

Utilisation des fluides frigorigènes



Bases pour l'acquisition du permis

Avant-propos

La mission de tout système frigorifique ou pompe à chaleur est le **transport de chaleur**. C'est pourquoi, au début de la technique du froid, il a fallu trouver des « **emballages de transport** » adaptés à cette marchandise spécifique qu'est la chaleur. On sait que l'efficacité d'un transport dépend en grande partie de l'« emballage » du produit transporté. Dans le système frigorifique, cette fonction est assurée par le **fluide frigorigène**. Cependant, il a d'abord fallu développer des substances adaptées qui répondent à toutes les exigences et à tous les besoins.

- **Exigences envers les pressions de travail**

Les **pressions de travail** utilisées ne doivent ni être trop élevées, ni sous vide. Une trop haute pression de condensation représente un risque pour la sécurité, de plus le coût du matériel augmente. 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 fluides doit être assurée pour que les réactions chimiques entre eux ou avec les matières utilisées dans le système soient exclues. Idéalement, les produits utilisés doivent atteindre la durée de vie de l'installation globale.

- **Exigences envers l'énergétique**

Dès le début de la technique du froid, les fabricants ont visé des performances élevées à l'aide de fluides frigorigènes adaptés. Cela signifie pouvoir déplacer **le plus d'énergie thermique** possible de l'évaporateur au condenseur avec le **moins d'énergie de transport** 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 ont 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.

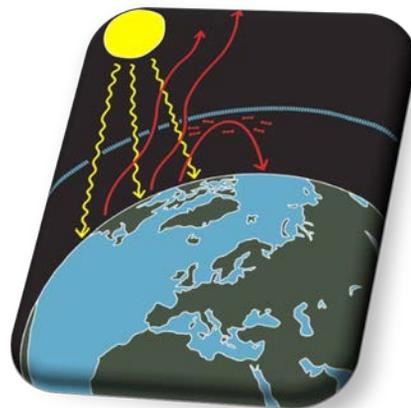
Les exigences internationales réclament une réduction de ces effets secondaires par le développement de fluides frigorigènes alternatifs sans teneur en chlore, avec un potentiel d'effet de serre réduit, ainsi qu'une compétence en manipulation et prise de conscience des responsabilités quant à l'utilisation 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.

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.

Ceci confirme que la personne titulaire est en mesure de juger des conséquences des émissions*. Elle doit être motivée et capable d'éviter les émissions de fluides frigorigènes.



Mentions légales

Manipulation des fluides frigorigènes	Bases pour l'acquisition du permis Version février 2024-21 basée sur l'ORRChim
Site web	www.svk-asf-atf.ch
Contact	fachbewilligung@svk.ch / secretariat@asf-froid.ch
Rédacteur Adaptation version française	Patrick Goetz, Visconsil AG, Neuenegg SVK / Association Suisse du froid, section romande
Donneur d'ordres	Office fédéral de l'environnement OFEV
Éditeur / source	Schweizerischer Verband für Kältetechnik SVK Eichstrasse 1 6055 Alpnach Dorf
Prix unitaire	25.00 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

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 9 « 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.cooling-reg.ch

Déclaration des nouvelles installations

Vous trouverez des informations sur l'inscription des installations soumises à la déclaration sous :

www.svk-asf-atf.ch/fr/connaissances-techniques/bureau-de-communication/

OFEV

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

- www.ofev.admin.ch

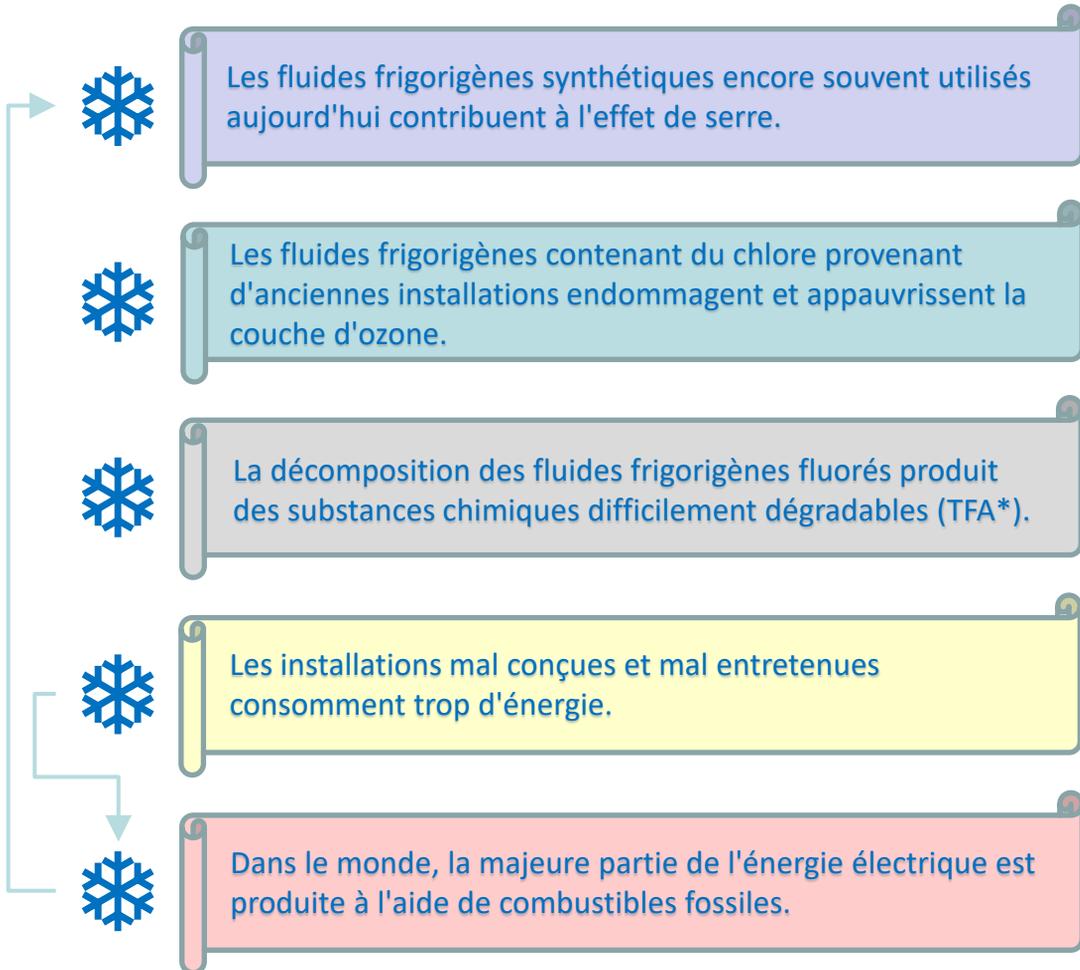
Sommaire

1	L'écologie et la technique du froid	5
1.1	Impact sur l'écosystème	6
1.1.1	L'amincissement de l'ozone	6
1.1.2	Effet de serre	7
1.1.3	Produits de décomposition	7
1.2	Écosystème & énergie	8
2	Principes de l'écologie	9
2.1	Les espaces de vie	10
2.2	L'atmosphère	11
2.3	Composition de l'atmosphère	12
2.4	L'ozone dans la troposphère	13
2.5	La couche d'ozone	14
2.6	Appauvrissement de la couche d'ozone dans la stratosphère	15
2.7	L'effet de serre	16
2.8	Pollution des cours d'eau	17
2.9	Propriétés et compatibilité environnementale	18
2.10	PFAS & TFA	19
2.11	Émission et scénario	20
2.12	Termes concernant la couche d'ozone et l'effet de serre	21
3	Toxicologie	23
3.1	Inhalation	23
3.2	Pénétration cutanée	24
3.3	Ingestion	24
3.4	Toxicité	25
3.5	Évaluation des risques et prévention	27
4	Législation	28
4.1	Loi sur les produits chimiques	28
4.2	Ordonnance sur la réduction des risques liés aux produits chimiques	29
4.3	Permis et obligation de recours à des spécialistes de la sécurité du travail	29
4.4	Obligations & interdictions	30
4.5	Force-Triangle	30
4.6	Importation et utilisation de produits chimiques	31
4.7	Autorités / associations compétentes	31
5	Fluides frigorigènes organiques	32
5.1	Fabrication de fluides frigorigènes synthétiques	33
5.2	HFO / HFC	34
5.3	Désignation selon ASHRAE	35
5.3.1	Aperçu des fluides frigorigènes organiques	36
5.4	Mélanges de fluides frigorigènes organiques	37
5.4.1	Mélanges zéotropes	37
5.4.2	Mélanges azéotropes	38
5.4.3	Mélanges quasi-azéotropes	38
6	Fluides frigorigènes inorganiques	39
7	Tableau des principaux fluides frigorigènes	40
8	Recyclage et élimination	41
8.1	Élimination par destruction	41
8.2	Recyclage primaire	41
8.3	Recyclage secondaire	41
9	Termes techniques	42

1

L'écologie et la technique du froid

La technique du froid et l'écologie ? À première vue, ces deux disciplines n'ont rien en commun. L'écosystème fonctionne indépendamment du système frigorifique. Mais le système frigorifique peut très bien influencer l'écosystème. Et ce, malheureusement pas dans le sens positif. Les effets peuvent être grossièrement répartis comme suit :



À première vue, les consommateurs électriques ont un comportement climatiquement neutre en ce qui concerne leurs besoins en énergie. Si l'on y regarde de plus près, on s'aperçoit que la manière dont l'énergie est fournie est également importante. L'électricité peut être produite de différentes manières, notamment à partir de sources d'énergie fossile, qui représentent plus de 60 % de la production mondiale. C'est pourquoi, chaque kWh d'énergie électrique pour 600 Wh, génère des émissions de CO₂. Si l'installation de climatisation ou de réfrigération est directement entraînée par un moteur à combustion, cette part passe à 100 %.

Émissions primaires:

Effet de serre provoqué par les fuites.

Émissions secondaires:

Effet de serre provoqué par la demande d'énergie et la mise à disposition de matériaux.

Dans cette optique, les installations doivent être planifiées, installées et entretenues de manière optimale. Cela permet d'une part, de maintenir à un faible niveau le potentiel de réchauffement climatique généré par les besoins énergétiques, et d'autre part, d'éviter les émissions*.

A l'origine, les connaissances sur notre environnement et l'écologie ne faisaient pas partie des bases nécessaires pour la technique du froid. Cela a fondamentalement changé depuis 1992. À l'époque, il a été prouvé de manière concluante que le trou dans la couche d'ozone atmosphérique était en grande partie provoqué par les CFC*. Ces substances étaient également utilisées dans les installations frigorifiques et étaient considérées comme non problématiques pour l'environnement. Jusqu'à cette date, le fluide frigorigène contenu dans ces installations était donc simplement relâché dans l'environnement. Dans les anciens manuels scolaires, on pouvait même trouver des phrases telles que : « pour nettoyer les condenseurs refroidis à l'air, on peut utiliser du R12 ». L'utilisation très légère de ces substances depuis leur introduction en 1928 jusqu'en 1992, a contribué à ce que des millions de kilotonnes de ces substances subsistent encore à l'état latent dans l'atmosphère : de très nombreux composés CFC* présentent des temps de séjour atmosphérique largement supérieurs à 200 ans. Ce fait montre déjà qu'il s'agit de composés très stables. C'est précisément le fait que ces substances n'interagissent pas avec l'environnement, et qu'elles ne sont donc généralement ni inflammables ni toxiques, qui a conduit à l'époque à affirmer que les CFC* étaient sans danger pour l'environnement.

