

Chapitre 3 : les machine frigorifiques et leurs législations



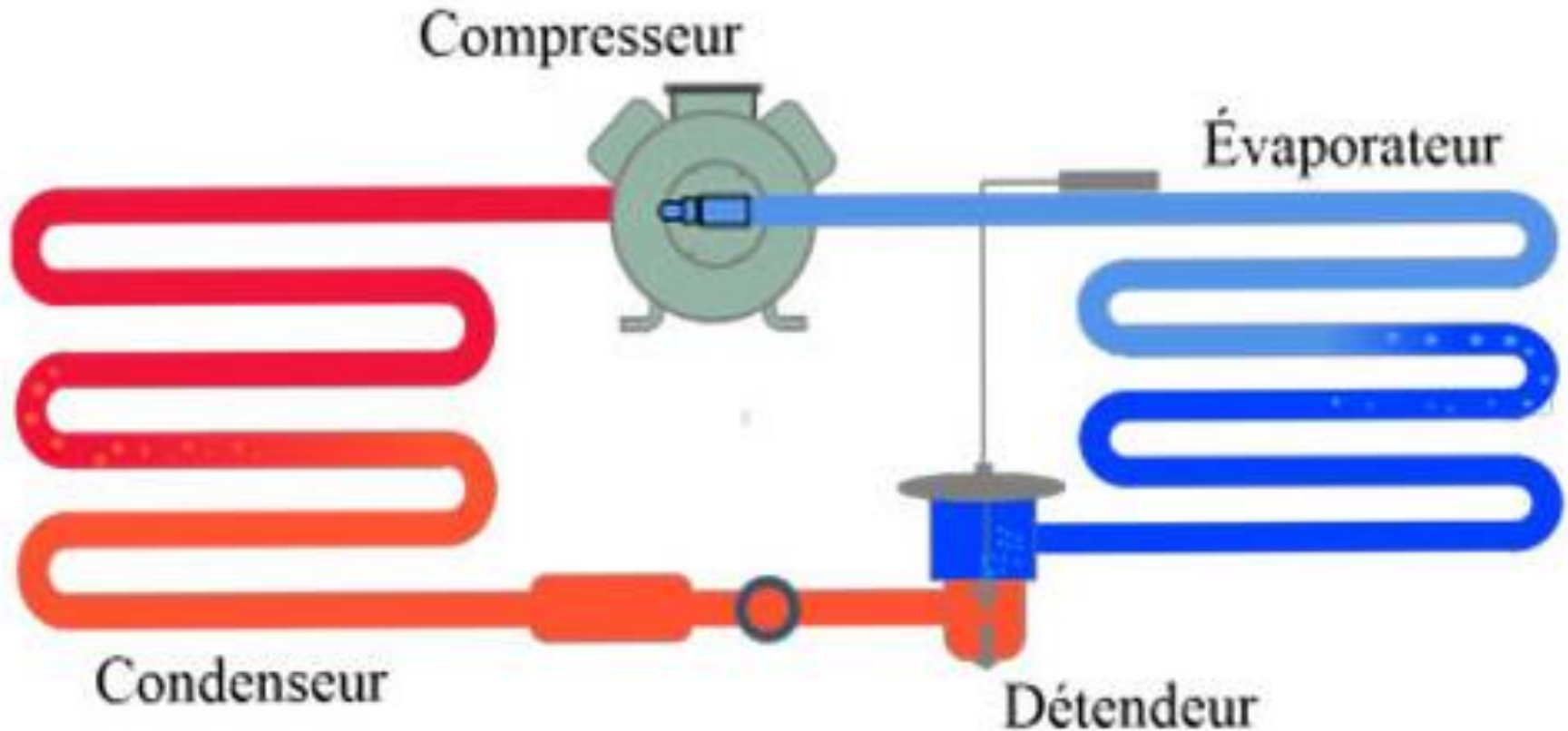
ANF CNRS – École de mécanique « *Refroidissement des expériences : conception et instrumentation* »
Centre Paul-Langevin à Aussois, 21 au 25 septembre 2020

Eric CONTE (IPHC / UHA)

