3 chiffres sont ainsi des liaisons simples.

a
4e chiffre de droite

3e chiffre + 1 = quantité de carbone

Si la molécule possède seulement un atome de carbone, ce chiffre devient 0. Les 0 initiaux ne sont pas écrits. Toutes les désignations à deux chiffres sont donc des dérivés de méthane.

b
3e chiffre de droite

2e chiffre - 1 = quantité d'hydrogène

Les molécules sans hydrogène reçoivent à cet emplacement un 1. Ainsi il est exclu que ce chiffre devienne un 0. Plus ce chiffre est élevé, plus il est probable que la molécule soit inflammable.

c
2e chiffre de droite

1er chiffre = quantité de fluor

La teneur en chlore n'est pas citée directement et s'obtient par le nombre de « bras » libres de la molécule, elle est donc déterminée par élimination.

d
1er chiffre de droite

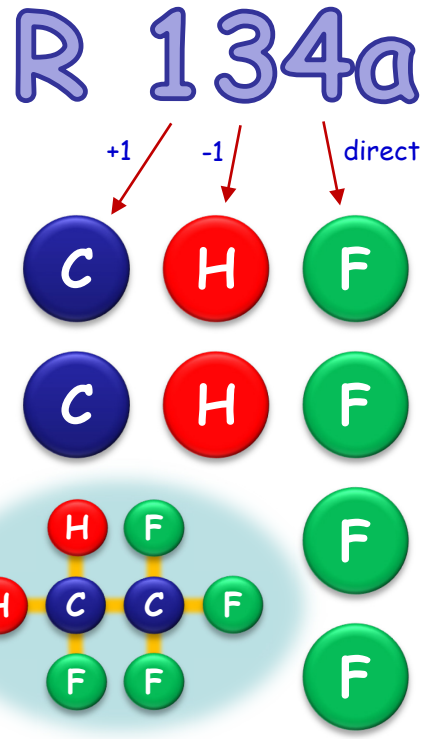
Disposition des atomes autour d'un noyau C

Une ou deux ***minuscules*** peuvent suivre la désignation numérique. Celles-ci indiquent la disposition des atomes autour du noyau de carbone. Elles sont attribuées et ne suivent aucune logique. Attention : la ***majuscule*** dans les mélanges de fluides frigorigènes indique la répartition en pourcentage des composants du mélange.

Annexe

Remarque: Les chiffres sont à considérer de droite à gauche (par exemple: 1er chiffre = ***1er chiffre de droite*** = quantité de fluor).

Exemple :



En prenant l'exemple du R134a, il est démontré comment arriver à la formule développée en partant de la désignation ASHRAE. La clé ASHRAE se rapporte aux dérivés du méthane, de l'éthane et du propane. Le carbone est toujours le noyau de la molécule. Étant donné que les composés du carbone naissent de la chimie organique, tous les fluides frigorigènes des groupes HC, HFC, HCFC, CFC et HFO sont des fluides frigorigènes organiques.

Grâce à la logique de la désignation, il est possible d'étudier chaque ***fluide frigorigène*** organique au niveau de ses ***éléments constitutifs*** et de les classer dans le groupe correspondant. De cette manière, il est également possible d'évaluer si le fluide frigorigène choisi est légalement autorisé et s'il représente une solution raisonnable par rapport à un objet.

Composition des fluides frigorigènes organiques :

le fluide frigorigène contient du carbone, de l'hydrogène :

- Il s'agit d'un fluide frigorigène **HC**
- Bonne alternative avec un faible GWP et pas d'ODP
- Respecter les consignes de sécurité : Les HC sont inflammables

- faible GWP
- pas d'ODP
- inflammable

naturel

le fluide frigorigène contient du carbone, de l'hydrogène, du fluor et des doubles liaisons :

- Il s'agit d'un fluide frigorigène **HFO**
- Alternative moderne sans ODP et avec seulement un faible GWP
- Respecter les consignes de sécurité : Les HFO peuvent brûler

- faible GWP
- pas d'ODP
- la plupart du temps peu inflammable (A2L)

synthétique

le fluide frigorigène contient du carbone, de l'hydrogène, du fluor :

- Il s'agit d'un fluide frigorigène **HFC**
- Fluide frigorigène sans ODP mais avec un GWP important
- En partie interdit

- GWP important
- pas d'ODP
- la plupart du temps ininflammable (A1)

synthétique

le fluide frigorigène contient du carbone, de l'hydrogène, du fluor et du chlore :

- Il s'agit d'un fluide frigorigène **HCFC**
- Seulement dans les installations existantes, sinon interdit
- Plus sur le marché

- GWP important
- faible ODP
- aujourd'hui interdit

synthétique

le fluide frigorigène contient du carbone, du fluor et du chlore :

- Il s'agit d'un fluide frigorigène **CFC**
- Seulement dans les installations existantes, sinon interdit
- Plus sur le marché

- GWP important
- ODP important
- aujourd'hui interdit

synthétique

5.3 Mélanges de fluides frigorigènes

Du point de vue écologique, les hydrocarbures naturels purs seraient idéaux comme fluides frigorigènes. Les données physiques adaptées et leur inflammabilité n'ont pas conduit aux dérivés dans tous les cas. Aujourd'hui seule l'halogénation au fluor est autorisée. C'est pourquoi on ne trouve plus sur le marché qu'un nombre fortement réduit de composés synthétiques encore autorisés par rapport au passé.

Étant donné que toute la gamme nécessaire ne peut aujourd'hui plus être couverte avec des dérivés (abandon du chlore), les données souhaitées doivent souvent être obtenues par des mélanges de différents fluides frigorigènes.

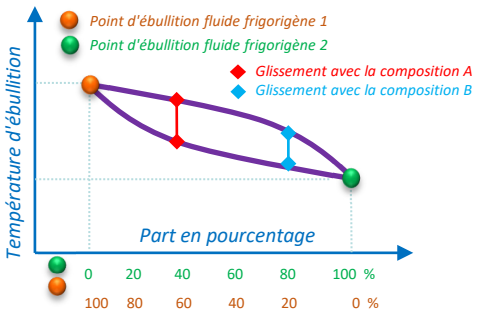
De ce fait, d'une part l'utilisation d'autres substances non organiques comme fluides frigorigènes est testée et d'autre part, les fluides frigorigènes organiques connus et autorisés sont commercialisés comme mélanges vendus sous d'autres noms. Le point d'ébullition souhaité est atteint en mélangeant jusqu'à quatre fluides frigorigènes monosubstance*. Le ***groupe 400*** ASHRAE a été introduit pour ce type de mélanges frigorifiques. Des adaptations sont également réalisables par la modification les proportions des mélanges. Les mélanges de fluides frigorigènes similaires mais avec une répartition en pourcentage différente sont marqués avec des numéros identiques. La différenciation se fait avec une majuscule ajoutée.

Le glissement indique la tendance plus ou moins forte des composants à se séparer. Les mélanges de fluides frigorigènes avec glissement sont classés dans le groupe 400.

Les mélanges de fluides frigorigènes du groupe 400 doivent absolument être versés dans le système à l'état liquide.

Après des fuites, la composition en pourcentage des mélanges 400 peut changer.

Les mélanges de liquides de différentes températures d'évaporation tendent à se séparer à l'évaporation ou la liquéfaction, étant donné que l'un des liquides commence à bouillir ou à se condenser avant les autres. On parle alors d'une réaction ***zéotropique***. La différence des points d'ébullition entre les composants avec le point d'ébullition le plus élevé et le plus bas est appelée ***glissement***.

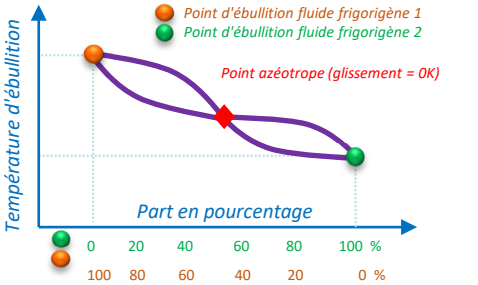


C'est pourquoi les mélanges de ce type ***doivent être versés à l'état liquide dans le système***, ce qui exige une ***vanne de remplissage*** montée après le collecteur pour la protection du compresseur. Un remplissage en phase gazeuse est autorisé uniquement si la totalité du contenu de la bouteille est versé ou si un ***cylindre de remplissage*** préalablement rempli avec le volume correct est utilisé.

Les mélanges de fluides frigorigènes sans glissement sont classés dans le groupe ASHRAE 500. Il s'agit de mélanges azéotropes.

Les mélanges azéotropes peuvent être traités comme des agents monosubstance.

Dans des cas particuliers, il est possible que le mélange de deux agents monosubstance ayant une température d'ébullition différente produise malgré tout un point d'ébullition unique. Le glissement est alors de 0. De tels mélanges sont appelés ***azéotropes**** et sont classés dans le ***groupe 500***. N'ayant aucun décalage d'ébullition, de tels agents peuvent être traités comme un agent monosubstance. Les mélanges azéotropiques sont nettement plus rares que les zéotropiques. C'est pourquoi aujourd'hui on trouve une multitude de mélanges 400 et seulement peu de mélanges 500. Les fluides frigorigènes 400 sont appelés zéotropes*.



Des informations complémentaires sur le comportement particulier des mélanges de fluides frigorigènes et leurs avantages et inconvénients physiques peuvent être trouvées sur Internet

5.4 Fluides frigorigènes inorganiques

Les fluides frigorigènes inorganiques ne contiennent pas de ***carbone*** ou alors ils sont le ***produit de combustion*** d'un composé organique. La désignation ASHRAE identifie ce groupe par le fait qu'elle commence par le chiffre « 7 ».

Les hydrocarbures purs et les fluides frigorigènes produits sur leur base appartiennent ainsi au groupe des fluides frigorigènes organiques.

Tous les fluides frigorigènes inorganiques se trouvent dans la série 700.

Mais toutes les substances adaptées comme fluides frigorigènes ne sont pas des hydrocarbures purs ou ne se développent pas sur eux (dérivés). Aux début de la technique de réfrigération au 19ème siècle, des substances inorganiques comme l'oxyde de soufre, l'ammoniac ou le dioxyde de carbone ont été utilisées. Ces deux derniers composés vivent aujourd'hui une renaissance comme fluides frigorigènes.

Dans la nomenclature de ces fluides frigorigènes, le « 7 » de tête est suivi de deux autres chiffres. Le nombre ainsi constitué correspond au poids moléculaire* du composé. Les fluides frigorigènes de la série 700 cités dans ce support de cours sont considérés comme respectueux de l'environnement et sont donc de véritables alternatives.

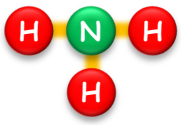
Fluides frigorigènes inorganiques :

- R 717 ammoniac NH_3
- R 723 mélange azéotrope
- R 744 dioxyde de carbone CO_2

Le R717 et le R744 sont connus depuis longtemps déjà dans la technique du froid. Cependant certaines restrictions de sécurité doivent être prises en compte.

R 717

L'ammoniac a contribué à la percée de la technique de réfrigération dès 1876. Ce fluide frigorigène toxique a été progressivement remplacé par des composés synthétiques à partir de 1928. Le R 717 est utilisé principalement dans l'industrie pour ces qualités thermodynamiques exceptionnelles lors d'installations de grandes puissances. De plus, il se décompose rapidement après une émission et ne présente donc presque aucun effet de serre.



R 723

Ce sont essentiellement les problèmes de retour d'huile dans l'utilisation du R717 dans des systèmes à évaporation qui ont conduit au développement de ce fluide frigorigène sur la base de l'ammoniac. Simultanément, on a visé une réduction de la température de fin de compression pour permettre une gamme d'applications élargie dans la compression en une seule étape. Le mélange R723 développé dans cet objectif est composé de 60 % de NH_3 et 40 % de diméthyléther (DME). Le mélange présente un comportement azéotropique.

R 744

Étant donné que ce gaz est produit par chaque combustion propre, il peut être acquis facilement et il ne produit lui-même aucun effet de serre supplémentaire lors d'une émission. Le CO_2 a été utilisé comme fluide frigorigène de la première génération jusque 1930 et connait aujourd'hui une renaissance. ***Les pressions de système très élevées*** impliquent des composants adaptés, de plus le processus se déroule de façon hypercritique au-dessus de 31 °C, ce qui nuit à la ***performance*** et limite l'utilisation dans les régions chaudes.