Aujourd'hui, il est facile de voir l'erreur dans ce raisonnement : des substances non dangereuses pour l'homme et l'animal peuvent néanmoins développer un potentiel de nuisance considérable sur l'environnement. Mais en 1928, l'homme était toujours au centre des réflexions, il était considéré comme le « couronnement » de la création évolutive. C'est pourquoi on a négligé le fait que l'homme n'est pas représentatif de l'ensemble de l'écosystème.

De plus, il faut savoir que le voyage des molécules de CFC* jusqu'à la couche d'ozone stratosphérique dure entre 15 et 30 ans. Le trou dans la couche d'ozone découvert en 1977 était donc dû à des émissions de CFC* survenues avant 1957.

Les fluides frigorigènes synthétiques nécessitent que la technique du froid se préoccupe de l'écologie.

Les fluides frigorigènes synthétiques (fabriqués artificiellement) ne doivent pas être relâchés dans l'environnement.

1.1.1

L'amincissement de l'ozone

Le lien entre amincissement de la couche d'ozone et émissions de fluides frigorigènes n'a pas été établi directement. De plus, les grands producteurs de ces substances n'étaient pas enthousiastes à l'idée d'arrêter la production. Ce n'est donc qu'à partir de 1990 que des décisions valables au niveau international ont pu être prises pour réduire la production et les émissions de CFC, décisions qui avaient un caractère obligatoire, du moins pour les pays industrialisés. Ces décisions incluent également les règles de manipulation des fluides frigorigènes. Raisonnablement, ces règles ont été déclarées valables pour tous les fluides frigorigènes. Il n'y aura donc plus jamais de fluide frigorigène fabriqué artificiellement qui puisse être simplement relâché dans l'environnement.

Les fluides frigorigènes modernes n'appauvrissent plus la couche d'ozone : depuis 2002, la construction de nouvelles installations frigorifiques contenant des fluides frigorigènes appauvrissant la couche d'ozone est interdite en Suisse et dans l'UE. Les installations frigorifiques peuvent toutefois atteindre des durées de vie très élevées. Il est donc tout à fait possible que l'on rencontre dans la pratique, et pendant un certain temps encore, des installations non modifiées.

Les fluides frigorigènes chlorés contenus dans les anciennes installations endommagent la couche d'ozone en cas d'émission.*

Le problème de la couche d'ozone est désormais considéré comme résolu par l'opinion publique. Mais comme la mise au ban internationale des CFC* par des interdictions et des réglementations spécifiques à chaque pays n'a été réalisée qu'après 1990, il a fallu attendre 2014 pour que les scientifiques confirment que les mesures prises sont effectivement efficaces. Les mesures effectuées à cette époque ont montré que la couche d'ozone se reconstituait lentement. Mais il faudra attendre au moins jusqu'en 2050 pour retrouver le niveau d'avant 1950.

1.1.2

Effet de serre

Après que le problème de la destruction de l'ozone ait été considéré comme résolu par la suppression de l'halogène chlore lors de la fabrication des fluides frigorigènes, le problème suivant est apparu : la plupart des fluides frigorigènes synthétiques utilisés avant 2020 ont un potentiel de réchauffement global considérable.

Les fluides frigorigènes synthétiques stables ont souvent un potentiel réchauffement considérable.

Même si les installations frigorifiques sont loin derrière la quantité globale de CO₂ émise en termes d'émissions*, il faut tenir compte du potentiel de réchauffement climatique des fluides frigorigènes synthétiques stables, multiplié par un facteur de 50 à 5 000.

La grande stabilité de ces composés pose ici problème : après une émission*, ils persistent en moyenne 15 ans dans l'atmosphère avant d'être dégradés par le rayonnement solaire et l'oxygène présent dans l'air. La solution à ce problème réside dans l'utilisation de fluides frigorigènes moins stables, qui se dégradent plus rapidement. La manipulation de tels fluides frigorigènes nécessite toutefois des spécialistes bien formés et motivés, car ces fluides sont souvent inflammables et/ou toxiques. En outre, les fluides frigorigènes ne doivent en aucun cas se dégrader dans le système de réfrigération, ce qui peut toutefois être initié en cas d'encrassement du système de réfrigération dû à un manque de propreté lors du montage et de l'entretien.

1.1.3

Produits de décomposition

La problématique des fluides frigorigènes synthétiques dans l'atmosphère s'est déplacée du potentiel de destruction de l'ozone vers l'effet de serre et, depuis 2020, de plus en plus vers les substances per- et polyfluoroalkyles (PFAS*). Il est beaucoup plus difficile de parvenir à un accord global sur ce point que sur la problématique de l'ozone. En effet, pratiquement toutes les entreprises commerciales et industrielles émettent directement ou indirectement des gaz à effet de serre. De plus, de nombreux produits de la vie quotidienne génèrent entre autres des PFAS* lors de leur élimination.

Le secteur de la réfrigération est à nouveau concerné : L'idée de minimiser le GWP élevé de nombreux fluides frigorigènes synthétiques persistants* en utilisant des substances à courte durée de vie, conduit à une concentration plus élevée des produits de décomposition* (PFAS*) dans l'environnement de l'émission*.

Les fluides frigorigènes synthétiques ayant un temps de séjour atmosphérique court forment des TFA* lors de leur décomposition.

Il s'est avéré difficile de développer de nouveaux produits de substitution présentant un potentiel de risque moindre pour l'environnement : La plupart du temps, les substances respectueuses de l'environnement présentent un potentiel de risque accru pour l'homme. Ce qui semble illogique au premier abord peut être facilement justifié : l'exigence d'une décomposition rapide des fluides frigorigènes après une émission signifie que ces substances doivent interagir avec l'environnement. Par conséquent, les substances qui répondent à 100 % à cette exigence sont généralement toxiques et/ou inflammables. Mais cela rend l'utilisation de tels fluides frigorigènes coûteuse du point de vue de la sécurité. Ainsi, les fluides frigorigènes utilisés aujourd'hui correspondent souvent à un compromis entre la stabilité dans le circuit frigorifique et la dégradabilité dans l'environnement.

Quoi	Source d'énergie	Mise à disposition / fonction	Horizon temporel disponible après	Stockage
Plantes vertes Êtres vivants	Sources d'énergie renouvelables <i>Biomasse</i> → <i>énergie chimique</i>	Combustion : se compose de bois, de plantes et d'autres produits organiques. Souvent obtenu à partir de déchets, de restes et de carcasses.	Des mois à des années	Stockage des produits <i>bon marché</i>
Plantes vertes Êtres vivants	Sources d'énergie non renouvelables <i>sources d'énergie fossiles</i> → <i>énergie chimique</i>	Putréfaction : est obtenue à partir de combustibles formés dans les temps géologiques anciens à partir de produits de décomposition de plantes et d'animaux morts. Il s'agit notamment du lignite, de la houille, de la tourbe, du gaz naturel et du pétrole. → sources d'énergie fossiles ou combustibles fossiles.	Des millions d'années	Stockage des produits <i>bon marché</i>
Plantes vertes Êtres vivants	Biogaz <i>énergie chimique</i>	Digestion : tous les types d'hydrocarbures. Ils sont produits par la décomposition de produits végétaux et animaux. Le métabolisme* des humains et des animaux produit également du biogaz par l'assimilation des aliments.	Des jours à des mois	Stockage dans des récipients sous pression <i>cher</i>
Thermique	Vent <i>énergie cinétique</i>	Les différences de température dans l'air atmosphérique dues à une incidence inégale du rayonnement solaire (jour/nuit ; couverture nuageuse ; etc.) produisent des mouvements d'air dus aux différences de pression. Ce vent (énergie cinétique) peut être transformé dans des centrales éoliennes, par exemple en courant électrique.	Direct	Batterie <i>très cher (encore)</i>
Différence d'altitude géodésique	Altitude <i>potentiel énergie</i>	L'air réchauffé par le soleil peut absorber davantage d'eau évaporée. Cette humidité monte ainsi jusqu'à de hautes altitudes. Si la température baisse, l'air ne peut pas retenir l'eau, qui est alors éliminée sous forme de pluie. Les lacs artificiels se remplissent alors, ce qui permet de convertir cette énergie potentielle en courant électrique.	Direct en cas de pluie et de fonte des neiges	Lac artificiel <i>cher</i>
Photovoltaïque	Rayonnement <i>Énergie des ondes électromagnétiques</i>	L'énergie solaire est directement transformée en énergie électrique dans un capteur solaire. <i>(Principe des cellules solaires)</i>	Direct en cas de soleil	Batterie <i>très cher (encore)</i>
Capteurs thermiques	Rayonnement <i>Énergie des ondes électromagnétiques</i>	L'énergie solaire est transformée en chaleur dans un capteur solaire thermique. <i>(principe de l'effet de serre)</i>	Direct en cas de soleil	Accumulateur de chaleur <i>cher</i>
Énergie nucléaire	Matière <i>Énergie de la masse</i>	La masse est égale à l'énergie. Dans les centrales nucléaires, cette énergie est transformée en énergie thermique par fission ou fusion nucléaire, qui peut à son tour faire tourner une turbine. Il en résulte une perte de masse.	Des milliards d'années	Matière <i>bon marché</i>

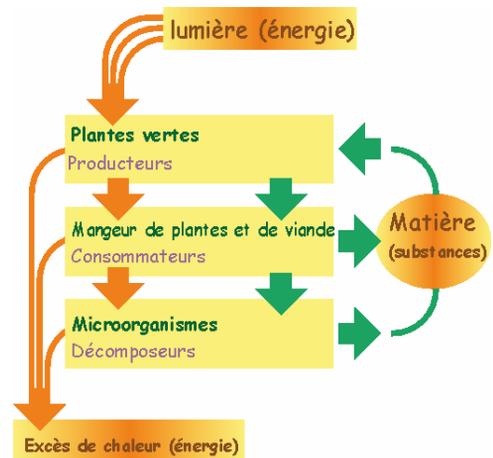
L'écologie, issue de la biologie (apprentissage de la vie), traite de l'équilibre de la nature. Elle tente d'appréhender la nature comme un tout et décrit les interactions (symbioses*) entre l'être vivant et son environnement inhabité. Le terme *écosystème* se compose au sens le plus large des deux mots « maison » et « relié », et signifie la « maison reliée ». Le terme écosystème a été défini comme une communauté d'organismes vivant dans leur environnement inanimé, appelé habitat ou biotope.

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.

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 CO₂ 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 CO₂ 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.

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**.

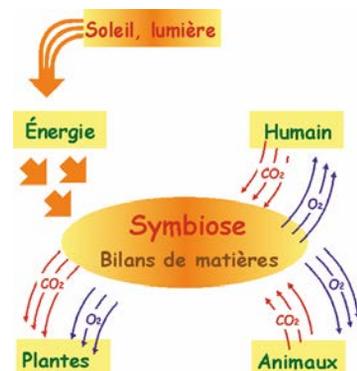
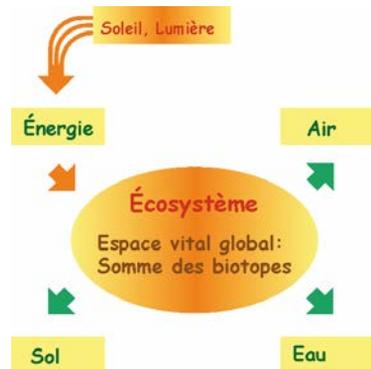
D'autre part, ce système est complété par le fournisseur d'énergie, le soleil. Toute la vie se déroule dans ces espaces de vie, et les matières sont également échangées entre eux.