1. Machine frigorifique à compression mécanique
2. Nomenclature des fluides frigorigènes
3. Réglementation : installations sous pression
4. Réglementation : fluides frigorigènes et sécurité
5. Réglementation : fluides frigorigènes et environnement

1. Machine frigorifique à compresseur mécanique

Circuit frigorifique de base

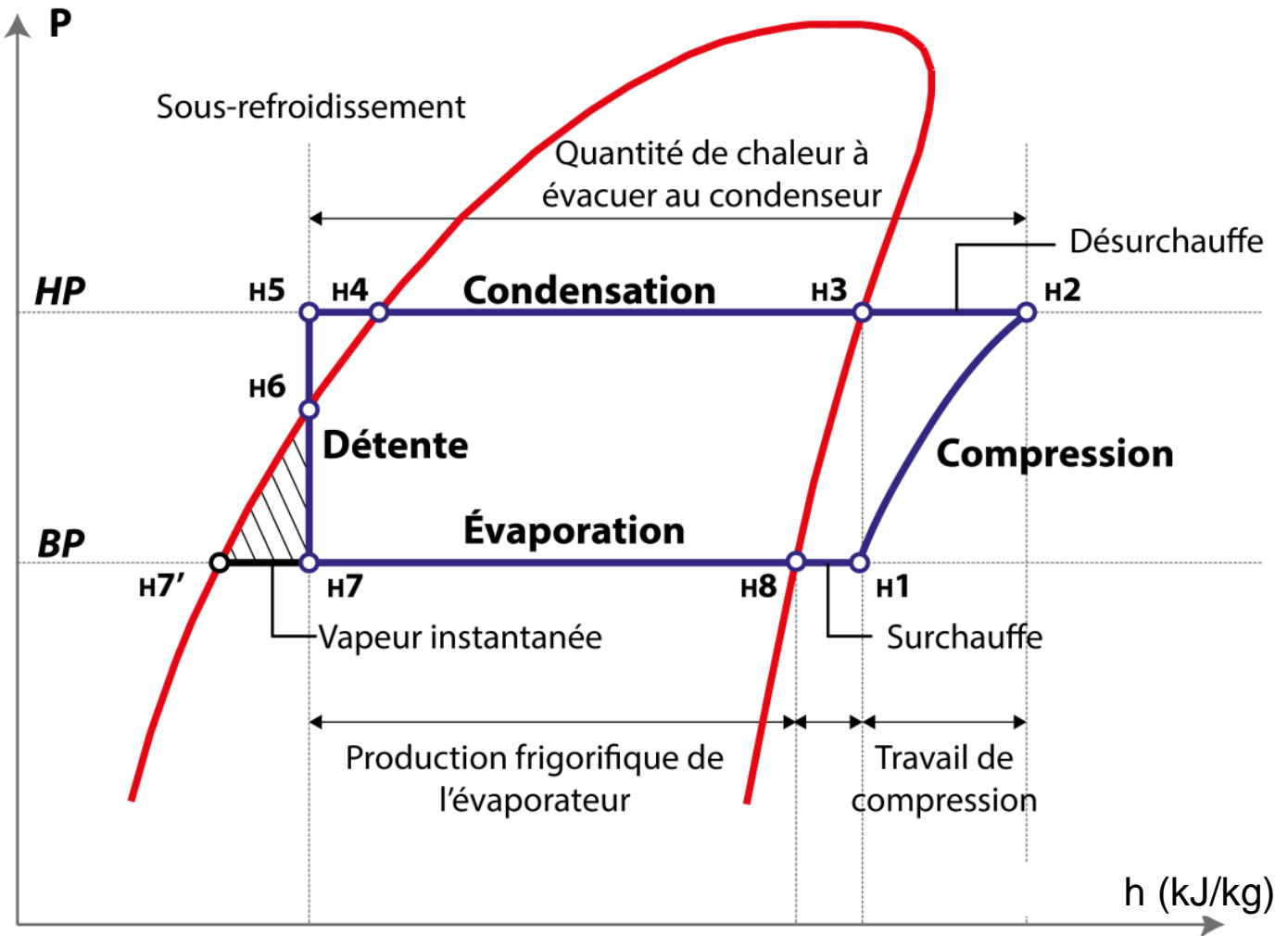


1. Machines compression méca

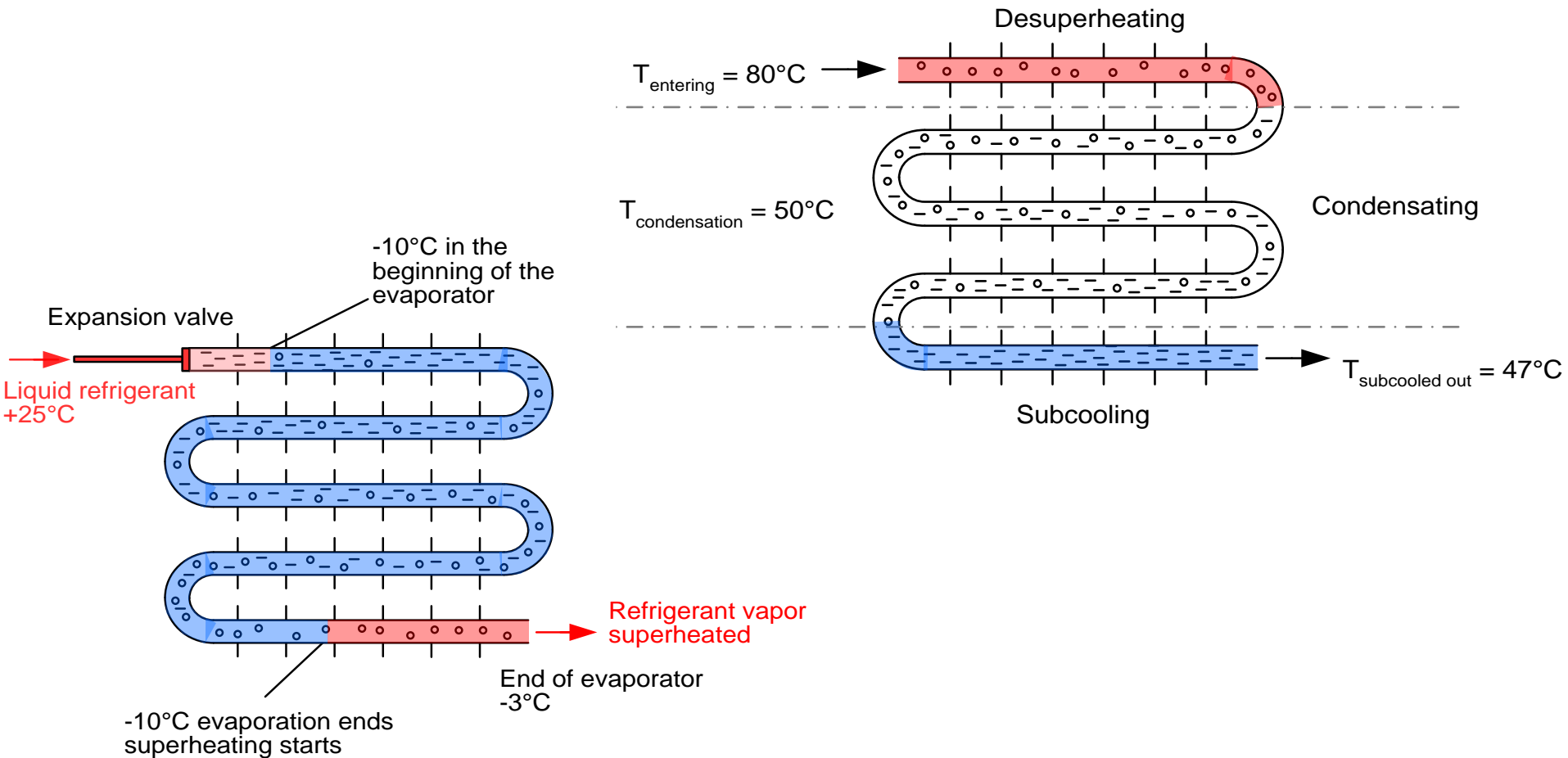
Cycle frigorifique

Hypothèse :

- Pas de perte de charge.
- Pas de perte thermique au niveau des lignes d'aspiration, de refoulement et liquide.