Synthèse de la désignation ASHRAE :

premier chiffre différent de 0 : (par ex. R1234yf)
fluide frigorigène organique monosubstance avec double liaison

deuxième chiffre 0, 1 ou 2 : (par ex. R134a)
fluide frigorigène organique

à trois chiffres, premier chiffre 4 : (par ex. R410A)
mélanges de fluides frigorigènes organiques zéotropes

à trois chiffres, premier chiffre 5 : (par ex. R507)
mélanges de fluides frigorigènes organiques azéotropes

premier chiffre 7 : (par ex. R717)
fluides frigorigènes inorganiques

=> les 0 de tête ne sont pas pris en compte. <=

5.5 Tableau des principaux fluides frigorigènes

ASHRAE Désignation	Composé de Remarque	Glissement [K]	GWP	Classe	Point d'ébullition [°C] Pression normale
HCF H					
R23	**Trifluorométhane**	**0**	**14800**	**A1**	**- 80,1**
R32	**Difluorométhane**	**0**	**675**	**A2L**	**- 52,0**
R134a	**Tétrafluoroéthane**	**0**	**1430**	**A1**	**- 26,3**
R507	**R125 / 143a 50 / 50 %**	**azéotrope azéotrope**	**3300**	**A1**	**- 46,7 à - 46,3**
R404A	**R125 / 134a / 134a 44 / 4 / 52 %**	**0,7**	**3260**	**A1**	**- 46,6 à - 45,7**
R407C	**R32 / 125 / 134a 23 / 25 / 52 %**	**7,2**	**1525**	**A1**	**- 43,8 à - 36,6**
R407F	**R32 / 125 / 134a 30 / 30 / 40 %**	**6,4**	**1824**	**A1**	**- 45,5 à - 39,1**
R410A	**R32 / 125 50 / 50 %**	**0,2**	**1725**	**A1**	**- 52,3 à - 52,1**
R413A	**R134a / 218 / 600a 88 / 9 / 3 %**	**6,9**	**1770**	**A1**	**- 35,0 à - 28,1**
R417A	**R125 / 134a / 600 46 / 50 / 4 %**	**5,6**	**1950**	**A1**	**- 43,0 à - 37,4**
R422D	**R125 / 134a / 600a 65 / 32 / 3 %**	**4,7**	**2729**	**A1**	**- 46,2 à - 41,5**
HFO					
R1234yf	**Fluides frigorigènes monosubstance**	**0**	**3**	**A2L**	**- 29,4**
R1234ze	**Fluides frigorigènes monosubstance**	**0**	**6**	**A2L**	**- 19,0**
HC					
R170	**Éthane C_2H_6**	**0**	**3**	**A3**	**- 88,6 °C**
R290	**Propane C_3H_8**	**0**	**3**	**A3**	**- 42,0 °C**
R600a	**Isobutane C_4H_{10}**	**0**	**3**	**A3**	**- 11,7 °C**
R1270	**Propylène C_3H_6**	**0**	**3**	**A3**	**- 47,6 °C**
inorganique					
R717	**Ammoniac NH_3**	**0**	**0**	**B2**	**- 33,4**
R723	**R717 / DME 60 / 40 %**	**Mélange azéotrope**	**0**	**B2**	**- 36,6**
R744	**Dioxyde de carbone CO_2**	**0**	**1**	**A1**	**- 56.6 / 5,18 bars (point triple)**

Glissement < 1K : pas de problème à envisager dans la pratique
Glissement > 5K : problèmes après des fuites / remplissage incorrect

Une liste plus complète peut être consultée sur Internet

6 Huile frigorifique

L'huile frigorifique comme deuxième substance d'exploitation en plus de le fluide frigorigène est considéré comme un « mal nécessaire ». Sur des composants classiques, les essais avec des systèmes sans huile ont présenté jusqu'ici davantage d'inconvénients que l'exploitation avec lubrification : fonctionnement bruyant, usure importante, etc. La fonction principale de l'huile frigorifique est la lubrification de toutes les pièces en mouvement, surtout le compresseur. Selon le type d'installation, l'huile peut encore remplir jusqu'à trois fonctions secondaires.

Fonctions de l'huile frigorifique :

Primaire : Lubrification des pièces mobiles

Secondaire :
1. Atténuation du bruit
2. Étanchéité
3. Refroidissement

Grâce à l'huile frigorifique, chaque système a un ***fonctionnement plus silencieux***. Les bruits qui surviennent (frottement) suite à un manque d'huile provoquent une usure excessive des composants correspondants. ***L'étanchéification*** est importante, surtout sur les compresseurs ouverts, pour éviter les émissions de fluide frigorigène par la garniture d'étanchéité d'arbre. Mais un reflux des vapeurs de fluide frigorigène est également évité par un film d'huile à l'intérieur du compresseur du côté haute pression vers le côté basse pression. Dans les paliers, l'huile frigorifique ***refroidit*** les surfaces de frottement et transmet la chaleur au fluide frigorigène.

Les compresseurs hermétiques dans les réfrigérateurs domestiques laissent l'huile en circulation s'écouler sur les parois intérieures de la capsule, ce qui transmet leur chaleur au boitier (capsule). Ainsi une coque montée au-dessus peut évaporer l'eau de dégivrage, une évacuation n'est pas nécessaire.

Tous les fluides frigorigènes ne peuvent pas être exploités avec chaque huile frigorifique. De grandes lacunes de miscibilité apparaissent par exemple si de l'huile minérale est utilisée dans des systèmes avec des fluides frigorigènes HFC ou HFO.

Propriétés souhaitées :

- lubrifiant à toutes les températures et pressions.
- miscible avec le fluide frigorigène utilisé (petite lacune de miscibilité*).
- ne doit pas réagir ni avec les matériaux utilisés dans le système ni avec le fluide frigorigène.
- ne doit pas faire gonfler les plastiques existants.

Des salissures dans le système de froid peuvent provoquer la décomposition de l'huile frigorifique. En présence d'oxygène en particulier, des acides se développent qui attaquent et détruisent les composants et qui peuvent décomposer le fluide frigorigène. Des pannes chimiques peuvent le cas échéant conduire à des symptômes que des années plus tard, ce qui complique le diagnostic.

6.1 Choix de l'huile frigorifique

L'huile à utiliser dépend en premier lieu du fluide frigorigène et des matériaux utilisés : les propriétés souhaitées doivent être atteintes.

Huile minérale

L'huile frigorifique classique pour les fluides frigorigènes organiques chlorés ou non halogénés (HFC, HCFC, HC) était l'huile minérale. Celle-ci se mélange uniquement avec les molécules non polaires, de grandes ***lacunes de miscibilité**** apparaissent lors de l'utilisation avec des fluide frigorigènes HFC ou HFO. C'est pourquoi l'huile frigorifique doit également être remplacée lors d'une conversion de CFC ou HCFC vers HFC ou HFO. La teneur résiduelle en huile minérale après le changement ne doit pas dépasser 5 % dans la zone de climatisation, 3 % dans la zone de refroidissement et 1 % dans la zone de congélation. Des quantités résiduelles plus importantes peuvent provoquer des dégagements de paraffine, qui entravent le flux thermique dans l'évaporateur.

Pour les installations avec fluides frigorigènes de sécurité sans chlore (HFC), on utilise aujourd'hui généralement des huiles d'ester ou des huiles POE. Étant donné qu'il s'agit de composés polaires, il faut veiller à ce qu'ils n'aient pas tendance à se saturer en humidité de l'air en raison de leur ***comportement hygroscopique***. C'est pourquoi le récipient doit être ouvert seulement juste avant le remplissage et ensuite utilisé le plus rapidement possible.

Huile d'ester

Huile POE

La ***charge de gaz de protection*** d'un compresseur rempli d'huile d'ester doit être soufflée seulement juste avant de faire le vide. Si l'intégration du compresseur dans le système rend le soufflage inaccessible et si le vide n'est pas fait immédiatement après, la charge de gaz de protection doit être reconstituée avec ***de l'azote sec***.

Les huiles PAG modifiées sont beaucoup plus hygroscopiques que les huiles ester. C'est pourquoi celles-ci sont utilisées uniquement là où des problèmes de compatibilité des matériaux (par ex. gonflement des matériaux d'étanchéité) empêchent l'utilisation d'huile d'ester. L'huile PAG possède une grande compatibilité avec les matériaux déjà utilisées avec l'huile minérale, elle peut donc être utilisée lors de transformations.

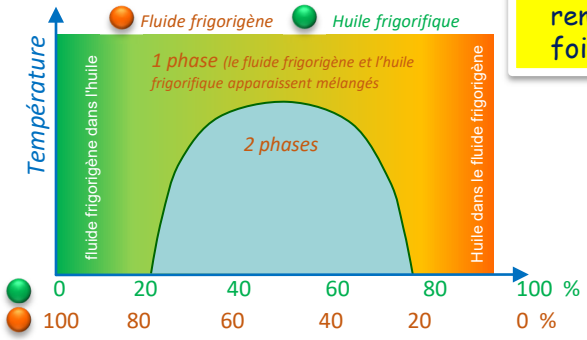
Huile PAG

Si l'huile PAG, POE ou l'huile d'ester absorbe l'humidité de l'air, celle-ci sera liée chimiquement. Elle ne peut donc plus être séchée par une mise sous vide du système. L'huile humide doit être remplacée. L'huile frigorifique saturée d'humidité peut développer des acides et attaquer des composants comme le fluide frigorigène. Il faut donc veiller dès le montage à une propreté irréprochable. En aucun cas de l'eau ou d'autres matières étrangères ne doivent pénétrer dans les conduites de réfrigération. Celles-ci peuvent agir comme des catalyseurs pour la formation d'acides et d'autres produits de décomposition. Aussi bien l'huile frigorifique que le fluide frigorigène contiennent les substances nécessaires à la formation d'acides. C'est pourquoi les composants et les éléments de conduites doivent toujours être maintenus fermés également pendant le montage.

Si on soupçonne un début ***d'acidification***, un test d'huile doit impérativement être prévu. S'il est positif, les travaux listés ci-dessous doivent être réalisés avec précision et dans le bon ordre. Si toutes les cellules d'acides ne sont pas éliminées ou liées, l'acidification recommence à nouveau.

Déplacement de l'huile

L'huile frigorifique déversée dans le système doit être ramenée en continu vers le compresseur. Étant donné que dans les zones froides (évaporateur, conduite d'aspiration), l'huile peut présenter de mauvaises propriétés d'écoulement, elle doit être diluée avec un fluide frigorigène sous forme de vapeur pour pouvoir être transportée avec les vapeurs qui s'écoulent. Ceci est possible uniquement si le fluide frigorigène et l'huile frigorifique peuvent être en principe mélangés. Le ***diagramme des lacunes de miscibilité*** montre pour chaque couple fluide frigorigène/ huile frigorifique les propriétés caractéristiques et n'indique pas les zones miscibles.



Procédure en cas d'huile frigorifique acide :

- éliminer l'ancienne huile, rincer le système avec des substances autorisées.
- Mettre le système sous vide, casser le vide avec de l'azote sec.
- Remplacer le déshydrateur, monter le filtre à acides dans la conduite d'aspiration.
- Remplir avec du fluide frigorigène et de l'huile frigorifique.
- Contrôles mensuels, si nécessaire remplacer les deux filtres plusieurs fois.

7 Recyclage et élimination

Si l'installation de réfrigération a atteint sa fin de vie, les produits d'exploitation qu'elle contient doivent être correctement éliminés ou recyclés. Idéalement, une installation est mise en service après montage avec son premier remplissage, entretenue correctement pendant sa durée d'exploitation et éliminée correctement en fin de vie avec son premier remplissage. Objectif : Les fuites et ainsi les émissions sont réduites à un minimum inévitable. Il ne sera jamais possible d'éviter les émissions à 100 %. Mais plus les techniciens manipulent ces substances de façon responsable, plus il sera possible de se rapprocher de cet objectif. Car quand il n'y aura pratiquement plus d'émissions, la politique n'aura plus besoin d'intervenir de manière dirigeante.

7.1 Élimination par destruction

Le fluide frigorigène et l'huile frigorifique d'une installation à éliminer sont rendus au fournisseur. Celui-ci les collectera et les transmettra à un site d'incinération à haute température. Pour éviter les produits de décomposition toxiques, l'incinération doit être effectuée à plus de 2000 °C, et les produits de décomposition générés sont à contrôler. Les gaz d'échappement non toxiques sont évacués dans l'environnement.