Selon l'organisme et le niveau de la spécialisation, le lieu de résidence d'un individu se limite à l'un de 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 **sympiose***. 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 gènes, 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 **R744** (dioxyde de carbone CO_2) constitue une exception à cette règle. En effet, les produits de combustion de matières organiques, dont le CO_2 fait partie, ne sont eux-mêmes plus considérés comme des matières organiques.



Symbiose:

Cohabitation de différentes espèces pour un bénéfice mutuel / en dépendance mutuelle.

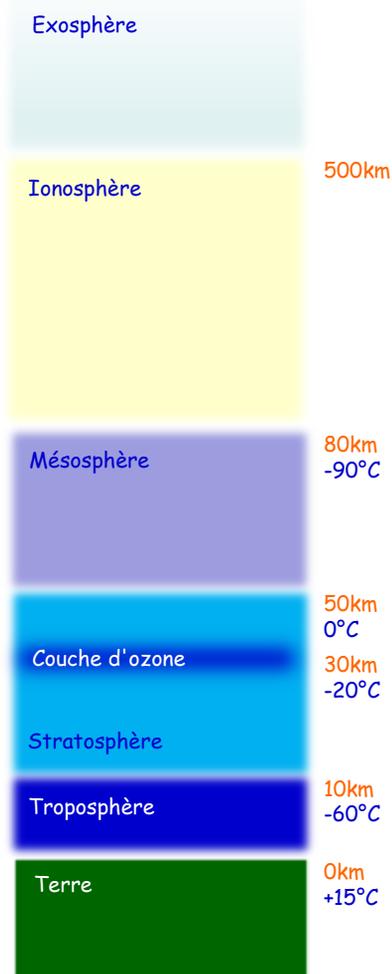
Étant donné que les fluides frigorigènes restent dans l'atmosphère après une émission*, cet espace de vie doit être examiné de plus près. *L'effet de serre* aussi bien que *la couche d'ozone* agissent dans l'atmosphère. Alors que l'effet de serre est surtout actif dans les couches inférieures de l'atmosphère (troposphère), la couche d'ozone se trouve, quant à elle, 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 chutent à mesure que l'on monte et 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 la couche suivante appelée *ionosphère*, la température augmente fortement. Ceci due 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 quant à elle 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 jusqu'à 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.



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. Précisément du point de vue des substances toxiques et des gaz stables dans l'air, le mot d'ordre est de réduire les émissions à un minimum inévitable.

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.

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 se trouvent également dans l'atmosphère. Mais comme la somme totale de ces gaz ne représente qu'une petite partie, on les désigne ensemble :

- 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.

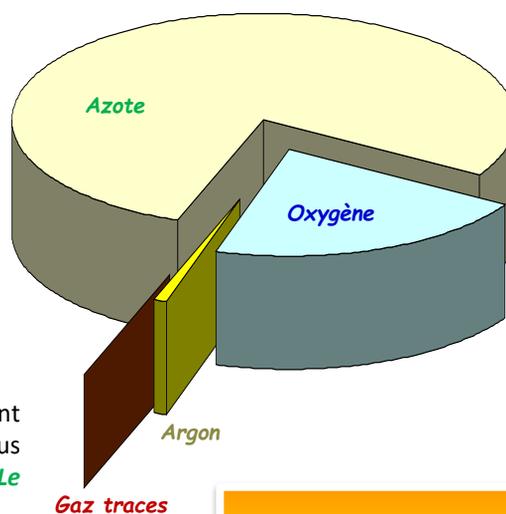
L'ozone dans la troposphère sera traité séparément au chapitre 1.4. Les hydrocarbures inflammables (HC : méthane, éthane, propane, butane, isobutane, pentane, etc.) sont produits essentiellement par l'affinage de produits alimentaires sur le chemin de la plante vers la viande. Ainsi les grands troupeaux 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.



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

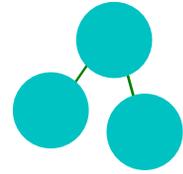
Les émissions de substances stables dans l'air doivent être réduites à un minimum inévitable.



Gaz traces :

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

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 issus 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 : pluie acide

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 reste constante.

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).

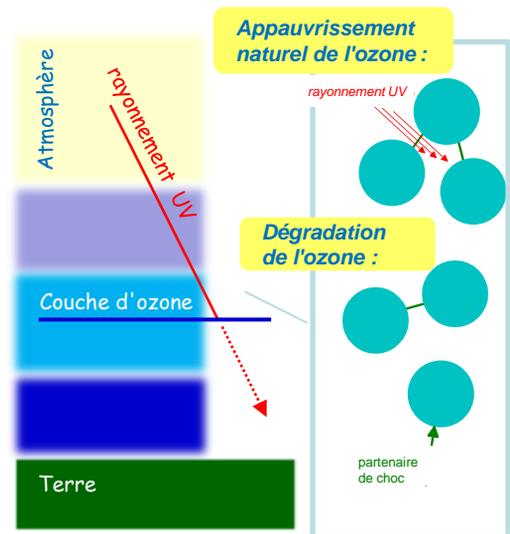
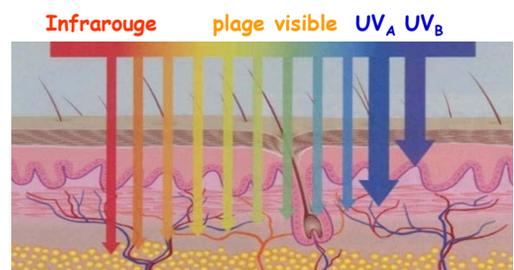
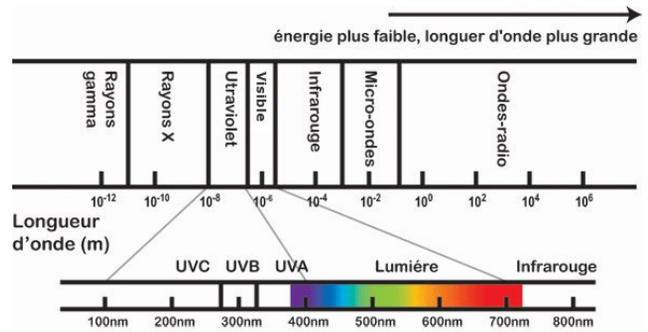
Contrairement au rayonnement infrarouge, un excès de rayonnement UV endommage notre peau en raison de son potentiel énergétique élevé.

Le rayonnement UV produit de la vitamine D dans le corps, mais il est également responsable des coups de soleil. C'est pourquoi il faut protéger la peau avant de s'exposer au soleil. Chaque coup de soleil augmente le risque de développer un cancer de la peau.

Les rayons UV-A provoquent des rides et pénètrent le plus profondément possible dans le **tissu conjonctif***, qu'ils peuvent détruire.

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 choc* » 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.



Les rayons UV-A pénètrent le plus profondément dans le tissu conjonctif*.

Maintien de l'ozone dans la stratosphère :

- La couche d'ozone dans la stratosphère protège des rayonnements UV de la surface de la Terre par un processus chimique.
- Ce processus détruit l'ozone et transforme l'énergie des rayons UV en chaleur.
- À l'aide d'un « partenaire de choc* », l'oxygène libre (O) issu de l'appauvrissement de l'ozone se combine avec les molécules existantes d'oxygène (O_2) en ozone (O_3).

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 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 molécule stable. Si un atome d'oxygène libre arrive à proximité, les deux atomes d'oxygène se combineront en une molécule d'oxygène O₂. 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**.

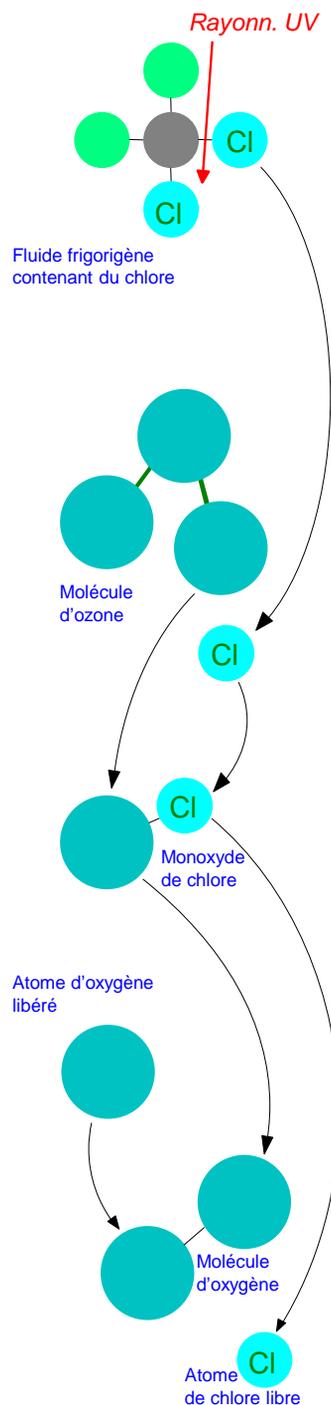
Destruction de l'ozone par les CFC* et les HCFC* :

- 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, seuls les fluides frigorigènes qui ne contiennent pas de chlore ou dont leur ODP (PAO) ne dépasse pas 0,0005 sont autorisés aujourd'hui.

Destruction de l'ozone par le chlore :



Le potentiel d'appauvrissement de l'ozone (ODP) d'un fluide frigorigène autorisé ne doit pas être supérieur à 0,0005.

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 y contribue, 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 synthétiques connus, selon leur groupe et leur type, ont un impact 500 à 10'000 fois plus important.

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 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

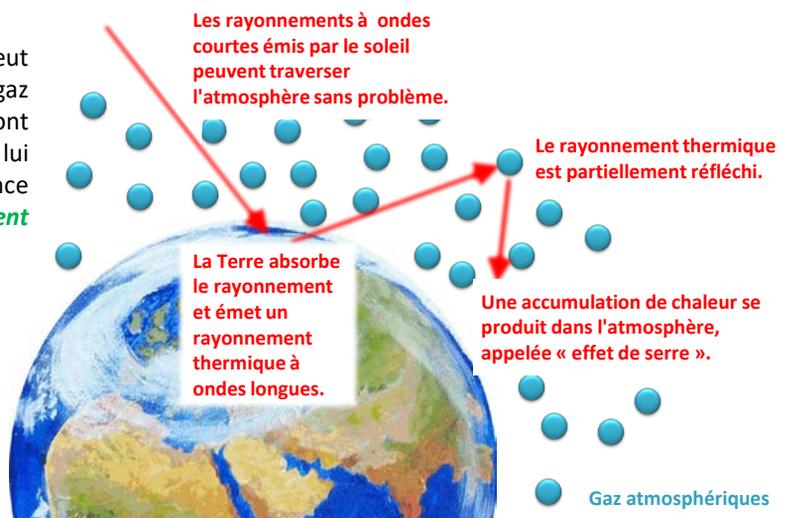
La lumière du soleil à ondes courtes peut traverser sans problème les gaz atmosphériques. Les rayons sont absorbés par le sol et transformés par lui en **chaleur**. Le sol réchauffé commence alors à émettre un **rayonnement thermique à ondes longues**.

Ce rayonnement thermique à ondes longues traverse mal les gaz atmosphériques : une partie est réfléchi 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 présent dans l'atmosphère provoque un effet de serre, il reste important de prendre des mesures pour 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.