Que se passe-t-il dans un évaporateur et un condenseur ?



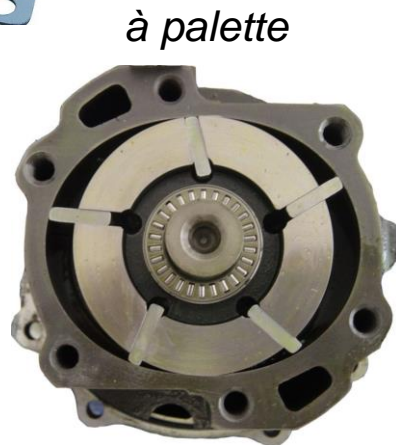
Technologies de compresseur

- Turbocompresseur
- **Compresseur volumétrique :**



à piston

*déclinable en
hermétique,
semi-hermétique,
ouvert*



à palette

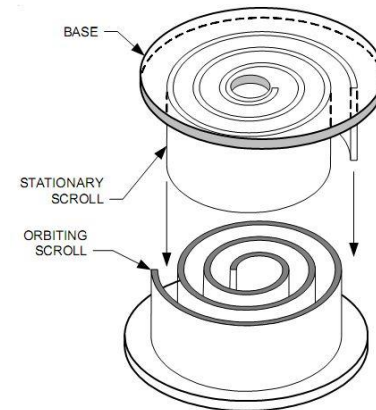


à vis (mono-rotor)



à vis (birotor)

scroll



Technologies de compresseur

Tableau 4.1 : Caractéristiques des différents types de compresseurs.

Type	Pistons	Rotatif	Spirales	Vis	Turbo
Volume balayée (m ³ /h)	Jusqu'à 1500	de 350 à 5600	Faible de 10 à 200	de 500 à 5000	De 800 à 50000
Vitesse de rotation (tr/mn)	Jusqu'à 1800	Jusqu'à 4000	Jusqu'à 10000	Jusqu'à 3000	Jusqu'à 30000
Taux de compression	2 à 10	5 à 6	Environ 5	20 à 30	3.5 à 4
Applications	Ménager Commercial Industriel	Commercial Industriel	Commercial	Industriel	Industriel

francis.sempore@eieretsher.org

Lubrification

Tableau 3.0 : Différentes huiles utilisées dans les installations frigorifiques

Familles	Origines	Sous-familles	Types de fluides frigorigènes
Minérale	naturelles, issues de la distillation du pétrole brut	naphénique	CFC, HCFC, R717
		paraffiniques selon la nature et la provenance du pétrole	
Semi synthétique	mélanges d'huiles minérales et synthétiques		CFC, HCFC, R717
Synthétiques	Chimiques	alkylbenzènes (AB)	CFC, HCFC, R717
		hydrocarbures : polyalphaoléfines (PAO)	CFC, HCFC, R717
		polyglycols : polyalkylèneglycols (PAG)	R134a en clim. auto R717 dans quelques cas
		esters : polyolesters (POE)	HFC