Élimination :

Les produits d'exploitation sont brûlés à des températures contrôlées de plus de 2000 °C.

7.2 Recyclage primaire

Pour permettre un recyclage primaire, le fluide frigorigène doit être pur. Si les fluides frigorigènes sont mélangés, ils seront éliminés. Cependant le retraitement n'est pertinente que si la substance recyclée peut être réutilisée, donc est légalement autorisée.

Dans l'installation de recyclage, le fluide frigorigène est d'abord séparé des résidus à point d'ébullition élevé (par ex. l'huile frigorifique), désacidifié et séché. Puis il est remis en vente dans la qualité originale.

Conditions pour le recyclage :

- Le fluide frigorigène doit être légalement autorisé.
- Le fluide frigorigène doit être pur.

7.3 Recyclage secondaire

Au sens de « l'écosystème industrialisé »* il est dommage en soi de détruire par incinération des substances très raffinées comme les fluides frigorigènes utilisés, halogénés. De plus, ceci produit des gaz d'échappement qui encouragent l'effet de serre. Dans le recyclage secondaire, les fluides frigorigènes sont d'abord décomposés thermiquement. Les produits de décomposition générés sont transformés en produits réutilisables par apport d'autres substances de réaction (hydrogène et oxygène). Selon le fluide frigorigène ajouté, on obtient de l'acide fluorhydrique, de l'acide chlorhydrique et différents sels pouvant être utilisés pour d'autres processus et applications.

Recyclage secondaire :

le fluide frigorigène est décomposé en ses composants, de nouveaux composés sont créés :

- Acide fluorhydrique
- Acide chlorhydrique
- Différents sels

8 Technique du froid

Ce que le novice appelle ***froid***, est simplement un état avec un ***faible contenu de chaleur***. Donc refroidir signifie extraire de la chaleur de la pièce à refroidir. L'installation de réfrigération peut donc être désignée comme « installation de transport de la chaleur ». Donc la chaleur (une forme d'énergie) doit d'abord être définie comme une véritable « marchandise à transporter » de chaque installation frigorifique ou pompe à chaleur :

Les éléments de la matière, les atomes et les molécules, ne sont pas immobiles dans l'espace, ils vibrent avec une certaine amplitude*. L'intensité de ce mouvement perceptible pour nous et appelée température :
la matière avec de fortes vibrations est ressentie comme chaude ou même brûlante, celle avec un faible niveau de vibrations comme froide. Ainsi le novice ressent la « chaleur » et le « froid » d'abord comme une sensation, seulement dans un deuxième temps comme une forme d'énergie. Grâce à la définition de la chaleur comme ***l'énergie cinétique des molécules*** il semble logique qu'il existe ***un zéro absolu***, auquel les molécules d'une substance ne présentent plus aucune sorte de vibrations moléculaires.

On ne peut pas extraire davantage de chaleur d'un corps qu'il n'en contient, soit jusqu'au zéro absolu. Si deux corps de températures différentes sont rapprochés, le plus chaud (intensité vibratoire plus forte) enverra davantage de « coups » en pourcentage au plus froid (intensité vibratoire plus faible), jusqu'à atteindre un équilibre. C'est pourquoi le flux thermique circule toujours des endroits plus chauds vers les endroits d'une température plus faible.

L'énergie est la capacité d'accomplir un travail.

La chaleur est une énergie moléculaire vibratoire.

Le pouvoir calorifique est appelé enthalpie.

La température est une mesure de l'intensité moléculaire vibratoire.

Le zéro absolu, auquel il n'y a plus de vibration moléculaire, se situe à -273,15 °C ou OK.

Ce comportement est le même pour toutes les formes d'énergie : il doit y avoir un potentiel pour que l'énergie soit transformée en travail. Le plus grand lac de barrage peut servir à produire de l'électricité uniquement s'il existe une différence de hauteur jusqu'à la turbine (potentiel). Il découle de ces réflexions que le ***zéro absolu*** ne peut pas être atteint : il faudrait pour cela une couche d'isolant qui bloque complètement le flux thermique. Une telle isolation totale contre le flux thermique n'est pas réalisable.

Les principaux critères issus de ces réflexions ont été rassemblés pour donner les fondements de la thermodynamique. Chaque installation frigorifique / pompe à chaleur doit les respecter pour que le système puisse fonctionner.

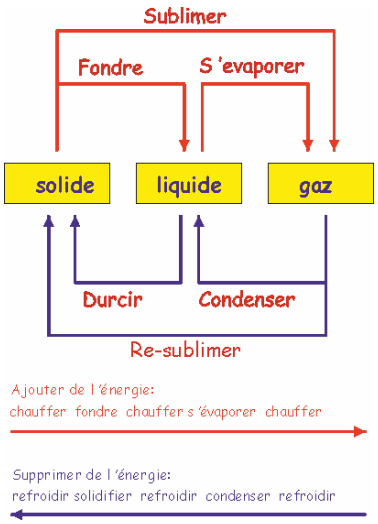
Fondement de la thermodynamique :

1. La chaleur est une forme d'énergie.
2. La chaleur s'écoule toujours du chaud vers le froid.
3. Il y a un zéro absolu.

Chaque substance peut exister sous trois ***états d'agrégation*** différents : ***solide, liquide*** et ***gazeux***. L'état dans lequel nous rencontrons une substance dépend de sa température et de sa pression environnante. Du point de vue énergétique, le solide est le plus pauvre et le gazeux l'état le plus riche en énergie. L'évaporation d'un liquide en particulier demande beaucoup d'énergie. C'est pourquoi l'idée a été mise en œuvre de forcer un liquide à s'évaporer par une baisse de pression. L'énergie nécessaire à cela doit ensuite être extraite de l'environnement, ce qui le refroidit.

8.1 Fondements de la technique de réfrigération

Normalement, l'énergie pour évaporer un liquide est mise à disposition au moyen d'une source de chaleur. L'idée d'extraire l'énergie nécessaire de l'environnement est mise en application par ***l'effet Joule-Thomson***. Les installations frigorifiques de compression fonctionnent selon ce principe. Le liquide utilisé pour cela est appelé logiquement ***fluide frigorigène :*** l'enthalpie d'évaporation nécessaire pour accomplir le travail de modification du volume est extraite de la marchandise réfrigérée, ce qui la refroidit. Selon l'objet à refroidir, on distingue quatre domaines dans la technique de réfrigération :



Froid commercial

La chaleur est extraite des ***produits alimentaires***. Par la baisse de la température de stockage, la poursuite des processus de maturation et de vieillissement est ralentie (refroidissement normal) ou presque totalement stoppée (congélation). La durée de stockage possible augmente et la marchandise est protégée d'une altération prématurée.

Froid de processus et industriel

La chaleur est extraite de machines installées pour l'accomplissement ***de processus automatisés***. Étant donné que de grandes quantités de chaleur doivent être évacuées, un système d'eau froide est généralement utilisé. Ainsi la plupart des machines de processus de froid correspondent à une ***installation d'eau froide***.

Froid de confort

Technique du froid dans des buts de confort, qui extrait la chaleur ***des zones de vie, de vente et des bureaux***. On parle couramment d'une ***installation de climatisation***. Mais étant donné que le climat, comme la température, est défini par l'humidité dans l'air, les systèmes classiques dits de climatisation sont simplement des systèmes de refroidissement de confort. Dans le cas d'un refroidissement d'une voiture particulière, de grandes quantités de chaleur doivent être transportées hors du volume intérieur en peu de temps.

Refroidissement pour chauffer

Si au lieu du côté froid (évaporateur), le côté chaud (condenseur) est utilisé, on parle d'une ***pompe à chaleur***. Le faible niveau de vibrations moléculaires de l'environnement (***eau, terre ou air***) est remonté à l'aide de la technique du froid à un niveau utilisable pour chauffer.

Différenciation

Pour certains objets, il peut être difficile de faire clairement la différence. Ainsi un système de réfrigération pour une salle de serveur peut aussi bien être considéré comme une installation de climatisation que comme installation de processus. Les bases selon lesquelles l'installation est projetée et réalisée doivent permettre de décider de leur importance (redondance, dommages consécutifs en cas de panne, etc.).

Effet Joule-Thomson :

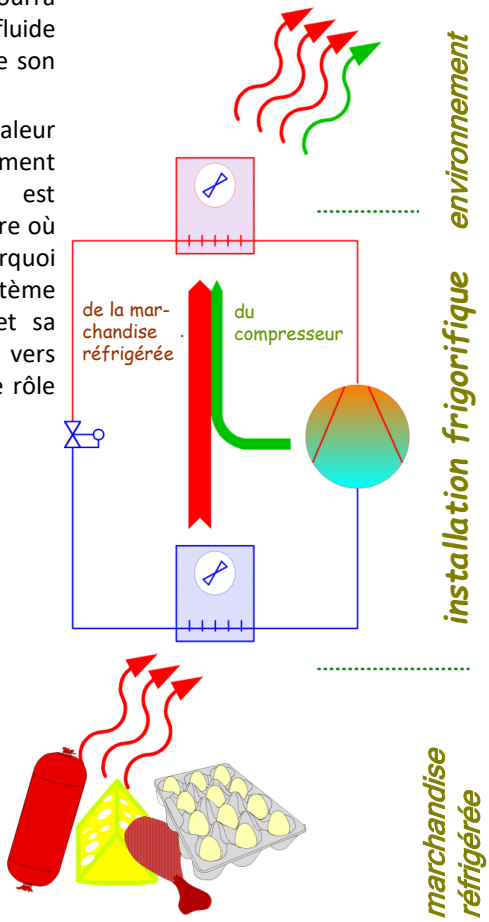
Un liquide est contraint à s'évaporer par une réduction de la pression. L'énergie nécessaire pour effectuer le travail de modification du volume est tirée de l'environnement qui ainsi se refroidit.

8.2 Installation frigorifique et pompe à chaleur

Chaque système de refroidissement/pompe à chaleur doit respecter le deuxième principe de la thermodynamique : la chaleur s'écoulera de la marchandise réfrigérée vers l'évaporateur si celui-ci est plus froid que son environnement. À l'inverse, le condenseur pourra transmettre la chaleur à l'environnement ou au fluide secondaire* uniquement si celui-ci est plus chaud que son environnement/le fluide secondaire.

La mission de l'installation frigorifique / la pompe à chaleur est le transport de chaleur.

Cette légalité s'applique aux types de transfert de chaleur conduction thermique (transmission) et rayonnement thermique. Le transport de chaleur (convection) est possible dans n'importe quelle direction, dans la mesure où l'énergie est acheminée de l'extérieur. C'est pourquoi l'énergie doit être acheminée à l'intérieur du système frigorifique pour ***transporter*** le fluide frigorigène et sa ***chaleur*** à l'aide du compresseur du condenseur vers l'évaporateur. Le fluide frigorigène passif joue ainsi le rôle du récipient de transport pour la chaleur.



Flux thermique

La chaleur de la marchandise réfrigérée est transportée par un fluide secondaire * liquide (eau, saumure, eau glycolée, glycol etc.) jusqu'au condenseur qui la remet au fluide frigorigène. L'air est généralement utilisé pour le transfert de la chaleur dans les systèmes frigorifiques industriels, les systèmes de climatisation de confort et les pompes à chaleur avec comme source de chaleur l'air extérieur (PAC air/eau). Un fluide secondaire liquide est utilisé dans les installations frigorifiques industrielles et les pompes à chaleur avec comme source de chaleur le terrain (PAC sol eau glycolée/eau) ou l'eau souterraine, de nappe, rivière ou lac (PAC eau/eau).

Le fluide frigorigène s'évapore grâce à cette chaleur. Celui-ci contient ainsi la chaleur de la marchandise réfrigérée qui après cette perte affiche une température plus basse.

Le fluide frigorigène (et la chaleur qu'il contient) est aspiré par le compresseur, qui le comprime à une pression et une température plus élevées. Le fluide frigorigène arrive ensuite dans le condenseur qui remet la chaleur dans l'air ambiant ou dans un fluide secondaire* (ECS, circuit de réfrigération, etc.).

Le flux de chaleur de la marchandise réfrigérée (pompe à chaleur : source de chaleur) jusqu'à l'environnement ou le fluide secondaire* (pompe à chaleur : eau de chauffage ou de consommation) ne doit pas être interrompu ou entravé. En cas de variations de charge, la durée de fonctionnement des entraînements de vannes doit être prise en compte.