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 frigorigène* 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 frigorigères, il y a un risque de pollution des cours d'eau seulement dans certains 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 frigorigène 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 :

NH₃ / R 717

Dérivés* d'hydrocarbures

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 frigorigère. 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 supérieures à 0 °C, l'eau est la meilleure alternative.

Fluides secondaires* :

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

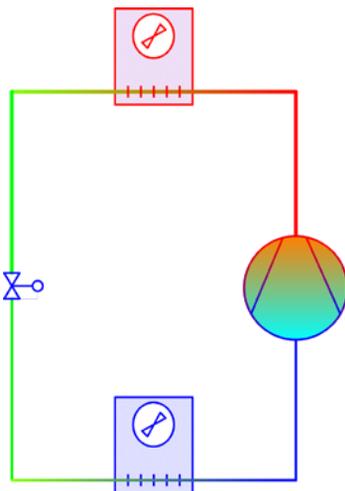
Au début de la technique du froid, on utilisait ce qui fonctionnait comme fluide frigorigène. Les fluides frigorigènes de la 1^{ère} génération (pas toujours très sécurisant) ont provoqué une série d'accidents. En 1928 alors que l'ammoniac et d'autres substances toxiques ou inflammables devaient être remplacés 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 déclenché 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 capacité **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
- Pression d'évaporation pas sous vide.
- Pression de condensation dans les limites des spécifications du matériau

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.

Presque tous les fluides frigorigènes synthétiques sont à base d'hydrocarbures, dans lesquels un ou plusieurs atomes d'hydrogène ont été remplacés par du fluor. Cette mesure a permis d'une part de réduire ou d'éliminer l'inflammabilité et d'autre part d'adapter les valeurs physiques aux besoins. Cependant, les produits de décomposition* correspondants se retrouvent dans l'environnement après une émission*.

PFAS:

Composés alkyles per- et polyfluorés

TFA:

Trifluoroacétate

Outre les fluides frigorigènes synthétiques, les produits chimiques fluorés correspondants sont très répandus, par exemple dans les ustensiles de cuisine (revêtement) ou les vêtements (hydrofuges). En se décomposant dans l'environnement, tous ces produits chimiques fluorés forment ce que l'on appelle des **PFAS*** (composés alkyles perfluorés et polyfluorés), qui sont eux-mêmes très difficilement dégradables.

C'est pourquoi ils sont également appelés « forever chemicals », qui ne se décomposent pas dans les processus de dégradation typiques dans l'environnement et ne sont détruits qu'à des températures supérieures à 1000 °C.

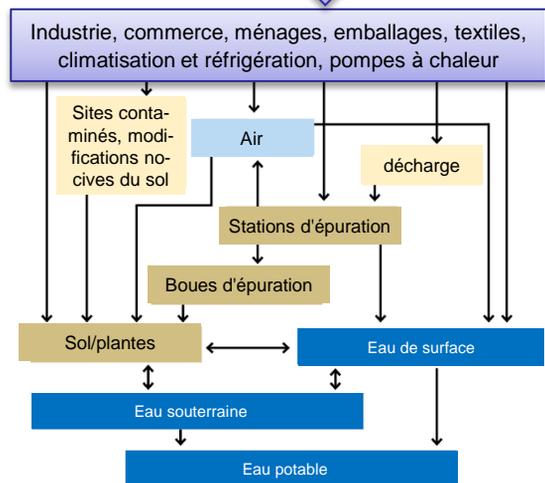
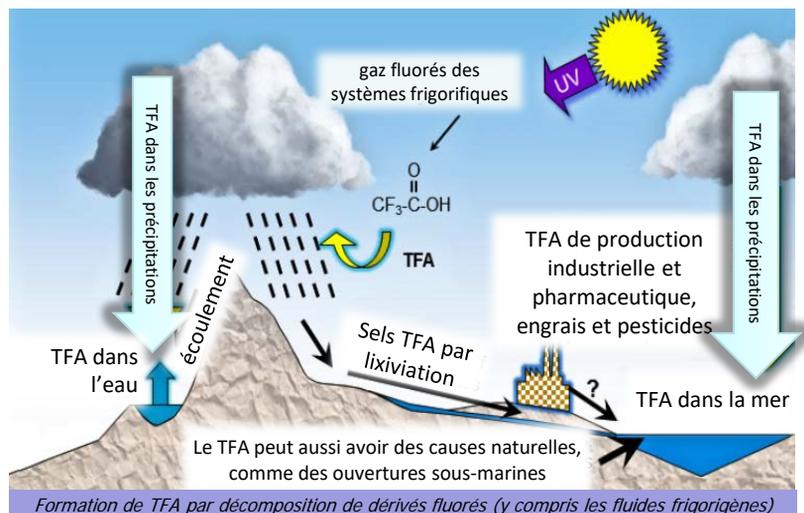
Les PFAS* sont des produits chimiques difficilement dégradables qui ont été utilisés pendant des décennies. On les retrouve aujourd'hui dans l'environnement et dans la chaîne alimentaire. Sur la base de la dernière évaluation de l'Autorité européenne de sécurité des aliments (EFSA), l'Office fédéral de la sécurité alimentaire et des affaires vétérinaires (OSAV) examine chaque fois de nouvelles mesures à prendre.

TFA signifie acide trifluoroacétique. Ce produit chimique fait partie du groupe des PFAS*. C'est un liquide incolore, très hygroscopique*, à l'odeur âcre de vinaigre. Il est nocif par inhalation, provoque de graves brûlures et est également nocif pour les organismes aquatiques lorsqu'il est dilué. Dans l'environnement, il se forme notamment par photo-oxydation de fluides frigorigènes fluorés.

En raison de la plus faible stabilité des réfrigérants HFO* (dérivés* d'alcènes*), la concentration dans l'environnement lors d'émission est plus élevée que celle des réfrigérants HFC* (dérivés* d'alcanes*), plus stables. Il en résulte que ce sont les HFO ayant un GWP plus faible qui entraînent une concentration plus élevée de TFA* dans l'environnement lors d'émission.

PFAS

Contenu dans:

**TFA**

Formation de TFA par décomposition de dérivés fluorés (y compris les fluides frigorigènes)

L'*effet de serre* physique et la *destruction* chimique de l'*ozone* par les *catalyseurs** sont deux processus différents. Les fluides frigorigènes utilisés aujourd'hui dans la technique du froid favorisent l'effet de serre dans la *troposphère*, tandis que ceux qui détruisent la *couche d'ozone* dans la *stratosphère* ne se rencontrent plus que dans les anciennes installations.

Après une émission*, le fluide frigorigène apparaît dans l'atmosphère d'abord sous la forme d'un *gaz à effet de serre**. Chaque gaz présent dans l'atmosphère possède un *potentiel de réchauffement* global plus ou moins important. L'appauvrissement de la couche d'ozone ne se produit que pour les fluides frigorigènes contenant du chlore, une fois que la couche d'ozone est atteinte.

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 fluides frigorigènes fluorés, formés à partir d'*alcènes**, possèdent un potentiel de réchauffement accru en raison de leur stabilité. En se décomposant, ils forment entre autres du *TFA** (trifluoroacétate), qui s'accumule dans les eaux souterraines et n'est que difficilement dégradable. Le TFA fait partie des *PFAS** (composés alkylés per- et polyfluorés).

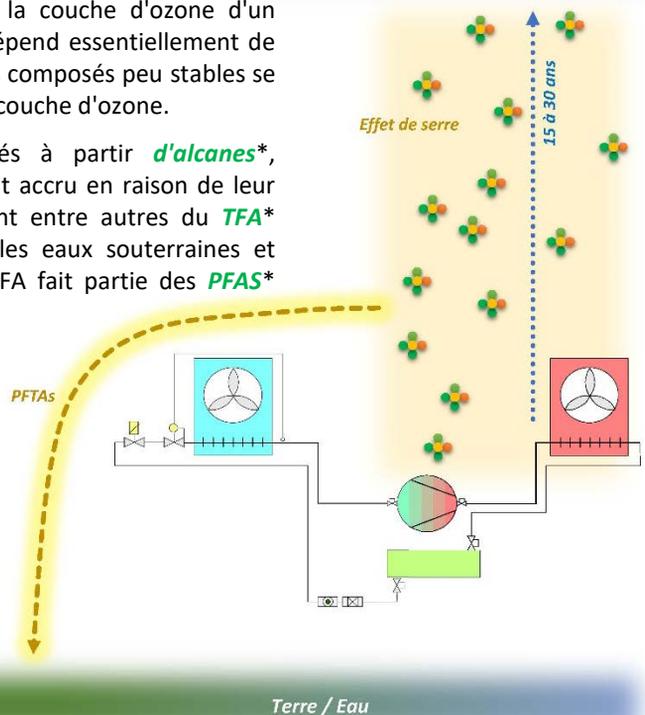
Les fluides frigorigènes fluorés à base d'*alcènes** sont moins stables, se dégradent rapidement dans l'atmosphère et n'ont donc qu'un faible potentiel de réchauffement global. La concentration de TFA* est donc plus importante dans la zone d'émission.

D'une manière générale, les *émissions* de fluides frigorigènes synthétiques doivent donc être évitées.

Un montage impeccable et un service compétent doivent permettre de prévenir les fuites ultérieures. Celles qui apparaissent malgré tout doivent être détectées et éliminées. Les pertes de réfrigérant ne doivent pas être tolérées. Les matériaux et outils actuels permettent de minimiser l'apparition de fuites lorsqu'ils sont utilisés correctement. Des affirmations telles que « les installations absolument étanches n'existent pas » ne doivent pas être tolérées. La prétendue normalité étouffe dans l'œuf toute motivation à s'améliorer.

- 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.
- Les fluides frigorigènes fluorés rapidement dégradables forment des TFA.

Couche d'ozone (environ 30km d'altitude)



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.

Ozone depletion potential

Potentiel d'appauvrissement de l'ozone

Substance de référence : R11

ODP

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

Potentiel de réchauffement global

Substance de référence : CO₂**GWP**

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 CO₂ (CO₂ = 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

Potentiel total de réchauffement équivalent

Substance de référence : CO₂**TEWI**

Contrairement au GWP, le TEWI ne prend pas seulement en compte l'effet de serre direct qui résulte du rejet d'un gaz. Le TEWI tient également compte de l'effet de serre indirect (*émissions secondaires*) dû à la demande d'énergie et aux pertes dues au recyclage.

- *Besoin d'énergie pour l'exploitation*
- *Émissions directes par les produits d'exploitation*
- *Pertes dues au recyclage*

Alors que le GWP de chaque gaz peut être mesuré directement, la détermination du TEWI est plus complexe. En effet, pour pouvoir déterminer à l'avance les fuites et les pertes de recyclage attendues, il faudrait presque des compétences « prophétiques ». C'est pourquoi une formule d'approximation a été déduite à l'aide des données statistiques disponibles.