*francis.sempore
@eieretsher.org*

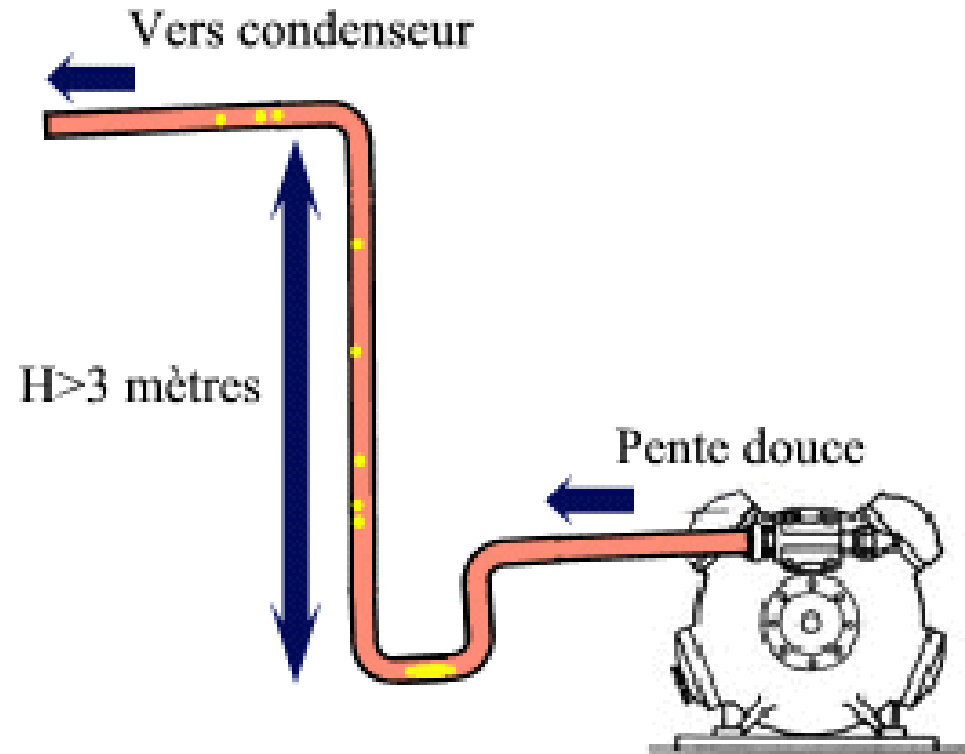
Lubrification

Même si l'huile est confinée au sein du compresseur, une faible partie de l'huile (2%) est entraînée avec le fluide frigorigène dans le circuit frigorifique.

Il faut assurer le **retour d'huile** c'est-à-dire veiller à ce que l'huile revienne au compresseur.

→ **Règles de conception du circuit frigorifique à respecter.**

Certains circuits (par ex avec compresseur à vis) nécessitent une **bouteille séparatrice d'huile**.



Technologie de détendeur

Capillaire :

Tube dont le diamètre interne est de l'ordre du mm, longueur de plusieurs mètres.

La chute de pression dépend de la longueur et du diamètre du capillaire. En particulier, plus le capillaire est long, plus la détente sera importante.



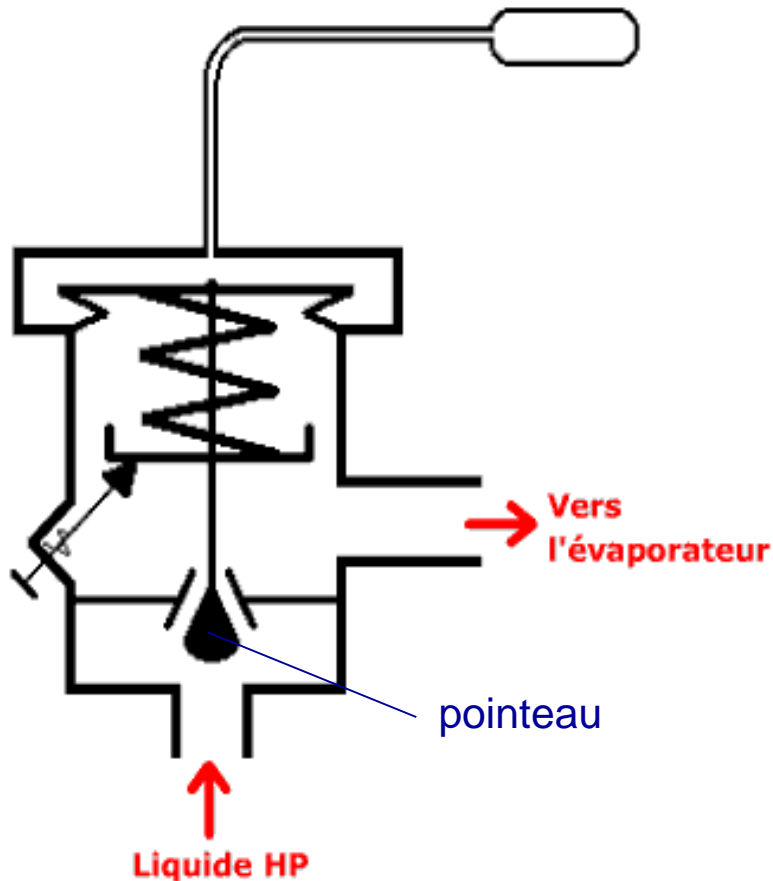
Orifice calibré :

Forme et dimension d'un volume choisies selon la détente désirée.