Bilan énergétique :

Évaporateur
(chaleur absorbée)

\+ compresseur
(énergie d'entraînement)

= condenseur
(énergie remise)

Toutes les ***voies de transfert de chaleur*** sont, comme dans une ***chaîne***, disposées en série les unes derrière les autres. Ainsi le maillon le plus faible prescrit la puissance maximale de l'installation. Aucun de ces maillons ne peut stocker la chaleur de façon notable, de sorte qu'un refoulement conduit immédiatement à une panne. Les fluides de stockage souhaités sont disposés à l'extérieur de l'installation.

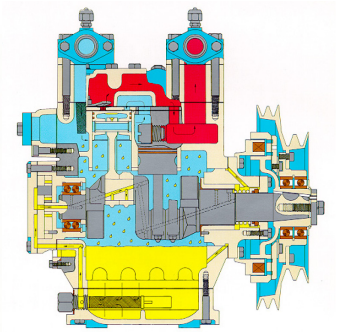
8.3 Les principaux composants

Les principaux composants sont ceux auxquels l'exploitation d'un système frigorifique fermé ne peut pas renoncer : compresseur, condenseur, détendeur et évaporateur.

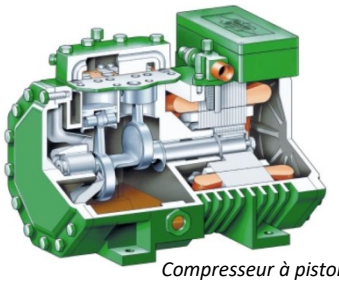
Compresseur

Le compresseur transporte le fluide frigorigène d'une pression basse et d'une température basse vers une pression et une température plus élevées. Généralement le compresseur est entraîné par un moteur électrique souvent intégré dans le boitier du compresseur (construction hermétique ou semi-hermétique). On peut ainsi renoncer à une garniture d'étanchéité d'arbre, le risque de fuite diminue. Si les vapeurs de fluide frigorigène s'écoulent autour du moteur électrique, on parle d'un moteur de compresseur ***refroidi par vapeurs d'aspiration***.

Compresseur scroll hermétique



Compresseur à piston ouvert



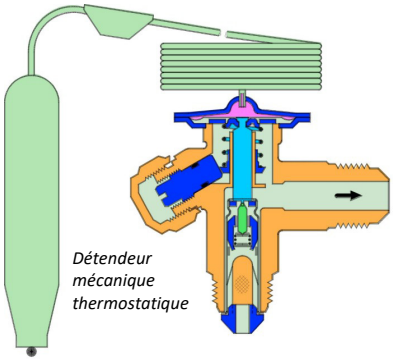
Compresseur à piston semi-hermétique

Les compresseurs ouverts doivent être utilisés uniquement si le moteur d'entraînement n'est pas un moteur électrique ou si le fluide frigorigène peut attaquer le bobinage du moteur (par ex. avec de l'ammoniac).

Détendeur

Le détendeur est la contrepartie du compresseur : il provoque la baisse de pression nécessaire pour que le fluide frigorigène injecté dépasse sa pression de vapeur et commence à s'évaporer. Dans le cas le plus simple (réfrigérateur), il s'agit simplement un tuyau capillaire* sans fonction de régulation : la chute de pression est produite par la longueur et le diamètre du tuyau capillaire. Les détendeurs à régulateurs, comme ici les détendeurs thermostatiques représentés, disposent d'une sonde de température et de pression. Par l'exploitation des signaux fournis, le volume du fluide frigorigène à injecter peut être adapté au flux thermique incident. Les détendeurs électroniques nécessitent un régulateur paramétré pour les besoins de l'évaporateur.

Tube capillaire



Détendeur mécanique thermostatique

Les détendeurs à régulateurs influencent le débit massique. En cas de flux thermique réduit, la quantité de fluide frigorigène injectée sera plus faible, plus importante en cas de charge plus forte. C'est pourquoi les installations équipées d'un détendeur à régulateur ont besoin ***d'un réservoir*** qui stocke le fluide frigorigène non utilisé et peut fournir au besoin un complément de fluide frigorigène.

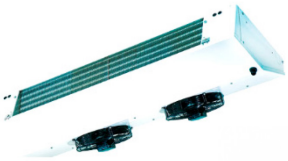
Détendeur mécanique thermostatique avec régulateur

L'évaporateur

L'évaporateur absorbe la chaleur du fluide à refroidir (air ou eau / liquide) et la transmet au fluide frigorigène. Les évaporateurs qui extraient la chaleur de l'air doivent être périodiquement dégivrés dans la mesure où leur température de surface peut être inférieure à 0 °C. L'écartement des lamelles sera choisi plus important que par exemple pour un évaporateur du domaine de la climatisation ou pour des condenseurs refroidis par air. Si la chaleur est extraite d'un liquide (fluide secondaire), les principales constructions rencontrées sont l'échangeur à plaques, coaxial ou à faisceau tubulaire. Ce dernier est également appelé « chiller ».

Dans une ***évaporation sèche***, la quantité de fluide frigorigène injectée dans l'évaporateur via un organe d'étranglement sera exactement celle qui peut s'évaporer lors de son écoulement en fonction de la charge appliquée.

Dans une ***évaporation noyée***, l'évaporateur (également appelé ici séparateur) est noyé avec le fluide frigorigène liquide via une régulation à flotteur.



Évaporateur pour le refroidissement par air

Évaporateur pour le refroidissement du liquide (chiller)

Évaporateur pour système de refroidissement de confort (système de climatisation)

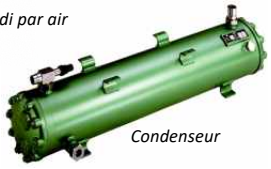
Évaporateur tubulaires pour système noyé

Le condenseur

Le condenseur absorbe la chaleur du fluide frigorigène et la transmet à l'environnement (air) ou à un fluide secondaire. Les condenseurs refroidis par air doivent être nettoyés périodiquement. Si un fluide secondaire liquide est utilisé, on trouve les mêmes constructions comme sur l'évaporateur : échangeurs à plaques, coaxiaux ou à faisceau tubulaire.

Condenseur refroidi par air

Condenseur coaxial



Condenseur

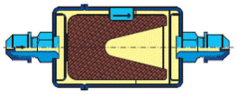
Les évaporateurs et les ***condenseurs*** sont ***apparentés*** de par leur fonction : tous deux sont des échangeurs de chaleur. C'est pourquoi les constructions et structures sont similaires. Si le fluide apportant la chaleur (évaporateur) ou évacuant la chaleur (condenseur) est l'air, l'échangeur possède un grand nombre de lamelles pour compenser le mauvais transfert de chaleur de l'air / à l'air par une surface extérieure importante. Dans tous les cas, l'échangeur de chaleur doit être d'un matériau bon conducteur de la chaleur (coefficient de conductibilité thermique élevé*), par ex. en cuivre ou en aluminium. L'acier inoxydable transfert la chaleur nettement moins bien, c'est pourquoi ce métal est utilisé souvent dans les applications avec un environnement agressif.

Échangeur à plaques condenseur)

Le déshydrateur à filtre

Même si le déshydrateur à filtre ne fait pas partie des principaux composants, on le trouve presque sur toutes les installations. Il comporte à l'intérieur un ***tamis moléculaire****. Comme son nom l'indique, sa fonction est d'absorber l'humidité résiduelle et les particules étrangères présentes dans le système. La capacité d'absorption est limitée, c'est pourquoi la propreté doit être la priorité absolue lors de la construction de l'installation. ***Le déshydrateur à filtre est à remplacer à chaque ouverture du système.***

Vue en coupe déshydrateur à filtre

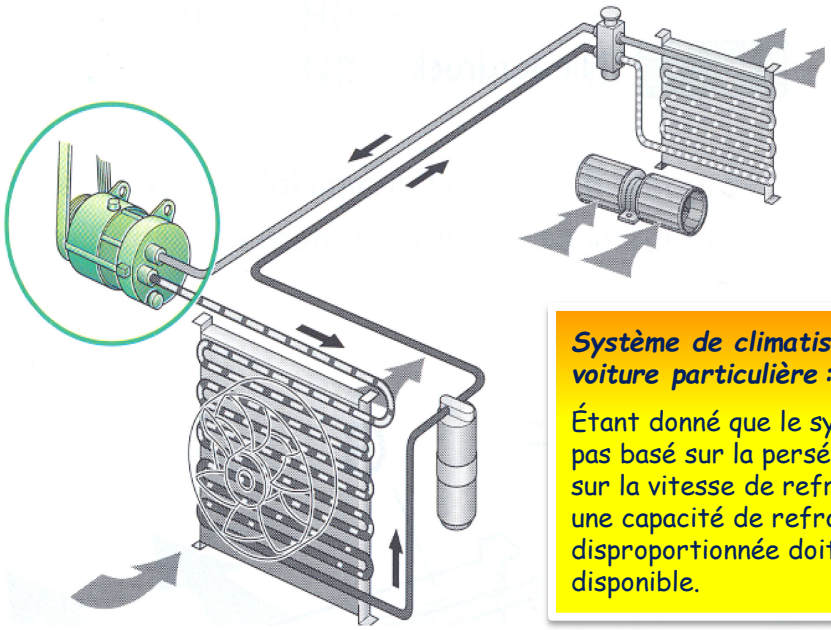


Principaux composants :

- Compresseur
- Condenseur
- Détendeur
- Évaporateur

8.4 La climatisation dans les véhicules

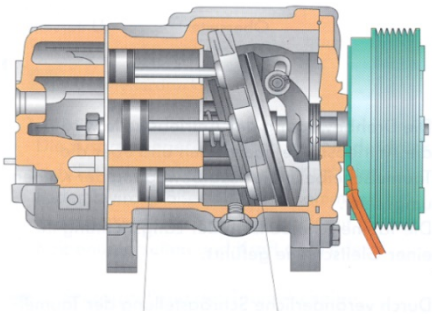
Le système de refroidissement de confort (système de climatisation) dans un véhicule a une place particulière dans la technique du froid. Il doit refroidir une grande quantité de matériaux réchauffés par une très chaude journée d'été à une température supportable en très peu de temps (les passagers représentent ici la plus petite tâche). L'ensemble des composants ne doivent pas augmenter inutilement le poids total du véhicule. Étant donné qu'il est généralement entraîné par le moteur du véhicule, des compresseurs à pistons ouverts sont utilisés. S'ils sont entraînés électriquement, il s'agit généralement de compresseurs semi-hermétiques.



Système de climatisation d'une voiture particulière :

Étant donné que le système n'est pas basé sur la persévérance mais sur la vitesse de refroidissement, une capacité de refroidissement disproportionnée doit être disponible.

Les systèmes pour véhicules sont spécialement optimisés pour ce domaine d'application. ***Bien que la physique utilisée soit la même que celle des installations commerciales et de processus, d'autres exigences réclament des composants et des conduites adaptés***. Donc un compresseur de même puissance dans le domaine commercial est beaucoup plus lourd que son équivalent dans le secteur automobile. Cependant cette économie sur la matière est possible uniquement parce qu'un système de climatisation automobile atteint, pendant toute la durée de vie de 10 à 15 ans de la voiture, la durée d'exploitation qu'une installation de réfrigération industrielle ou commerciale présente après six mois. Il n'est donc pas étonnant que les instructions d'entretien et de conversion du froid industriel et commercial ne puissent pas être reportées dans le domaine de la climatisation automobile.



Piston cyclique *Plateau*

Généralement, aucun fluide frigorigène HC naturel inflammable n'est utilisé (pour des raisons de sécurité). Étant donné que le risque de fuites à cause de vibrations est plus important dans un véhicule que dans des installations fixes, toutes les mesures préventives doivent être prises.

Entre 1992 et 2011 le fluide frigorigène essentiellement utilisé était le HFC ***R134a***, qui a été peu à peu remplacé sur les véhicules plus récents par le HFO ***R1234yf***. Certains constructeurs automobiles proposent des systèmes de climatisation ou de pompe à chaleur avec le réfrigérant *R744* (CO_2). Les pressions d'exploitation élevées (sollicitation des matériaux) sont techniquement réalisables, mais à des coûts massivement plus élevés.