La formule suivante permet de déterminer approximativement le TEWI. Les données relatives au taux de fuite annuel et aux pertes de recyclage prévisibles peuvent être obtenues à partir de relevés statistiques.

$$TEWI = (GWP \times L \times n) + (GWP \times [1 - \alpha_r]) + (n \times E_a \times \beta)$$

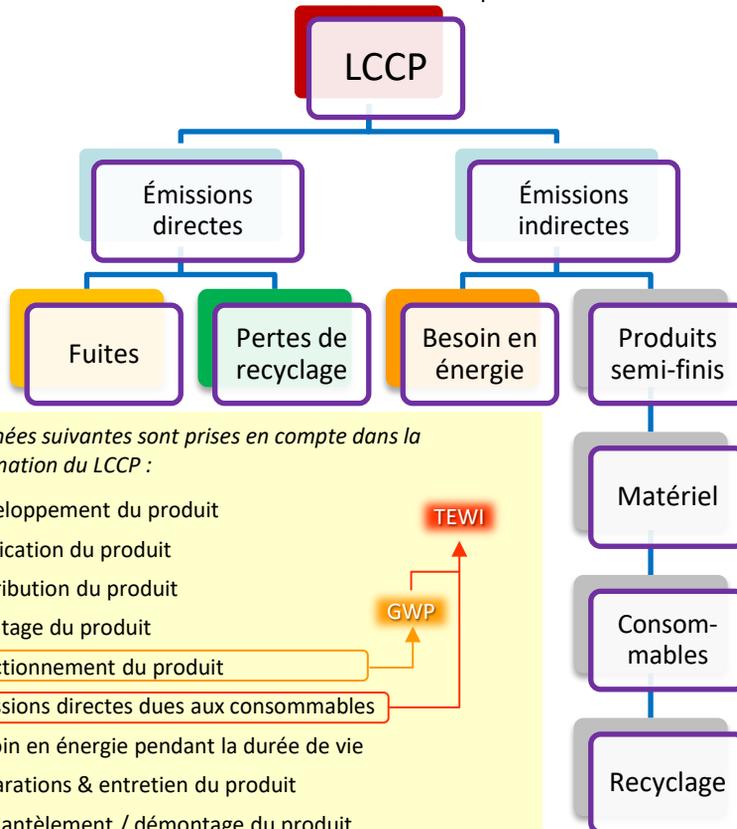
TEWI : total equivalent warming impact	contient également des émissions secondaires
GWP : global warming potential	équivalent CO ₂ selon le IPCC IV
L : taux de fuite annuel	en kg
n : durée de vie de l'installation	en années
m : charge en fluide frigorigène	en kg selon les indications du fabricant
α_r : facteur de recyclage	pertes lors du recyclage
E_a : besoin en énergie	en KWh par an
β : émission de CO ₂ par KWh	mise à disposition d'énergie

Life cycle climate performance

Contient des émissions primaires et secondaires

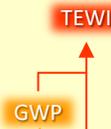
LCCP

Le LCCP prend en compte l'ensemble du cycle de vie de l'installation, y compris les produits semi-finis et leurs besoins en ressources lors de la fabrication, par l'usure ainsi que les besoins en énergie lors du montage et du service. La collecte des données nécessaires à cet effet est complexe.



Les données suivantes sont prises en compte dans la détermination du LCCP :

- Développement du produit
- Fabrication du produit
- Distribution du produit
- Montage du produit
- Fonctionnement du produit
- Émissions directes dues aux consommables
- Besoin en énergie pendant la durée de vie
- Réparations & entretien du produit
- Démantèlement / démontage du produit
- Élimination / recyclage des matières premières et des consommables



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).

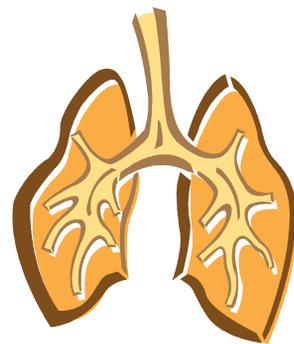
Absorption de substances :

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

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 10m³ 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.

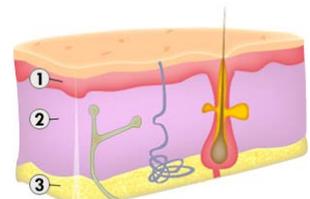
Selon la *taille des particules* une partie de la substance inhalée se dépose dans les voies respiratoires supérieures. Par le mouvement des cils vibratiles dans les bronches, les particules sont de nouveau transportées vers le haut et expulsées par la toux ou transférées dans le tube digestif en avalant. 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.



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.

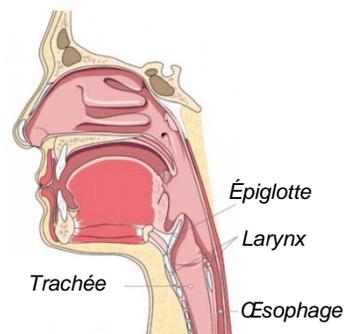
Les substances qui accèdent à la peau sont maintenues dans les couches supérieures de **l'épiderme***. Elles sont en partie expulsées avec la desquamation naturelle et n'exercent aucun effet nocif sur l'organisme. Cependant elles peuvent être lentement transmises au derme irrigué situé sous l'épiderme*. 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

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 substances 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.



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

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.

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

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 toutes 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

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.

Effet systémique :
sur les organes internes

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 (osmose*) 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 premières 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 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 :

	Giftigkeit / Toxizität*	
	plus faible	accrue
Inflammabilité		
non inflammable	A1	B1
difficilement inflam.	A2L	B2L
inflammable	A2	B2
facilement inflam.	A3	B3

La répartition respective des fluides frigorigènes est représentée dans le tableau en page 40.

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 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

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 m³ 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'une 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/m³. 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 tels que lunettes / gants

Fluides frigorigènes :

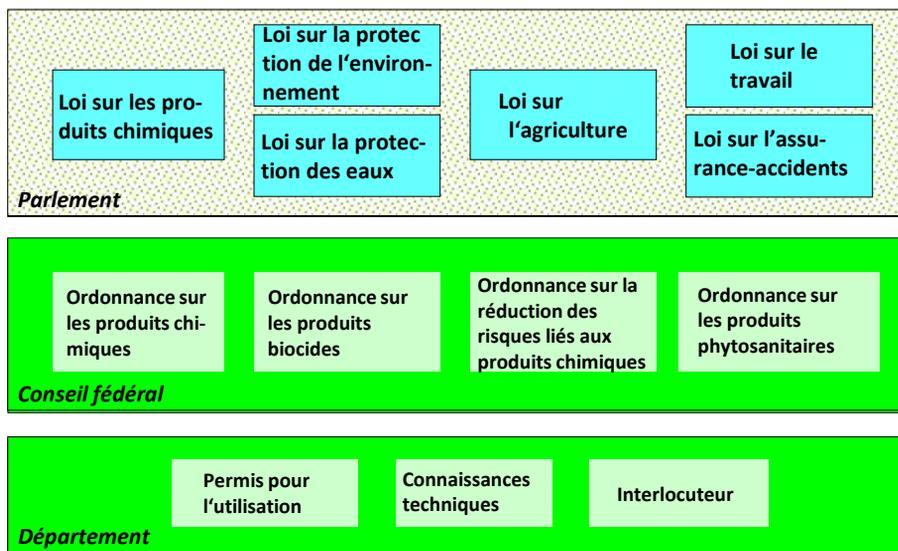
- Risques de brûlure par les projections de liquides
- Expulse l'oxygène
- Même les fluides frigorigènes non toxiques peuvent former des produits toxiques lors de leur dégradation.

Valeur CMA :

Concentration maximale de substances toxiques au poste de travail

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.

4.1

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.

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 1^{er} 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**. Si un système frigorifique à base de CFC* ou de HCFC* présente un manque de fluide frigorigène, le système doit être modifié ou remplacé.

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.

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. (voir chapitre « Force Triangle »).

Le fabricant ou le distributeur d'une nouvelle substance doit être enregistré(e) auprès des autorités compétentes. 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

Les **autorités cantonales** sont responsables de l'application des dispositions de l'ORRChim. Les installations fixes de plus de 3 kg doivent être communiquées et enregistrées sur cooling-reg.ch.

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).

La **Caisse nationale suisse d'assurance en cas d'accident (SUVA)** est un organisme indépendant de droit public. Elle est la principale 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 des techniciens.

L'**Union professionnelle suisse de l'automobile (UPSA)** est l'association des garagistes suisses. Elle défend les intérêts de la branche automobile et assure la liaison entre les autorités et l'industrie. Elle se consacre à la formation et à la formation continue des professionnels.

Autorités et associations :

- Cantons
- OFEV
- OFEN
- SUVA
- ASF
- UPSA

5

Fluides frigorigènes organiques

La chimie organique est basée sur le carbone (exception : CO₂ ; R744 comme produit de combustion). Les HC propane, propène et isobutane sont aujourd'hui de plus en plus utilisés comme fluides frigorigènes écologiques. Si l'on ajoute des halogènes* (généralement du fluor*) aux HC, on obtient des fluides frigorigènes organiques synthétiques qui, selon leur teneur en fluor, sont peu ou pas du tout inflammables.

Hydrocarbures

Les hydrocarbures sont des substances naturelles inflammables qui peuvent être utilisées comme fluides frigorigènes avec une bonne efficacité. Les HC sont les matières premières pour la fabrication de fluides frigorigènes synthétiques.

naturel

HC

Fluides frigorigènes naturels

ODP: **non** à prendre en compte : **inflammable**
 GWP: **très bas** nouvelles installations : **autorisé**

Hydro – Fluoro – Oléfines

L'halogène* fluor remplace une partie de l'hydrogène dans la molécule de HC. En raison de la double liaison (alcènes*), les HFO sont moins stables que les HFC et entraînent donc un GWP plus faible.

synthétique

HFO

Fluide frigorigène partiellement halogéné

ODP: **non** à prendre en compte : **forment des TFA* lors de la décomposition**
 GWP: **très bas** nouvelles installations : **autorisé**

Hydro – Fluoro – Carbures

Les HFC sont composés des mêmes éléments que les HFO, mais possèdent un GWP plus élevé en raison de l'absence de double liaison (alcanes*), mais sont généralement non inflammables.

synthétique

HFC

Fluide frigorigène partiellement halogéné

ODP: **non** à prendre en compte : **forment des TFA* lors de la décomposition**
 GWP: **élevé** nouvelles installations : **partiellement interdit**

Hydro – Chloro – Fluoro – Carbures

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

synthétique

HCFC

Fluide frigorigène partiellement halogéné

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

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. On ne les trouve pratiquement plus.