9 Construction d'une installation

Lors de la planification, le fluide frigorigène doit être choisi de manière optimal par rapport à l'objet et au projet. Certain facteurs, comme la sécurité d'exploitation ainsi les aspects énergétique et écologie doivent être prises en compte.
Les exigences élevées peuvent être satisfaites uniquement si chaque partie de l'installation est conçue, construite et mise en service correctement. Le compresseur déjà préalablement rempli d'huile frigorifique ne doit être ouvert que juste avant la mise sous vide du système : sinon l'huile hygroscopique absorbe l'humidité de l'air se trouvant encore dans le système. Avant le remplissage de l'installation avec le fluide frigorigène, il faut d'abord effectuer un ***test d'étanchéité***. Ensuite l'air et les autres gaz étrangers doivent être évacués du système à l'aide d'une pompe à vide. Une pompe à vide à deux étages avec ***un lest de gaz**** est nécessaire pour atteindre une pression finale absolue de ***0,25 mbar***. S'il s'agit d'une conversion du fluide frigorigène (pas d'air dans le système), un vide amoindri suffit. Mais dans tous les cas, la pression d'évaporation de la vapeur d'eau doit être nettement dépassée vers le bas.

Principes de base de la construction d'une installation :

- Le fluide frigorigène utilisé doit polluer l'environnement aussi peu que possible (TEWI).
- Le volume de remplissage du fluide frigorigène doit être maintenu aussi réduit que possible, sans cependant affecter la capacité de performance de l'installation.
- Le système doit être construit de façon aussi hermétique que possible, mais sans affecter les possibilités d'entretien et de diagnostic.
- La propreté des travaux est une priorité absolue

Formage :

Lors du brasage, faire écouler un gaz inerte dans la conduite qui expulsera l'oxygène.

Dans une première étape, il faut faire le vide à une pression inférieure à celle de la vapeur d'eau. Puis le vide doit être cassé avec de l'azote sec jusqu'à une légère surpression. Ce procédé réduit considérablement la teneur résiduelle en oxygène après la deuxième mise sous vide suivante, de plus l'azote sec absorbe l'humidité. Un ***vacuomètre*** électronique (Torrmètre) est nécessaire pour contrôle la pression finale. Il doit être raccordé au point le plus éloigné de l'installation (pas sur la pompe à vide !). Le manomètre de basse pression du point de mesure n'est pas adapté au contrôle. Si le système contient encore de l'eau libre, l'indicateur de vide se bloquera quand la pression de la vapeur sera atteinte. À une température ambiante de 20 °C, ce point d'arrêt est de 0,023 bar. Ici la vapeur va s'évaporer, puis la pression va continuer à descendre (***séchage sous vide***). Étant donné qu'il faut toujours descendre à une pression de vapeur d'eau plus basse en cas de température ambiante froide, il faut faire le vide à des températures ambiantes aussi élevées que possibles. Ainsi l'eau à 5 °C commence à s'évaporer à 0,009 bar seulement, à des températures inférieures au point de congélation (0,0061 bar et plus bas), seule une sublimation se produit encore.

Vacuomètre

Pompe à vide

Lors de la mise sous vide, une pression finale absolue de 0,25 mbar doit être atteinte.

Le vide doit être cassé une fois avec de l'azote sec.

Le compresseur doit être ouvert seulement avant la mise sous vide, ou le remplissage de gaz de protection doit être renouvelé.

Mettre sous vide à des températures ambiantes aussi élevées que possible.

L'huile de la pompe à vide doit être renouvelée périodiquement (env. toutes les 15 heures d'exploitation).

Étant donné que l'air humide est transportée à travers la pompe à vide, l'huile de la pompe à vide se sature d'humidité après un certain temps. Quand la pression de la vapeur d'eau est atteinte, une bulle se forme dans l'huile de la pompe à vide, qui empêche d'atteindre la pression finale nécessaire. C'est pourquoi elle doit être ***remplacée après 15 heures d'exploitation environ.*** Le fait qu'un système étanche ne puisse pas atteindre la pression finale souhaitée est un autre indice que l'huile est saturée.

9.1 Montage des conduites et pose des conduites

L'huile versée du compresseur dans le système doit être ramenée ***en continu*** à ce dernier par l'écoulement du fluide frigorigène. Même un séparateur d'huile ne peut empêcher certaines quantités d'huile de pénétrer dans les conduites. L'absence de formation de ***dépôts d'huile*** ou de reflux de l'huile dans les zones montantes pendant l'exploitation sous charge partielle doit être garantie dans toutes les conditions d'exploitation (tenir compte de l'exploitation sous charge partielle). En cas d'arrêt de l'installation, l'huile doit pouvoir refluer jusqu'au coude supérieur ou inférieur le plus proche.

Conditions pour le retour d'huile :

- Montage correct des conduites
- Dimensionnement correct des conduites
- Prise en compte des lacunes de miscibilité*

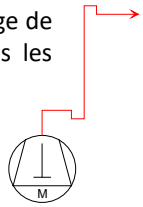
Les exemples de montage représentés ici ne s'appliquent que pour des conduites de transfert de vapeur. Il n'y a pas de risque de dépôt d'huile dans les conduites de liquide, puisque aussi bien le fluide frigorigène que l'huile frigorifique s'y trouvent dans le même état et ils peuvent être mélangés - dans la mesure où la pression et la température ne se trouvent pas dans une ***lacune de miscibilité***.

Objectif :

L'huile frigorifique déversée dans le système doit être ramenée en continu et de façon régulière vers le compresseur.

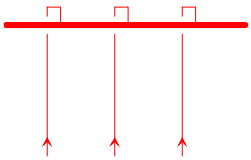
Le montage correct doit avoir la plus haute priorité. Sur les centrales frigorifiques, en plus des coudes supérieurs et inférieurs nécessaires, il faut réaliser un ***collecteur d'aspiration*** correct.

Dans une large plage de la régulation de puissance, des ***doubles voir triples colonnes montantes*** peuvent être nécessaire dans les zones montantes. En alternative, il est possible de faire fonctionner l'installation à pleine charge de temps en temps, même si ce n'est pas nécessaire. Ceci augmentera la vitesse dans les conduites, l'huile refluera.

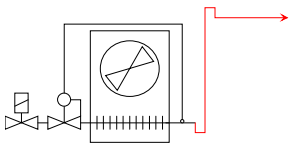


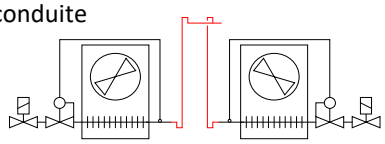
L'huile dans les conduites de vapeur chaude ne doit pas pouvoir refluer sur la plaque de soupape du compresseur. Sinon cette huile peut endommager la plaque d'obturateur au démarrage du compresseur.

Les segments débouchant par le dessous dans une conduite principale doivent être introduits dans celle-ci par le haut, pour éviter que l'huile acheminée dans la conduite principale ne s'écoule dans les conduites de segments.

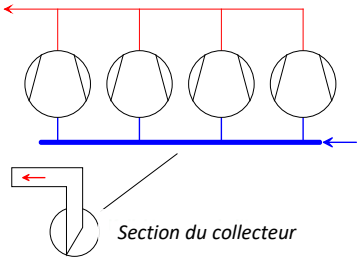


Les conduites d'aspiration inclinées doivent être réalisées avec ***un coude supérieur et un coude inférieur***. À l'arrêt ou sous charge partielle, le coude inférieur prévient un remplissage de l'évaporateur ou de la conduite horizontale avec de l'huile, tandis que le coude supérieur empêche le reflux de l'huile déjà acheminée. Les zones montantes après des segments de conduites plats doivent être équipés d'un coude inférieur, dès que le segment montant est plus haut que le diamètre de la conduite. Si cette hauteur à compenser est supérieure à 5 m env., un coude d'huile doit être prévu dans le segment montant tous les 3 à 5 m env. En cas de fortes variations de charge, il faut en plus prévoir une double ou triple conduite montante.





Pour prévenir une influence du détendeur par l'huile sous pression, les zones montantes doivent être contournées après les points de refroidissement dans des conduites séparées. Ainsi chaque conduite peut être conçue selon sa charge spécifique, les variations de la vitesse et de débit restent faibles.



Le collecteur d'aspiration* de centrales frigorifiques sont construit de façon à répartir le liquide revenant du système (l'huile et le fluide frigorigène non évaporé) ***uniformément*** entre les compresseurs en marche. De plus, on peut obtenir l'effet d'un séparateur de liquide avec un gros tube collecteur si les conduites vers les compresseurs sont raccordées au tube collecteur comme des injecteurs.

9.2 Prévention des fuites

Les émissions de fluide frigorigène doivent être limitées à un minimum inévitable. C'est pourquoi le système frigorifique doit présenter une ***étanchéité élevée***. Un test d'étanchéité soigneux doit être effectué non seulement à la mise en service, mais périodiquement.
L'étanchéité absolue au sens académique du terme n'existe pas. Ce fait est malheureusement souvent cité de façon abusive pour éviter l'effort d'un contrôle souverain de l'étanchéité. On peut partir du principe qu'une installation qui présente un taux de fuite inférieur à 3 g par an est considérée comme étanche. Par exemple avec un volume de remplissage de 3 kg, une telle installation contiendrait encore après 20 ans d'exploitation un volume de remplissage de 2940 g, ce qui n'est ni une perte de performance ni une dégradation de l'efficacité. Un taux de fuite de 3 g par an est constaté par tout détecteur de fuite opérationnel. Vous trouverez ci-dessous les méthodes classiques pour les fluides frigorigènes de sécurité ainsi que leur sensibilité d'analyse. Celle-ci sert de valeur indicative pour les taux de fuite pouvant être constatés en gramme par an avec le fluide frigorigène rempli ultérieurement. Les taux de fuite indiqués concernent le R134a.

Méthodes de contrôle lors de la mise en service

Sur les grands systèmes, il s'est avéré judicieux de pressuriser les différents segments à 15 bars environ avec de ***l'azote sec***. Même si le taux de fuite détectable ne peut être cité que de façon imprécise, on a cependant la sécurité qu'aucune substance étrangère ne peut pénétrer dans le système pendant la phase de construction.

Méthodes de contrôle de l'étanchéité :

- Mettre sous pression avec de l'azote sec
- Eau savonneuse (spray / pinceau)
- Détecteur de fuites électronique
- Méthode additive

Si en fin de montage, les segments des différents conduites pressurisées sont suspendues dans la salle des machines, on peut au moins supposer qu'il n'y a pas de fuites grossières : points de brasage perméables ou oubliés, liaisons par vis oubliées, etc. On peut ensuite limiter la recherche de fuites à la partie de l'installation concernée.

Sur un système perméable, on risque lors ***d'un essai sous vide*** la pénétration d'air humide. Mais si le vide se maintient, on peut considérer que le système est étanche. Cette méthode n'est pas adaptée aux installations qui étaient déjà en service : une diffusion de fluide frigorigène hors de l'huile provoquera toujours une augmentation de la pression. Pour l'affichage, utiliser un vacuomètre et non le manomètre !

Variantes de vacuomètres, le modèle analogique n'étant plus recommandé

Méthodes de contrôle sur un installation en service

Avec le test dit ***des bulle de savon***, les taux de fuite peuvent être localisés jusqu'à ***250g par an***. Pour cela il faut appliquer de l'eau savonneuse sur le point à contrôler. Si une bulle se forme, il y a une fuite à cet endroit. Une solution savonneuse courante suffit, cependant des sprays de détection de fuites sont également disponibles dans le commerce spécialisé. Le test des bulles de savon est adapté aux petits systèmes seulement, ou bien pour localiser avec précision une fuite dans un local contaminé.

Spray de détection de fuites

La méthode la plus répandue est la recherche de fuites à l'aide d'un ***détecteur électronique de fuites***. Ici l'intégralité du système est contrôlé avec une sonde. L'appareil peut signaler les fuites de manière acoustique ou optique. On peut détecter avec ces appareils des taux de fuite jusqu'à ***3g par an***. Étant donné que ces appareils peuvent aussi réagir aux autres influences environnementales, il est recommandé de ne pas exagérer le réglage de la sensibilité, sinon plusieurs fausses alertes peuvent être déclenchées. (en cas de mouvement violent, batterie défectueuse, etc.).

Détecteur électroniqu de fuites

Vous trouverez sur Internet des instructions de vérification pour les installations frigorifiques.

Avec la ***méthode additive***, une substance indicatrice est versée dans le système avec le fluide frigorigène et l'huile frigorifique. Cette substance s'écoule également dans les fuites. Si le point de fuite est éclairé avec une source UV, il brillera d'une forte lumière fluorescente. Pour cette méthode, on doit tenir compte d'une attente comprise entre une heure et plusieurs jours, selon la taille du système, après avoir versé l'additif avant que la substance indicative n'atteigne la fuite et ne sorte par l'orifice. De plus, l'introduction d'une substance tierce peut représenter une infraction aux conditions de garantie du fabricant des composants. La méthode additive est particulièrement appréciée dans le secteur automobile.

Additif

Lampe UV

La méthode avec une *lampe de recherche alimentée au gaz* ne doit plus être utilisée car cette méthode réagit uniquement au chlore et génère des produits de décomposition très toxiques. Avec l'abandon des fluides frigorigènes chlorés CFC et HCFC, elle n'est d'ailleurs plus utilisable.

Lampe classique de recherche

Méthode de contrôle pour l'ammoniac

Le test des bulles de savon peut aussi être utilisé sur les installations à l'ammoniac. Cependant ***les détecteurs électroniques*** fournissent ici aussi les meilleurs résultats. Les méthodes connues autrefois à l'aide de ***mèches soufrées*** ou de ***papier au phénolphtaléine*** ne doivent plus être utilisées.

Détecteur de fuites pour R717

9.3 Le retour d'huile

Même si un séparateur d'huile est monté, une certaine quantité ***d'huile passe dans le système*** sur une installation en service. Cette huile doit être ***renvoyée*** au compresseur en continu. En aucun cas il ne doit y avoir de déplacement d'huile avec reflux consécutif et brusque d'une grande quantité qui peut détruire le compresseur par des retours d'huile. C'est pourquoi li faut accorder le plus grand soin au retour d'huile. Trois facteurs doivent être pris en compte :

Le constructeur de l'installation doit s'assurer dès le montage par des coudes inférieurs, et supérieurs, des siphons un guidage de conduite double en cas de régulation de la puissance, que l'huile acheminée ne puisse pas refluer et que la formation de déplacements n'est pas possible.

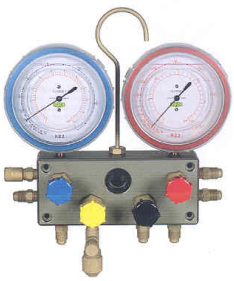
Le projeteur doit dimensionner les conduites correctement pour éviter les pertes de pressions trop importantes à pleine charge, mais pour que la vitesse du fluide frigorigène ne tombe pas sous un seuil critique sous une charge partielle, sinon l'huile reste en retrait.

Pour garantir le ***transport de l'huile*** même dans les segments froids (conduite d'aspiration, évaporateur), le fluide frigorigène doit pouvoir se mélanger avec l'huile frigorifique. Si l'huile se sépare du fluide frigorigène, il y a un risque de déplacement d'huile. On parle alors d'une ***lacune de miscibilité****.

Mesures pour le retour d'huile :

1. Montage correct
   (coudes supérieur et inférieur)
2. Dimensionnement correct des conduites
3. Prise en compte des lacunes de miscibilité

Aide de monteur pour le diagnostic



Aide de monteur pour la mise en service

10 Maintenance et entretien

Installation frigorifique sans entretien. Cette affirmation concerne tout au plus les petits appareils comme les réfrigérateurs et les congélateurs. Chaque installation plus importante doit être soumise à un contrôle et un entretien réguliers pour éviter ***des dommages consécutifs onéreux*** et ***des arrêts d'exploitation coûteux***. De plus, avec une installation frigorifique ou une pompe à chaleur fonctionnant de plus en plus mal, le thermostat ***compensera la mauvaise performance dans la durée***. Le client remarque ceci quand 24 heures d'exploitation par jour (moins les éventuels temps de dégivrage) ne suffisent plus pour réaliser le transfert de chaleur .

Pas d'installation frigorifique ou de pompe à chaleur sans contrat d'entretien !

Car sinon la température souhaitée ne peut plus être maintenue. Mais à ce stade, l'installation fonctionnait sous ces conditions depuis des ***années avec un coefficient de performance misérable***. Ceci peut également engendrer des dommages consécutifs coûteux, les paramètres d'exploitation s'éloignant beaucoup trop des limites d'utilisation. ***Ces faits doivent impérativement être expliqués au client***.

Un bon entretien doit non seulement englober les travaux de routine, mais également aider par une utilisation ciblée de connaissances techniques à éviter les pannes non planifiables et les interventions de piquet. Il est donc possible, à l'aide d'appareils de diagnostic et de mesure ainsi qu'en consultant le rapport de mise en service et le journal d'entretien, d'établir une ***analyse de tendance****. Il est toujours plus facile d'évaluer les composants qui ne survivront pas à la prochaine période d'entretien à l'aide des appareils de diagnostic adaptés et en utilisant des connaissances techniques. Avant qu'une panne ne se produise, le dysfonctionnement peut être diagnostiqué et éliminé pendant son apparition. Le client peut être informé, le matériel approvisionné ou commandé et les dégâts réparés pendant ***le temps de travail normal et planifiable***. Ces mesures contribuent aussi à éviter les émissions de fluide frigorigène et ***les coûts d'énergie superflus***. Il est également à noter que la motivation et la capacité d'effectuer une travail propre pendant les heures ouvrables est plus importante que pendant les heures de nuit ou pendant le week-end.

Déroulement de l'entretien :

- Se présenter au client, le saluer, s'informer de ses souhaits.
- Consulter les travaux d'entretien et de réparation effectués précédemment dans les copies de rapport ou le journal d'entretien.
- Consulter les données d'exploitation utiles dans le rapport de mise en service.
- Contrôler le niveau de fluide frigorigène par le voyant de débit et du collecteur.
- Rechercher les fuites sur le système.
- Contrôle visuel des points de brasage et d'éventuelles traces d'huile.
- Contrôler l'absence de salissures dans l'huile frigorifique (pièces d'usure, envasement, odeur, etc.).
- Contrôler le réglage de tous les thermostats, pressostats et autres régulateurs, ajuster uniquement si nécessaire.
- Contrôler les pressions d'exploitation et comparer avec les valeurs théoriques.
- Mesurer la température de compression et la comparer à des valeurs antérieures.
- Nettoyer tous les appareils et pièces pertinentes comme les échangeurs de chaleur, le bac égouttoir, etc.
- Contrôler le détendeur, régler éventuellement la surchauffe.
- Travaux généraux de nettoyage et de réglage.
- Remplir le rapport de travaux, l'expliquer au client et le faire signer.
- Compléter le journal d'entretien ou déposer une copie du rapport de travaux.
- Départ.

Contrat de maintenance: 3 x « gagnant »

1. **Le client** économise de l'énergie, du temps et de l'argent. Prévention de pertes d'exploitation.
2. **L'exploitation** peut être gérée sur l'année, il est possible d'estimer le chiffre d'affaires.
3. **Le technicien** travaille principalement pendant le temps de travail planifiable, pas d'interventions de piquet.

Arguments pour un contrat de maintenance :

- Le client ne doit pas penser lui-même au moment de l'entretien et contacter l'entreprise technique.
- Un réglage optimal de l'installation produit un bon coefficient de performance, l'énergie est économisée.
- Les dommages consécutifs coûteux ou les arrêts d'exploitation sont évités.
- L'environnement est ménagé, les émissions sont évitées.

10.1 Points de contrôle sur le système

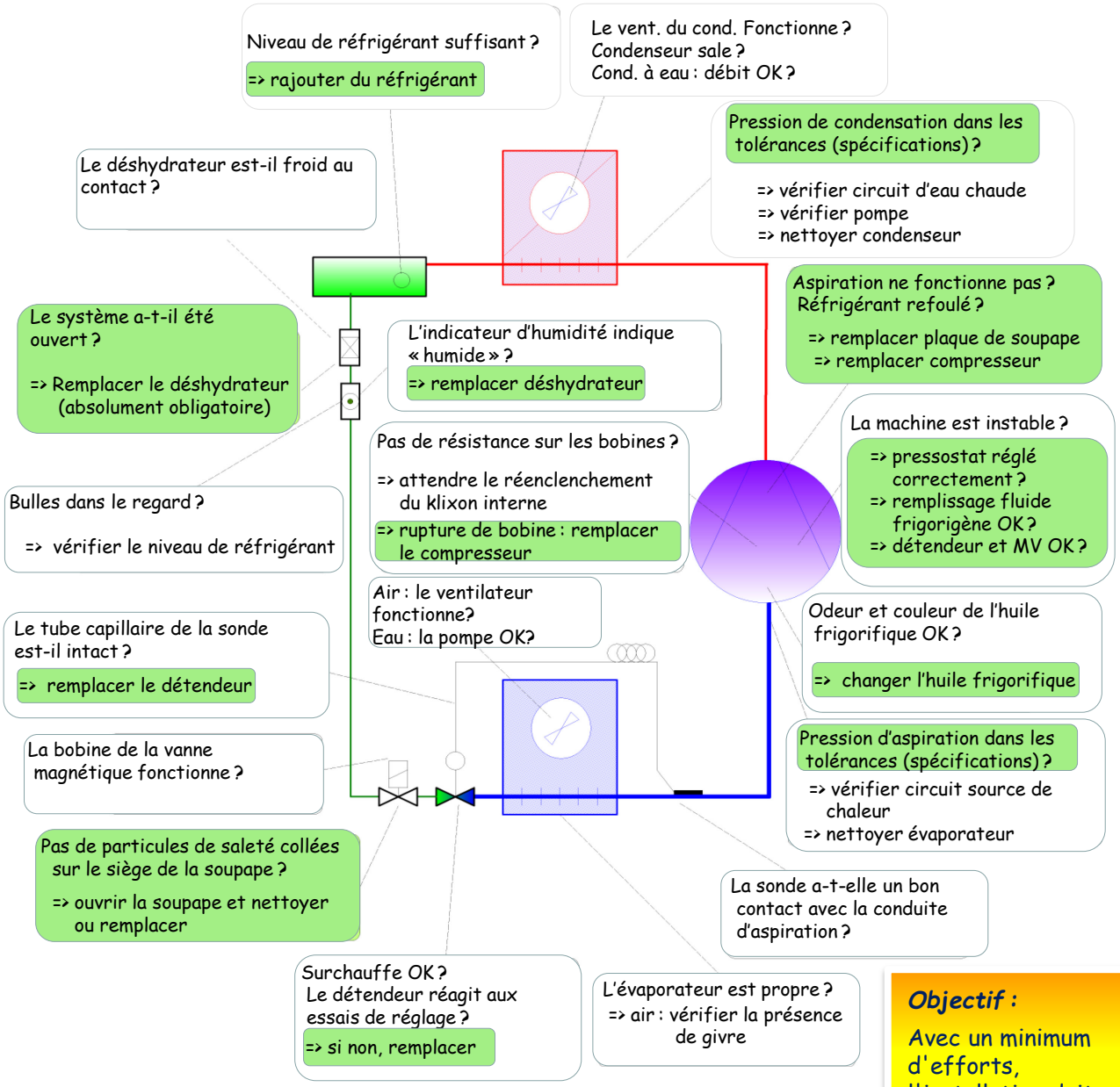
Les points de contrôle représentés ici concernent une installation simple sans autres fonctions ou composants. Les ***travaux sur fond vert*** réclament le permis pour l'utilisation de fluides frigorigènes.

Les systèmes plus complexes impliquent ***de larges compétences***. Le permis autorise uniquement l'utilisation de fluides frigorigènes dans la mesure où l'attention est attirée sur les problèmes après les émissions. Elle ne prétend pas constituer une formation spécialisée à la technique du froid.

Principe :
Prévenir les perturbations - et non les remédier.

Le diagnostic du système frigorifique ne se limite pas à la déclaration « l'installation fonctionne » ou « l'installation ne fonctionne pas ».

Le diagnostic correct est posé si les connaissances techniques sont reliées à l'expérience.