synthétique

CFC

Fluide frigorigène entièrement halogéné

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

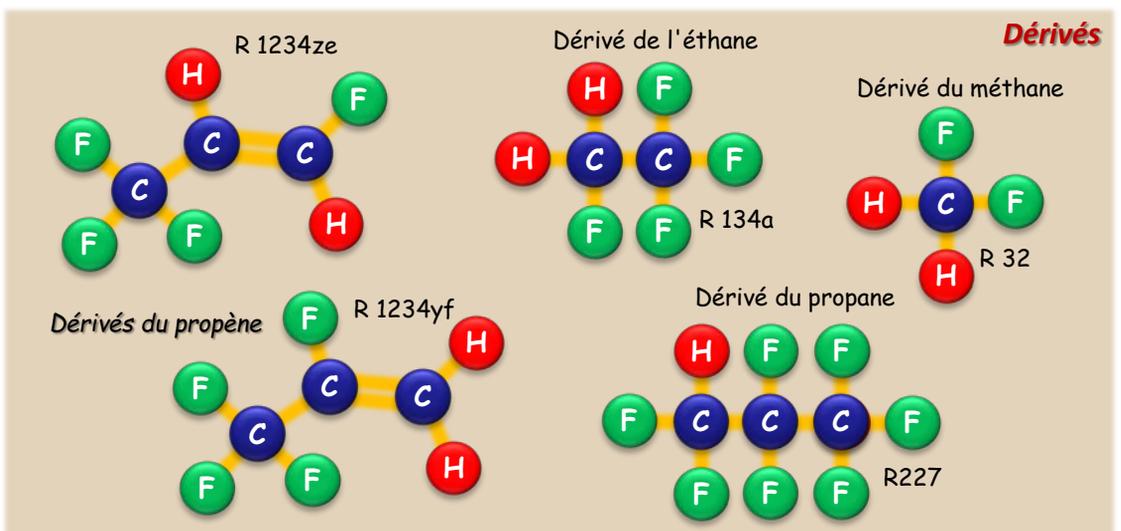
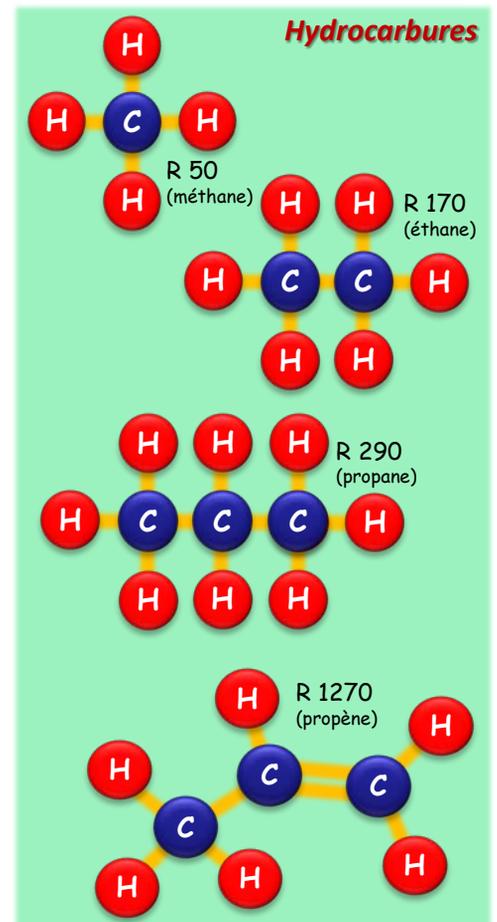
Des informations sur la procédure de déclaration peuvent être trouvées sur Internet. Guide: « Autorisation d'installations avec fluides frigorigènes stables à l'air »

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**, le **propane** ou le **propène** pouvait être facilement remplacés par des éléments de la famille des halogènes*. De cette manière, l'inflammabilité 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 remplacé par des halogènes, on parle d'un fluide frigorigène **totallement 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.

Les halogènes* fluor et chlore ont été les plus utilisés. On parle alors de **dérivé du méthane**, de **l'éthane** ou du **propane**, selon le produit de départ. Il est ainsi possible de produire un certain nombre de dérivés à base de méthane, d'éthane, de propane ou de propène. Depuis que l'on a pu démontrer l'effet destructeur du chlore sur la couche d'ozone, on n'halogène pratiquement plus qu'avec du fluor, ce qui a bien sûr fortement réduit le nombre de dérivés possibles. C'est pourquoi de plus en plus de mélanges de fluides frigorigènes ont été introduits sur le marché. Plus le HC contient d'hydrogène, plus le nombre de dérivés réalisables est élevé. Comme il existe une multitude d'autres hydrocarbures en plus de ceux mentionnés, d'autres composés sont possibles.

Tous les fluides frigorigènes synthétiques sont basés sur les hydrocarbures organiques, ils sont donc également organiques.



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

La stabilité des fluides frigorigènes HFC et le long temps de séjour dans l'atmosphère qui en résulte entraînent un potentiel de réchauffement élevé après une émission*. C'est pourquoi des composés moins stables, qui se dégradent plus rapidement dans l'atmosphère, ont été développés. Comme la stabilité était autrefois un critère, on utilisait presque exclusivement des alcanes* comme matière première pour la fabrication de fluides frigorigènes synthétiques. Mais après que le potentiel de réchauffement a eu attiré l'attention, le développement de fluides frigorigènes à base d'alcènes* s'est accéléré. Mais comme toute réaction chimique dans le système frigorifique est toujours indésirable, un travail propre sur le système frigorifique est la condition la plus importante pour garantir une stabilité suffisante dans le circuit frigorifique. Comme les fluides frigorigènes se dégradent dans l'atmosphère à l'aide de l'oxygène, il ne doit pas y avoir d'oxygène ni de porteur d'oxygène dans le système frigorifique.

Les fluides frigorigènes HFO et HFC sont basés sur les mêmes éléments : carbone*, hydrogène et fluor.

Temps de séjour atmosphérique:

- HFC environ 15 ans
- HFO quelques jours

Alcanes:

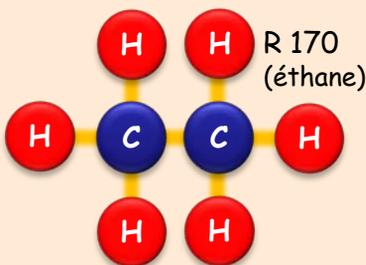
Hydrocarbures à liaison simple (stables).

Alcènes:

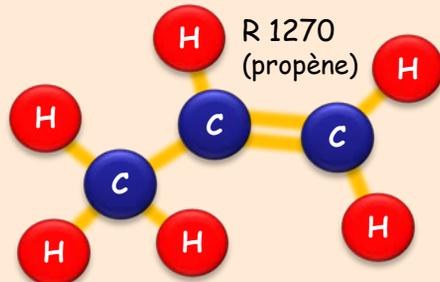
Hydrocarbures à double liaison (moins stables).

Fluides frigorigènes organiques naturels

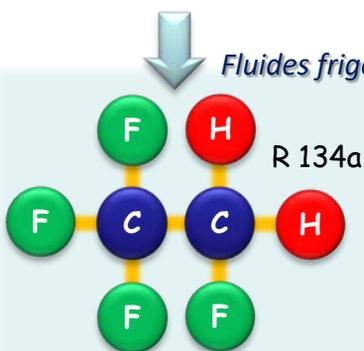
Alcanes



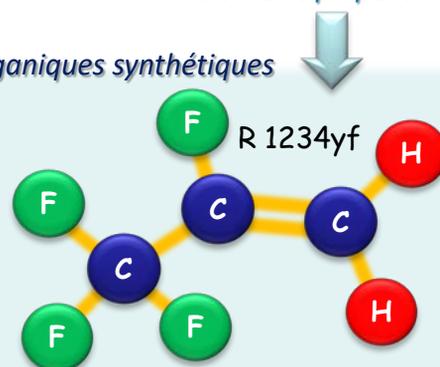
Alcènes



Dérivé d'éthane



Dérivé de propène



Fluides frigorigènes organiques synthétiques

Groupe	HFC	HFO
GWP	1'430	4
Classe	A1	A2L

De plus amples informations sur les groupes d'hydrocarbures, leurs propriétés et leurs aptitudes peuvent être obtenues sur Internet.

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. Afin d'éviter tout malentendu, seules ces désignations devraient être utilisées.

Définition des lettres et des chiffres :

Refrigerant (fluide frigorigène)

Une désignation ASHRAE d'un fluide frigorigène se reconnaît au fait qu'elle commence toujours par la lettre « R ». Il est recommandé d'utiliser exclusivement ces désignations. Cela permet d'éviter les confusions.

4^e chiffre = nombre de liaisons doubles

Si la molécule ne possède pas de liaison double (dérivé* d'alcane*), 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.

3^e 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. Si un « 1 » y figure, il s'agit d'un dérivé d'éthane.

2^e 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 et donc la teneur en hydrogène, plus il est probable que la molécule soit inflammable.

1^{er} 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. Si un autre halogène est présent, il faut le mentionner explicitement : R131I signifie par exemple qu'il y a 1 atome d'halogène d'iode dans la molécule.

Disposition des atomes autour d'un noyau de carbone

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.

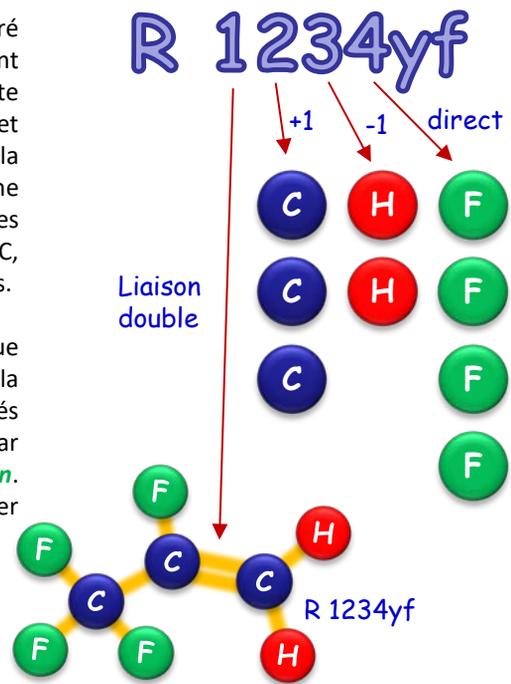
Remarque 1 Les chiffres sont à considérer de droite à gauche (par exemple: 1^{er} chiffre = **1^{er} chiffre de droite** = quantité de fluor).

Remarque 2 Les zéros de tête ne sont pas écrits. Par exemple, pour tous les dérivés du méthane, on obtient seulement 2 chiffres.



En prenant l'exemple du R1234a, 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, du propane et du propène. 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 synthétiques des groupes HC, HFO, HFC, HCFC et CFC sont des fluides frigorigènes organiques.

La déduction logique permet de décomposer chaque **fluide frigorigène** organique en ses **composants**. Cela permet de tirer des conclusions sur les propriétés **physiques** et **chimiques**, les **restrictions légales** par l'attribution à un groupe et le **domaine d'utilisation**. Il est également possible de mieux évaluer l'adéquation générale à l'objet.



5.3.1

Aperçu 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 (A3)

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 non inflammable (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

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'halogénéation* 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. De plus, il faut trouver le meilleur compromis entre le GWP et l'inflammabilité.

De ce fait, l'utilisation d'autres substances non organiques comme fluides frigorigènes sont testés et, les fluides frigorigènes organiques connus et autorisés sont commercialisés comme mélanges et vendus sous d'autres noms. Le point d'ébullition souhaité est atteint en mélangeant jusqu'à quatre **fluides frigorigènes monosubstances***.

Par le mélange, on essaie de conserver les propriétés positives d'un fluide frigorigène monosubstance sans en reprendre les inconvénients. Par exemple, un GWP le plus faible possible tout en conservant l'ininflammabilité.

Afin de ne pas devoir nommer chaque fluide frigorigène impliqué dans un mélange, ce dernier reçoit un nouveau numéro. Le **groupe 400** a été introduit pour de tels mélanges de fluides frigorigènes. Le premier mélange enregistré a reçu la désignation R400. Le nombre utilisé dans la désignation permet de déduire l'ordre d'apparition du produit sur le marché.

Le **point d'ébullition** souhaité est atteint par le mélange avec les pourcentages de masse correspondants. Il est également possible de procéder à de légères adaptations en déplaçant les pourcentages de mélange. Les mélanges de mêmes fluides frigorigènes, mais avec une répartition différente en pourcentage, reçoivent le même numéro 400. La distinction se fait par l'ajout d'une lettre majuscule. Ainsi, les deux mélanges R454A et R454B sont composés des mêmes fluides frigorigènes, mais dans des proportions différentes.

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**.

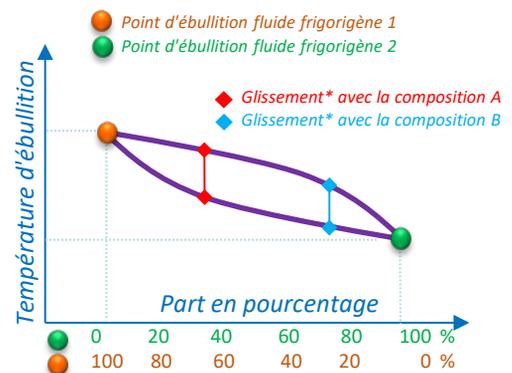
C'est pourquoi les mélanges de ce type **doivent être versés à l'état liquide dans le système**, ce qui exige une **vanne de remplissage** montée après le collecteur pour la protection du compresseur. Un remplissage en phase gazeuse est autorisé uniquement si la totalité du contenu de la bouteille est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

Pour les mélanges de fluides frigorigènes avec glissement (mélanges zéotropiques), le groupe des fluides frigorigènes 400 a été introduit.

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.

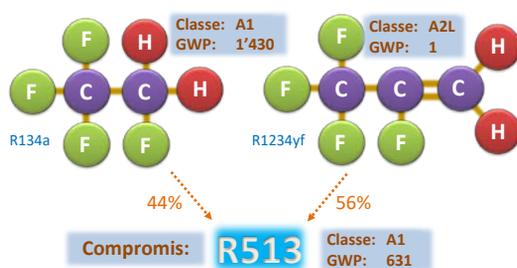
Les mélanges de fluides frigorigènes du groupe 400 doivent absolument être versés dans le système à l'état liquide.

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



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.

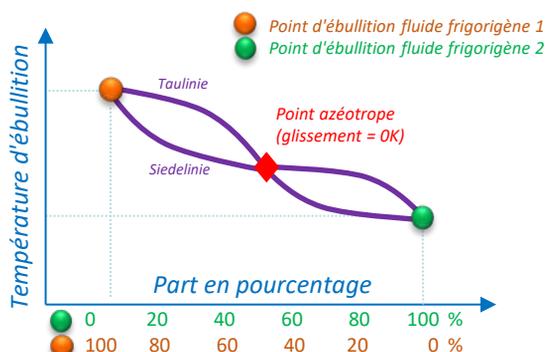
Exemple: Le mélange azéotropique R513 est un compromis entre l'ininflammabilité et un faible GWP.



Pour les mélanges de fluides frigorigènes sans glissement (mélanges azéotropes), le groupe des fluides frigorigènes 500 a été introduit.

Les mélanges de fluides frigorigènes azéotropes ne sont généralement composés que de deux fluides frigorigènes monocomposants.

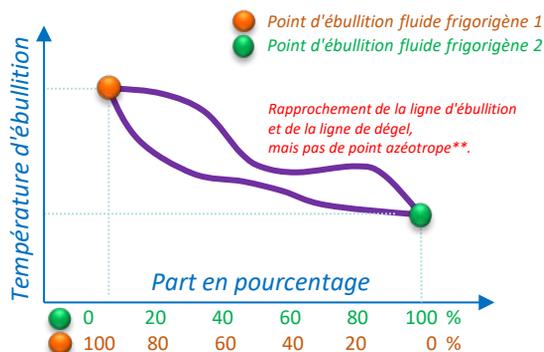
Les mélanges azéotropes peuvent être traités comme des agents monosubstance.



Les réfrigérants du groupe 400 avec un glissement inférieur à 1K sont également appelés **quasi-azéotropes**. Avec de tels mélanges, il ne faut pas s'attendre à des effets négatifs en ce qui concerne la composition du mélange, même si une charge en vapeur est effectuée par inadvertance. Néanmoins, la règle du remplissage en phase liquide s'applique également ici, mais les conséquences sont moins graves.

Alors que pour les mélanges présentant un glissement de plus de 5 K, on peut déjà constater des décalages des points de fonctionnement après une fuite et un remplissage ultérieur avec le mélange d'origine, ce n'est en général pas le cas pour les mélanges quasi-azéotropes.

Les mélanges à faible glissement sont également appelés réfrigérants « quasi-azéotropes » par les fabricants.



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). Au début de la technique de réfrigération au 19^{ème} 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 718 eau H_2O
- 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 (ammoniac, NH_3)

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. Comme l'ammoniac n'est pas compatible avec les métaux non ferreux, le **cuivre ne peut pas être utilisé** dans la construction des installations. C'est pourquoi on utilise presque exclusivement des **compresseurs ouverts**.

R 718 (eau, H_2O)

La recherche de fluides frigorigènes respectueux de l'environnement a également attiré l'attention de divers fabricants sur l'eau. L'idée n'est pas nouvelle, mais elle n'a pas été poursuivie jusqu'à aujourd'hui en raison des pressions de système difficiles à gérer autrefois sous **vide**. L'eau en tant que fluide frigorigène convient pour les processus avec une température d'évaporation élevée, supérieure à 0 °C. Les domaines d'application idéaux sont le froid industriel, le refroidissement des salles de serveurs et le refroidissement des bâtiments.

R 744 (dioxyde de carbone, CO_2)

Étant donné que le CO_2 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 connaît aujourd'hui une renaissance. **Les pressions de système très élevées** impliquent des composants adaptés.

CO_2 dans l'air :

Perturbe l'échange gazeux osmotique* lors de l'évacuation du CO_2 hors du corps.

De plus, une température supérieure à +31 °C entraîne un dégagement de chaleur dans la zone supercritique, ce qui conduit à un processus fonctionnant de manière transcritique. Cela ne favorise pas la performance et limite l'utilisation dans les régions chaudes. Si le processus est transcritique, le condenseur, qui fonctionne normalement en grande partie de manière latente, devient un désurchauffeur purement sensible, également appelé refroidisseur de gaz*.

Groupe	Remarques	ASHRAE	Classe	GWP sur CO ₂	Glissement en K	se compose de	to en °C			
Fluides frigorigènes organiques	CFC	R502	A1	4657	Azéotrope	22 / 115	-46,0			
		R11	A1	4750			+24,0			
		R12	A1	10900			-29,8			
	HCFC	Exploitation autorisée. Après des fuites, il faut rééquiper ou remplacer.	R13B1	A1	7140		Monosubstance	-57,8		
			R22	A1	1810			-41,0		
			R401A	A1	1182	4,9		22 / 152a / 124	-33,0	
			R402A	A1	2788	1,6		22 / 290 / 125	-49,0	
			R408A	A1	3152	0,5		22 / 125 / 143a	-44,0	
			R409A	A1	1585	6,4		22 / 124 / 142b	-34,0	
			HFC	utilisation limitée : tant qu'aucune substance mieux adaptée n'est économiquement justifiable. Série 400 : Si le glissement est > 5K, séparation des composants en cas de manipulation incorrecte. Si le glissement est <1K, aucun problème n'est à prévoir (quasi-azéotrope**). à partir de R444B : HFC/HFO-Blends : font partie des HFC en ce qui concerne l'ORRChim	R23	A1	14800		Monosubstance	-80,1
					R32	A2L	675			-52,0
	R134a	A1			1430			-26,3		
	R143a	A2			4470			-47,6		
	R125	A1			3500			-48,5		
	R507	A1			3985		Azéotrope	125 / 143a	-46,7	
	R513	A1			630			1234yf / 134a	-29,2	
	R404A	A1			3922	0,7		125 / 134a / 143a	-46,6	
	R407A	A1			2107	6,4		32 / 125 / 134a	-46,0	
	R407C	A1			1774	7,2		32 / 125 / 134a	-43,8	
	R407D	A1			1627	6,8		32 / 125 / 134a	-39,5	
	R407F	A1			1825	6,4		32 / 125 / 134a	-45,5	
	R407H	A1			1495	7,1		32 / 125 / 134a	-44,7	
	R410A	A1			2090	0,2		32 / 125	-52,3	
	R413A	A1			2050	6,9		134a / 218 / 600a	-35,0	
	R417A	A1			2346	5,6		125 / 134a / 600	-43,0	
	R422A	A1			3140	2,5		125 / 134a / 600a	-47,0	
	R422D	A1			2729	3,4		125 / 134a / 600a	-45,0	
	R427A	A1			2140	7,1		32/125/143a/134a	-43,0	
	R444B	A2L			295	7,8		32 / 152a / 1234ze	-36,7	
	R445A	A2L	135	k. A.		134 / 1234ze / CO ₂	-48,3			
	R448A	A1	1387	5,4		32/125/134a/1234yf/1234ze	-46,0			
	R449A	A1	1397	4,0		32/125/134a/1234yf	-46,0			
	R450A	A1	547	0,4		134a / 1234ze	-22,8			
R452A	A1	2140	3,7		32 / 125 / 1234yf	-47,0				
R452B	A2L	676	0,9		32 / 125 / 1234yf	-51,0				
R454A	A2L	238	5,0		32 / 1234yf	-48,3				
R454B	A2L	467	1,5		32 / 1234yf	-50,9				
R454C	A2L	146	6,0		32 / 1234yf	-45,9				
R455A	A2L	145	6,0		32 / 1234yf / CO ₂	-52,1				
H-FIKW	contient de l'iode	R466A	A1	733	1,5	32 / 125 / 1311	-51,0			
HFO	Fluide frigorigène contenant une double liaison. Forment du TFA* en se décomposant.	R1233zd	A1	3		Monosubstance	+19,0			
		R1234yf	A2L	4			-29,3			
		R1234ze	A2L	4			-18,2			
		R1336mz	A1	2			+31,8			
		R514	B1	2	Azéotrope	1336 / t-DCE	+29,1			
HC	fluides frigorigènes naturels	R50	A3	30		Méthane	-161,6			
		R170	A3	6		Éthane	-88,6			
		R290	A3	3		Propane	-42,0			
		R600	A3	3		Butane	-0,5			
		R600a	A3	3		Isobutane	-11,7			
		R1270	A3	2		Propylène	-47,6			
Fluides frigorigènes inorganiques	fluides frigorigènes naturels	R717	B2L	0		Ammoniac	-33,4			
		R718	A1	1		Eau	100,0			
		R744	A1	1		Dioxyde de carbone	<=			
						-56,6°C à 5,18bars				
		R723	k. A.	8	Azéotrope	NH ₃ / DME	-36,6			

A la pression atmosphérique standard de 1'013,25hPa. Pour les mélanges zéotropes* (série ASHRAE* 400), la valeur « to » correspond à la température d'évaporation plus basse.

Des données actualisées sont disponibles sur Internet pour tous les fluides frigorigènes. Les valeurs GWP peuvent varier légèrement en fonction de la méthode de mesure.

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 manipuleront ces substances de façon responsable, plus il sera possible de se rapprocher de cet objectif. Car lorsqu'il n'y aura pratiquement plus d'émissions, la politique n'aura plus besoin d'intervenir de manière dirigeante.

8.1

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.

8.2

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 pertinent 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.

8.3

Recyclage secondaire

Lors du recyclage secondaire, les substances de départ sont **décomposées en leurs composants**, on obtient des matières premières secondaires. A partir de celles-ci, on obtient de **nouveaux produits** en ajoutant d'autres substances (écosystème industrialisé*). L'importance des matières premières secondaires résulte d'une part d'une économie de coûts par rapport à une production correspondante basée exclusivement sur des matériaux primaires et d'autre part, les substances restent dans le circuit économique au lieu d'être relâchées dans l'environnement sous forme de gaz d'échappement. Pour l'industrie de transformation des matières premières, l'utilisation de matières premières secondaires présente un potentiel d'économie parfois considérable en cas de hausse des prix des matières premières.