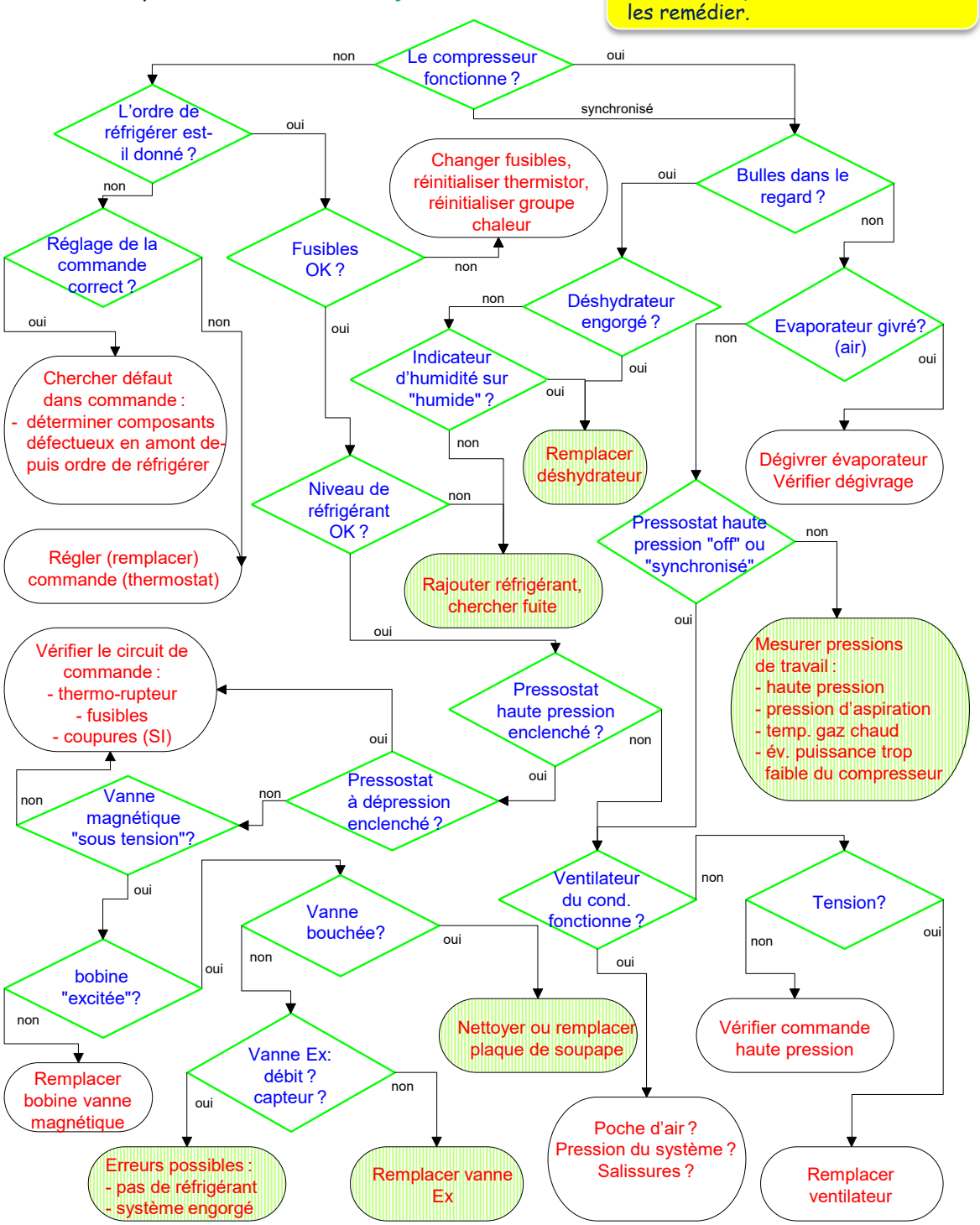
Objectif :
Avec un minimum d'efforts, l'installation doit atteindre un maximum d'utilité.

Cette représentation ne prétend pas être applicable sans restrictions sur tous les systèmes. Cependant elle peut offrir une aide et une vue d'ensemble pour un diagnostic à des technicien inexpérimentés.

10.2 Recherche de pannes et diagnostic

Le permis pour l'utilisation de fluides frigorigènes est nécessaire pour tous les ***travaux sur fond vert***.

Principe :
Prévenir les perturbations - et non les remédier.



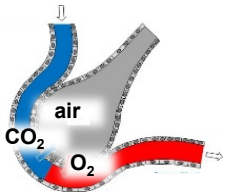
Cette représentation ne prétend pas être applicable sans restrictions sur tous les systèmes. Cependant elle peut offrir une aide et une vue d'ensemble pour un diagnostic à des technicien inexpérimentés.

Le diagnostic du système frigorifique ne se limite pas à la déclaration « l'installation fonctionne » ou « l'installation ne fonctionne pas ».

11 Termes techniques :

Absorbeur : réfrigérateur qui, en lieu et place du compresseur, utilise un agent de sorption qui absorbe le fluide frigorigène. Une fois cette substance saturée, le fluide frigorigène doit être extrait par apport de chaleur.

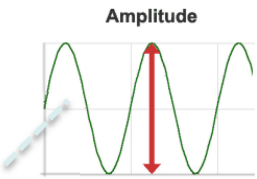
Acides aminés : sont utilisés comme éléments constitutifs par la cellule biologique. Les acides aminés protéinogènes sont les éléments constitutifs de l'ensemble des protéines de toute vie sur terre ; ils sont donc, avec les acides nucléiques (supports de l'ADN), les éléments constitutifs fondamentaux de la vie.



Aérosol : mélange de particules solides ou liquides en suspension et d'air. Dans des cas rares, d'autres gaz peuvent également servir de supports.

Alvéoles : petites cavités pulmonaires. Servent à l'échange gazeux entre les poumons et le sang.

Amorçage : déclencheur initial

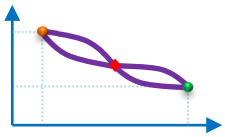


Amplitude : largeur d'une onde. Par exemple, plus la température d'une substance est élevée, plus sa vibration moléculaire sera forte. Son amplitude augmente.

Analyse prédictive : analyse servant à prévoir, dans certaines limites, le comportement futur d'un système sur la base de la connaissance de l'objet, de son observation, de mesures effectuées et des documents techniques. Elle permet de détecter des perturbations avant que surviennent des dommages graves et coûteux, et d'y remédier pendant les horaires de travail normaux. Certains nouveaux systèmes de surveillance électronique comportent un algorithme d'analyse prédictive.

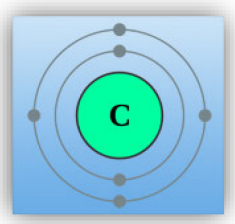
ASHRAE : American Society of Heating, Refrigeration and Air-conditioning Engineers. Association américaine des ingénieurs en chauffage, climatisation et réfrigération. Elle fixe certaines normes, par exemple la nomenclature des fluides frigorigènes.

Azéotrope : se dit d'un mélange constitué de liquides ayant des températures d'ébullition différentes, et qui, une fois mélangés ont un point d'ébullition uniforme mais inférieur. Les mélanges azéotropes se comportent en apparence comme des substances pures.



Calamine : la calamine est un composé d'oxygène et de cuivre. Elle se forme lors du chauffage du cuivre sous réaction avec l'oxygène contenu dans l'air ambiant. La formation de calamine durant le brasage peut être évitée si, pendant le processus, l'oxygène est chassé par un autre gaz, appelé gaz de formage et qui est souvent de l'azote. Un système pollué par la calamine peut tomber en panne pour diverses raisons : d'une part, la calamine favorise la formation d'acide, d'autre part, l'huile qui l'absorbe perd ses propriétés lubrifiantes.

Carbone : élément du système périodique des éléments. Seul élément capable de former avec lui-même des chaînes de molécules. Les informations héréditaires (gènes) sont aussi couplées à ces chaînes. C'est la raison pour laquelle la chimie du carbone est aussi appelée chimie organique. Avec le seul carbone, il est possible de former plus de composés qu'avec la totalité des éléments du tableau périodique. Le diamant en est une forme de grande valeur. Lorsqu'il est chauffé, il se décompose en graphite. Le carbone est aussi la base des fluides frigorigènes organiques. Les produits de combustion que sont le dioxyde de carbone et le monoxyde de carbone ne relèvent pas de la chimie organique en dépit de leur teneur en carbone.

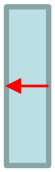


Catalyseur : accélérateur de réactions. L'élément catalyseur est toujours libéré à la fin d'une réaction et peut donc en initier de nouvelles.

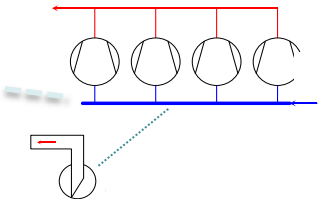
Chaleur spécifique c : capacité calorifique spécifique d'une substance. Indique la quantité d'énergie qu'il faut fournir à 1 kg de cette substance pour en élever la température de 1K. L'eau est la substance qui possède la chaleur spécifique la plus élevée.

Chimie organique : secteur de la chimie basé sur le carbone.

Coefficient de conductibilité thermique : indique la résistance qu'un matériau oppose à la pénétration de chaleur (transmission des mouvements moléculaires). Les échangeurs de chaleur ont besoin de substances ayant un coefficient de conductibilité thermique élevé, contrairement aux couches d'isolation. Ainsi, l'aluminium a un coefficient de 204 W/mK, le cuivre de 384 W/mK et la mousse de PU seulement de 0,028 W/mK.



Collecteur d'aspiration : distribution de la conduite principale d'aspiration entre les compresseurs du groupe. Un collecteur d'aspiration doit satisfaire certaines conditions et correspondre, par conséquent, à un certain design.



Connaissances techniques : celui qui vend des produits chimiques particulièrement dangereux à des particuliers doit posséder les connaissances techniques nécessaires relatives à ces produits. Ces connaissances comportent un savoir élémentaire et des connaissances spécifiques aux produits.

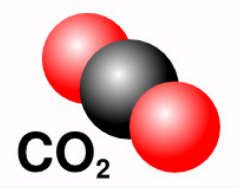
Contamination : infection, pollution, empoisonnement. Surcharge de l'environnement par des substances étrangères. Empoisonnement ou pollution d'un organisme ou d'un système par des substances indésirables ou nocives.

Cornée : partie antérieure transparente et bombée de la sclérotique, une membrane qui constitue aussi le blanc de l'oeil.

Dangereux pour l'environnement : (symbole : N) désigne des substances chimiques ou leurs produits de transformation capables de modifier la qualité du régime naturel de l'eau, du sol, de l'air, du climat, des animaux, des plantes ou des microorganismes, de telle sorte que cela peut nuire immédiatement ou ultérieurement à l'environnement.

Dérivé : on parle de dérivation lorsque, par exemple, on extrait l'hydrogène du méthane pour le remplacer par un autre élément. Le résultat est un dérivé. Dans la technique du froid, il existe ainsi des dérivés non seulement du méthane, mais encore de l'éthane et du propane.

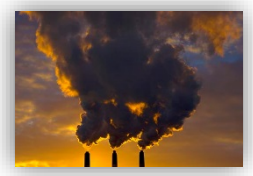
Dioxyde de carbone : produit de la combustion propre d'une biomasse. Le dioxyde de carbone était déjà utilisé comme réfrigérant aux premières heures de la technique du froid, mais a ensuite été abandonné au profit des fluides frigorigènes de sécurité à cause de ses pressions élevées et du processus surcritique.



Drop-in : on parle de remplacement drop-in lorsqu'une installation frigorifique est modifiée afin de pouvoir fonctionner avec un autre fluide frigorigène tout en gardant les mêmes composants et la même huile frigorifique. Avantage : Procédé rapide et simple. Inconvénient : l'efficacité n'est pas au premier plan avec cette procédure rapide.

Ecosystème industrialisé : système dans lequel on essaie de transférer à la technique les symbioses de la nature.

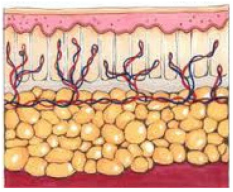
Emission : dégagement de substances dans l'environnement. Les émissions de gaz et de vapeurs atteignent un plus haut degré de diffusion que celles de liquides et de solides.



Enthalpie : teneur énergétique. Toute substance « stocke » la chaleur qui lui est fournie et la restitue à l'environnement en fonction de la différence de température. L'enthalpie est une mesure de l'énergie que contient une substance ou un système.

Enthalpie de vaporisation : quantité de chaleur nécessaire pour faire passer une substance à température constante de l'état liquide à l'état gazeux.

Epiderme : couche superficielle de la peau des animaux et des êtres humains. Il forme l'enveloppe qui protège le corps contre les agressions de l'environnement. Il se compose de plusieurs couches et est constitué à 90% de kératinocytes, les véritables cellules épidermiques. Les couches extérieures de l'épiderme se composent de cellules épithéliales cornées.



Ether : premier réfrigérant utilisé dans l'installation d'essai de Perkins. Est aussi connu comme anesthésiant et solvant.

Exposition : fait d'être en contact direct avec les effets de l'environnement, du rayonnement, d'agents pathogènes, etc.