Recyclage secondaire :

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

- Acide fluorhydrique
- Acide chlorhydrique
- Différents sels

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.

Alcane : Hydrocarbures qui ne possèdent que des liaisons simples entre les atomes de carbone. Ils sont assez stables et constituent les produits de base pour la fabrication des HFC*.

Alcène : Hydrocarbures qui possèdent au moins une double liaison entre les atomes de carbone. Ils sont moins stables que les alcanes* et constituent les produits de base pour la fabrication des HFO*^s.

Alvéoles : petites cavités pulmonaires. Servent à l'échange gazeux entre les poumons et le sang. Le sang absorbe l'oxygène contenu dans l'air inspiré et libère le CO₂ qu'il contient dans l'air expiré.

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.

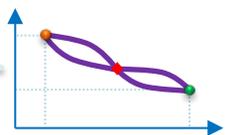
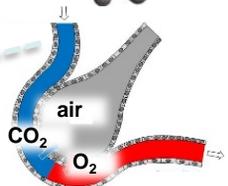
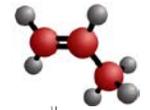
Azéotrope : se dit d'un mélange constitué de liquides ayant des températures d'ébullition différentes, et qui, une fois mélangés ont un point d'ébullition uniforme mais inférieur. Les mélanges azéotropes se comportent en apparence comme des substances pures.

Biotope : Un biotope définit un habitat particulier d'une biocénose. La somme de tous les biotopes constitue, avec la biocénose (communauté d'organismes), l'écosystème.

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 tableau 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.



CFC : Dérivé à base d'hydrocarbures, dans lequel l'hydrogène a été entièrement remplacé par du fluor et du chlore. Sont aujourd'hui interdits en raison de leur potentiel élevé de destruction de l'ozone et de l'effet de serre.



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

Circuit secondaire : lorsque la chaleur n'est pas transportée uniquement par le fluide frigorigène, mais par un autre fluide (en général liquide) vers l'évaporateur ou depuis le condenseur, on parle alors d'une installation avec circuit secondaire. Ce circuit peut se trouver soit du côté évaporateur, soit du côté condenseur, soit des deux. On applique cette configuration avec fluide 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 fluide secondaire.

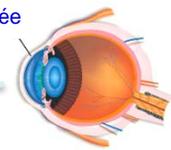


Connaissances techniques : celui qui vend des produits chimiques particulièrement dangereux à des particuliers doit posséder les connaissances techniques nécessaires relatives à ces produits. Ces connaissances comportent un savoir élémentaire et des connaissances spécifiques aux produits.



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



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.

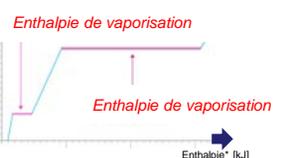


Drop-in : on parle de remplacement drop-in lorsqu'une installation frigorifique est modifiée afin de pouvoir fonctionner avec un autre fluide frigorigène tout en gardant les mêmes composants et la même huile frigorifique. Avantage : Procédé rapide et simple. Inconvénient : l'efficacité n'est pas au premier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



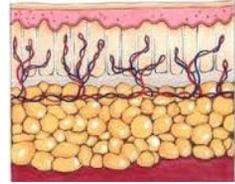
Ecosystème industrialisé : système dans lequel on essaie de transférer à la technique les symbioses* de la nature.

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.

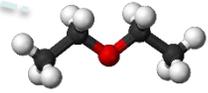


Enthalpie de vaporisation : quantité de chaleur nécessaire pour faire passer une substance à température constante de l'état liquide à l'état gazeux.

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.

Fluor : Élément de la famille des halogènes*. Souvent utilisé pour la fabrication de fluides frigorigènes synthétiques à base d'hydrocarbures.



Gaz à effet de serre : gaz doté d'un potentiel d'effet de serre élevé. Le CO₂ (dioxyde de carbone) a été choisi comme référence pour la mesure et fixé à 1. Les gaz ayant ce potentiel de réchauffement ou un potentiel plus élevé sont considérés comme des gaz à effet de serre. Les fluides frigorigènes du groupe HFO ont des valeurs entre 1 et 120, les HFC entre 650 et 4'000.



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.

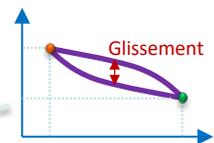


Gaz de formage : gaz inerte injecté dans une conduite pendant le brasage pour en chasser l'oxygène. Cela permet d'éviter la formation de calamine*. En guise de gaz de formage, on utilise généralement l'azote.

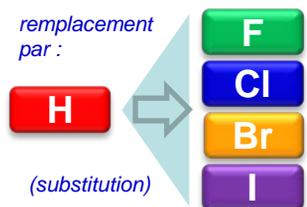
Gaz propulseur : les liquides contenus dans des récipients fermés peuvent en être expulsés sous l'effet d'une surpression. A cet effet, un gaz sous pression est introduit dans le récipient, et agit sur le niveau du liquide. Techniquement, il faut pour cela que l'orifice de sortie se situe dans le liquide 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.



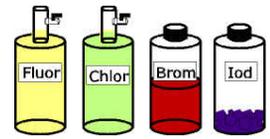
Glissement : dans les mélanges de fluides frigorigènes, écart de température d'ébullition entre les composants dont les points d'ébullition sont le plus élevé et le plus bas. Plus le glissement est grand, plus les signes de ségrégation du mélange à la suite de fuites et de remplissages incorrects sont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



Halogéner : retirer des éléments d'une molécule pour les remplacer par ceux de la famille des halogènes*. Pour fabriquer des fluides frigorigènes organiques, on retire une partie de l'hydrogène d'une molécule de méthane, d'éthane ou de propane et on la remplace à chaque fois par un élément de la famille des halogènes. Les fluides frigorigènes modernes ne sont plus halogénés qu'au moyen de fluor.



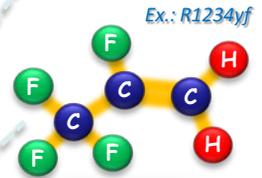
Halogènes : famille d'éléments à haute activité chimique. En font partie des éléments tels que fluor*, chlore, brome et iode. Les halogènes sont voisins des gaz rares.



HC : Abréviation pour hydrocarbure. Famille de molécules basées exclusivement sur le carbone* et l'hydrogène. Ils constituent les matières premières pour la fabrication de tous les fluides frigorigènes synthétiques.

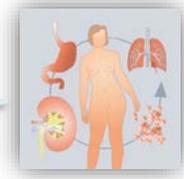


HCFC : Dérivé à base d'hydrocarbures, dans lequel une partie de l'hydrogène a été remplacée par du fluor et du chlore. Sont aujourd'hui interdits en raison de leur potentiel de destruction de la couche d'ozone.



HFC : Fluides frigorigènes organiques synthétiques fabriqués à base d'alcane*. Ils sont plus stables que les fluides frigorigènes du groupe HFO*.

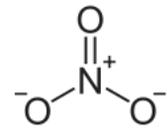
HFO : Fluides frigorigènes organiques synthétiques fabriqués à base d'alcène*. Ils sont moins stables que les fluides frigorigènes du groupe HFC*.



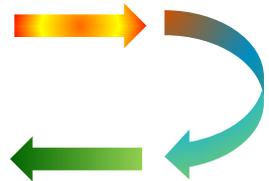
Hygroscopique : Absorbe l'humidité de l'air

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

Nitrate : en chimie inorganique, on entend par nitrates les sels de l'acide nitrique, HNO_3 . 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 des problèmes écologiques notables (pollution de l'eau).

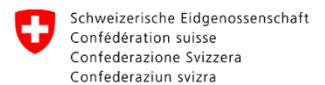


Obligation de rapporter : le client est tenu de rapporter au point de vente ou d'amener dans un centre de ramassage les restes de produits chimiques dangereux.



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.

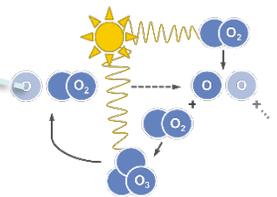
OFEV : L'Office fédéral de l'environnement: autorité de la Confédération suisse compétente en matière de permis pour l'utilisation de fluides frigorigènes.



Office fédéral de l'environnement OFEV

Osmose : Migration des molécules à travers une membrane pour compenser les différences de pression partielle.

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.

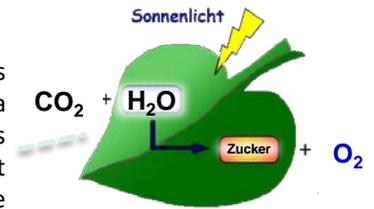
Peptides : composés organiques résultant d'une liaison entre plusieurs acides aminés*.



Persistant : sans effet nuisible direct, mais inconfortable par sa seule longue présence.

PFAS : Composés alkylés perfluorés et polyfluorés (en anglais : Per- and polyfluoroalkyl substances). Ils se forment notamment lors de la décomposition des fluides frigorigènes fluorés dans l'atmosphère. Ils sont difficilement dégradables et s'accumulent dans l'eau et le sol. Les PFAS sont donc également appelés « forever chemicals ».

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 .



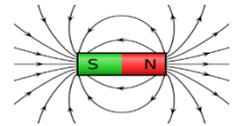
Physiologique : relatif à la physiologie. Les atteintes physiologiques n'ont pas d'incidence mécanique ou chimique. Physiologie : étude des fonctions normales des organes et des tissus des êtres vivants.



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

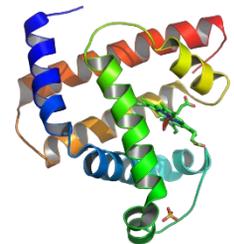
Point de solidification : Le point de température auquel un milieu liquide passe à l'état solide.

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.



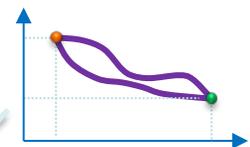
Produit de décomposition : lorsqu'une substance est décomposée ou éliminée, elle ne disparaît pas, mais se transforme en produits qui, à leur tour, doivent être analysés quant à leur impact sur l'environnement.

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.



Refroidisseur de gaz : Echangeur de chaleur qui restitue l'énergie thermique du milieu de manière purement sensible. Il n'y a pas de changement d'état de la matière.

Retrofit : Transformation d'une installation frigorifique ou d'une pompe à chaleur, au cours de laquelle on remplace non seulement le fluide frigorigène, mais aussi l'huile frigorigène, parfois même certains composants.



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.



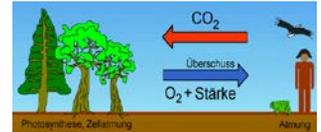
Smog : le mot « smog » est une contraction des mots anglais « smoke » (fumée) et « fog » (brouillard). Scientifiquement parlant, le smog désigne une forte concentration de polluants atmosphériques au-dessus de zones à forte densité de population en raison de conditions météorologiques particulières.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



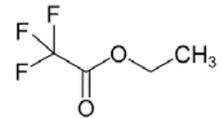
SUVA : sigle de la Caisse nationale suisse d'assurance en cas d'accidents. Les employés de la technique du bâtiment sont souvent assurés par cet établissement.

suva

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. On ne parle de symbiose que si tous les participants en tirent un avantage.



TFA : L'acide trifluoroacétique ou trifluoroacétate est produit lors de la décomposition des fluides frigorigènes synthétiques du groupe HFO* et HFC*. Le TFA fait partie des PFAS*.



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 par des troubles physiques.



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

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 appelée glissement*.