Facilement inflammable : qualifie les produits chimiques pouvant s'enflammer à très basse température.

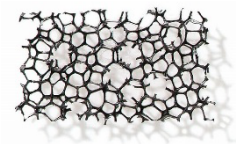
Fiche de données de sécurité (FDS) : cette fiche réunit des informations détaillées sur les dangers, l'utilisation et les mesures de protection d'un produit. La fiche de données de sécurité repose sur la classification des produits.

Fluide frigorigène monocomposant : réfrigérant constitué d'un seul composé. L'utilisation de telles substances est plus simple que celle de mélanges.

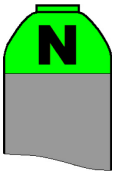
Gaz à effet de serre : gaz doté d'un potentiel d'effet de serre élevé.

Gaz ballast : le gaz ballast empêche l'air humide de condenser à l'intérieur des pompes à vide qui en sont dotées.

Gaz cellulaire : gaz contenu dans les pores d'une mousse. A cause des innombrables transferts de chaleur à l'intérieur d'une telle substance, le coefficient de conductibilité thermique est très bas. Ces substances sont utilisées pour l'isolation.



Gaz de formage : gaz inerte injecté dans une conduite pendant le brasage pour en chasser l'oxygène. Cela permet d'éviter la formation de calamine*. En guise de gaz de formage, on utilise généralement l'azote.



Gaz propulseur : les liquides contenus dans des récipients fermés peuvent en être expulsés sous l'effet d'une surpression. A cet effet, un gaz sous pression est introduit dans le récipient, et agit sur le niveau du liquide. Techniquement, il faut pour cela que l'orifice de sortie se situe dans le liquide sinon seul le gaz propulseur sera expulsé du récipient. Pour des questions de sécurité, on utilisait autrefois des CFC comme gaz propulseurs. A cause de leur action polluante, ils ont été remplacés par des solutions souvent inflammables, comme le pentane.

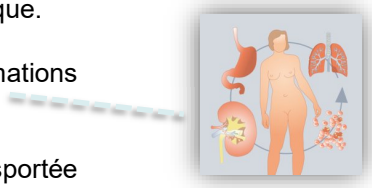
Glissement : dans les mélanges de fluides frigorigènes, écart de température d'ébullition entre les composants dont les points d'ébullition sont le plus élevé et le plus bas. Plus le glissement est grand, plus les signes de ségrégation du mélange à la suite de fuites et de remplissages incorrects sont fréquents.

Halogéner : retirer des éléments d'une molécule pour les remplacer par ceux de la famille des halogènes.

Halogènes : famille d'éléments à haute activité chimique. En font partie des éléments tels que fluor, chlore, brome et iode. Les halogènes sont voisins des gaz rares.

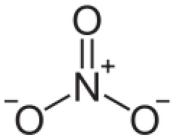
Lacune de solubilité : domaine de température et de pression dans lequel le fluide frigorigène ne se mélange pas avec l'huile frigorifique.

Métabolisme : chez l'être humain, ensemble des transformations chimiques et physico-chimiques se produisant dans l'organisme.

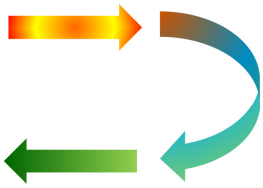


Milieu secondaire : lorsque la chaleur n'est pas transportée uniquement par le fluide frigorigène, mais par un autre milieu (en général liquide) vers l'évaporateur ou depuis le condenseur, on parle alors d'une installation à circuit secondaire. Ce circuit peut se trouver soit du côté évaporateur, soit du côté condenseur, soit des deux. On applique cette configuration avec milieu secondaire précisément lors de l'utilisation de fluides frigorigènes toxiques ou inflammables. En revanche, l'air présent dans un local frigorifique et qui transporte la chaleur de la marchandise à réfrigérer à l'évaporateur n'est pas considéré comme un milieu secondaire.

Nitrate : en chimie inorganique, on entend par nitrates les sels de l'acide nitrique, HNO3. Beaucoup d'entre eux ont des noms triviaux terminés par le suffixe « nitreux ». Autrefois, les nitrates (contenus dans le lisier) étaient utilisés comme engrais, ce qui a posé de notables problèmes écologiques (pollution de l'eau).



Obligation de rapporter : le client est tenu de rapporter au point de vente ou d'amener dans un centre de ramassage les restes de produits chimiques dangereux.



Obligation de reprendre : le vendeur est tenu de reprendre tous les produits chimiques dangereux (y compris les biocides) rapportés par des clients privés (article 22, loi sur les produits chimiques). Les petites quantités doivent être reprises gratuitement.

OFEV : autorité de la Confédération suisse : l'Office fédéral de l'environnement a la compétence de délivrer le permis pour l'utilisation de fluides frigorigènes.

Partenaire de choc : molécule qui déclenche la réaction chimique entre deux autres molécules ou éléments par un « choc ». Le partenaire ou agent de choc n'entre pas lui-même dans le composé qui en résulte.

Pénétrer, pénétration : on parle par exemple de la pénétration d'un agent pathogène dans l'organisme.

Peptides : composés organiques résultant d'une liaison entre plusieurs acides aminés*.

Persistant : sans effet nuisible direct, mais incommodant par sa seule longue présence. Le contraire de persistance est transistance.

Photosynthèse : production (synthèse) de substances organiques dans des organismes vivants et des plantes sous l'action de l'énergie contenue dans la lumière. Le carbone nécessaire à cet effet provient soit de composés organiques simples, soit du dioxyde de carbone extrait de l'air. Le carbone est utilisé pour construire le tissu, tandis que l'oxygène est rejeté sous forme de O_2.

Phrases H : Les phrases H et P et les phrases complémentaires EUH sont de légères instructions de sécurité pour les matières dangereuses utilisées dans le cadre du système global harmonisé pour le classement et le marquage de produits chimiques (GHS). Dans le marquage GHS, les phrases H et P ont une mission analogue à celle des phrases R et S utilisées dans le marquage de l'UE.

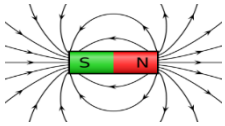
Phrases P : Les phrases H et P et les phrases complémentaires EUH sont de légères instructions de sécurité pour les matières dangereuses utilisées dans le cadre du système global harmonisé pour le classement et le marquage de produits chimiques (GHS). Dans le marquage GHS, les phrases H et P ont une mission analogue à celle des phrases R et S utilisées dans le marquage de l'UE.

Phrases R : Les phrases R (R pour risque) sont des instructions sur les dangers particuliers que présentent les produits chimiques. Il existe au total 68 de ces phrases R, numérotées de R1 à R68. *À partir du 1.6. 2017, les produits marqués par les phrases R et S ne doivent plus être sur le marché. Ils seront remplacés par les phrases H et P.*

Phrases S : Les phrases S (S pour sécurité) sont des conseils de sécurité pour l'utilisation sans danger des produits chimiques. Il existe au total 64 phrases de ce type, numérotées de S1 à S64. *À partir du 1. 6.2017, les produits marqués par les phrases R et S ne doivent plus être sur le marché. Ils seront remplacés par les phrases H et P.*

Physiologique : relatif à la physiologie. Les atteintes physiologiques n'ont pas d'incidence mécanique ou chimique. Physiologie : étude des fonctions normales des organes et des tissus des êtres vivants.

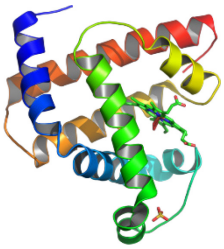
Poids moléculaire : somme des poids atomiques de tous les éléments constitutifs d'une molécule.



Polaire : les particules électriquement chargées, c'est-à-dire dont le nombre de protons dans le noyau est différent de celui des électrons périphériques sont polaires (ion). On parle d'anions lorsque le nombre d'électrons est plus élevé et de cations dans le cas contraire.

Pont de mesure : important instrument de contrôle du frigoriste. Il se présente sous la forme d'une tige centrale sur laquelle sont fixés un manomètre haute pression et un manomètre basse pression, ainsi que deux ou quatre vannes. Il existe des instruments classiques, analogiques ou électroniques disposant d'autres fonctions, p.ex. d'enregistrement des données.

Produit de décomposition : lorsqu'une substance est décomposée ou éliminée, elle ne disparaît pas, mais se transforme en produits qui, à leur tour, doivent être analysés quant à leur impact sur l'environnement.



Protéines : macromolécules composées de carbone, d'hydrogène, d'oxygène et d'azote, et pouvant comporter d'autres éléments tels que du soufre et du sélénium. Elles font partie des éléments constitutifs fondamentaux de toutes les cellules. Non seulement elles donnent leur structure aux cellules, mais elles sont aussi des « machines » moléculaires qui transportent des substances, pompent des ions et reconnaissent les substances signal.

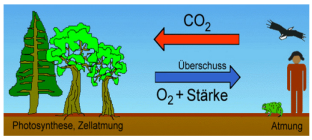
Quasi-azéotrope : les fabricants de mélanges de fluides frigorigènes utilisent cette dénomination lorsque le glissement du mélange est si faible qu'aucun effet négatif ne peut survenir dans la pratique.

Résorber, résorption : absorption de substances dans des systèmes biologiques. Chez les êtres humains et les vertébrés, désigne en particulier l'absorption de produits de dédoublement des aliments pendant la digestion. Chez les êtres humains, la plus grande partie de la résorption se passe dans l'intestin grêle. Pour quelques substances (p.ex. pommades, toxiques de contact), la résorption peut aussi s'effectuer dans la peau.

Smog : le mot « smog » est une contraction des mots anglais « smoke » (fumée) et « fog » (brouillard). Scientifiquement parlant, le smog désigne une forte concentration de polluants atmosphériques au-dessus de zones à forte densité de population en raison de conditions météorologiques particulières. Un des gaz qui participe à la formation du smog est l'ozone.

SUVA : sigle de la Caisse nationale suisse d'assurance en cas d'accidents. Les employés de la technique du bâtiment sont souvent assurés par cet établissement.

Symbiose : le déchet d'un procédé est en même temps une matière première pour un autre procédé. Les symbioses aident à maîtriser la production de déchets. Ainsi, les plantes vertes rejettent l'oxygène que les êtres humains vont consommer parce qu'il leur est nécessaire.



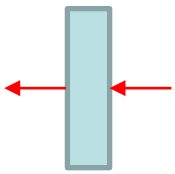
Tamis moléculaire : substance qui, par son effet capillaire, retient les petites particules et laisse passer les grandes. L'effet est donc le contraire de celui d'un tamis mécanique normal. Dans la technique du froid, c'est généralement le silicagel qui est utilisé comme tamis moléculaire dans les déshydrateurs.

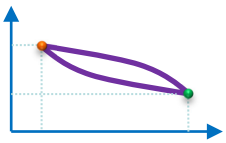
Tissu conjonctif : du point de vue fonctionnel, il sert non seulement de matériau de remplissage, mais encore de réservoir d'eau, de couche de soutien et de lieu de séjour pour de nombreuses cellules. Il sert aussi de support, protège et stabilise les organes, et les sépare les uns des autres.

Toxicité : degré d'effet nuisible. La toxicité est la capacité d'un produit chimique à perturber les fonctions normales d'un système biologique donné. Cela s'exprime, p.ex., par des maux de tête, des difficultés respiratoires, de l'hébétude, des vomissements ou d'autres maladies.

Toxique : qui a l'effet d'un poison ou contient des poisons.

Transfert de chaleur : indique la transmission de la chaleur d'un milieu à l'autre. Les flux thermiques sont très élevés entre des substances solides se touchant, alors qu'ils sont très faibles entre un corps solide et une substance gazeuse ou inversement. Dans le cas d'un double vitrage classique, ce n'est pas (comme on le croit souvent à tort) le gaz remplissant l'espace entre les deux vitres qui contribue à la bonne isolation, mais les deux transferts de chaleur supplémentaires nécessaires. Par conséquent, à la différence de la pratique ancienne, on peut rapprocher les deux vitrages l'un de l'autre sans augmenter les déperditions de chaleur.



Tube capillaire : tube dont le diamètre est si petit que des forces capillaires deviennent déjà efficaces. Est utilisé en technique du froid comme étant la forme la plus simple du détendeur.

Zéotrope : comportement d'un mélange de deux liquides (fluides frigorigènes), qui présentent une élévation de température lors de la vaporisation. La différence de température au début et à la fin du processus est appelé glissement*.