Détendeur à section constante : pas de réglage

Technologie de détendeur : thermostatique à égalisation de pression interne



Un pointeau obstrue plus ou moins la conduite

- Assurant le passage HP → BP
- Réduisant la quantité de fluide frigorigène envoyé à l'évaporateur

Technologie de détendeur : thermostatique à égalisation de pression interne

Principe de régulation : maintenir une surchauffe constante

charge thermique
initiale



→ Surchauffe = consigne

charge thermique
augmente à l'évaporateur



→ Surchauffe > surchauffe consigne

→ Le détendeur doit injecter + de FF

charge thermique
diminue à l'évaporateur



→ Surchauffe < surchauffe consigne

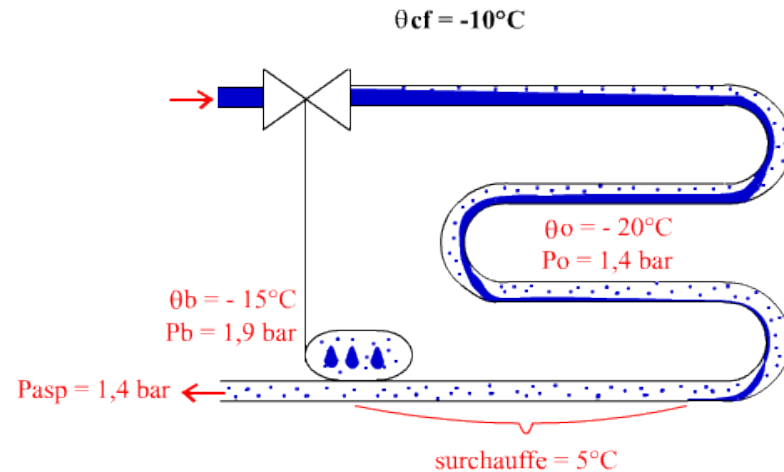
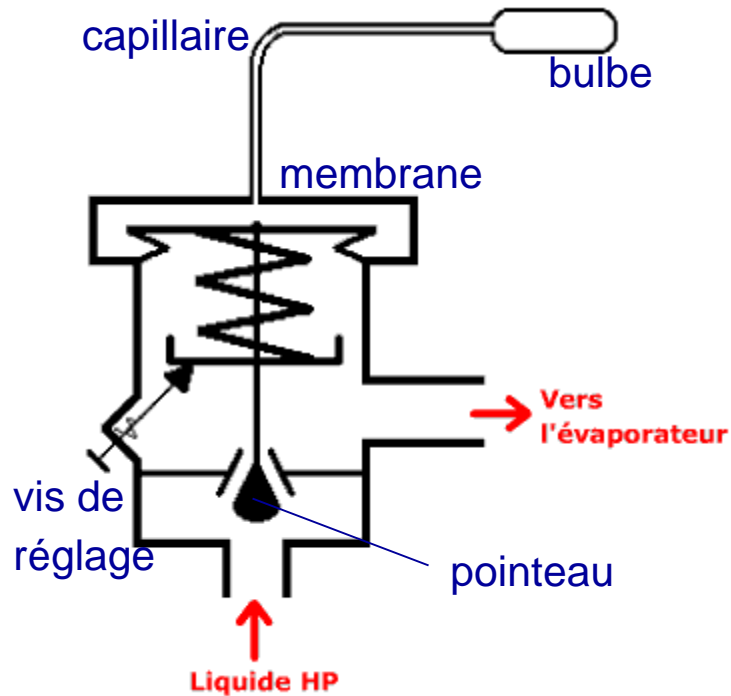
→ Le détendeur doit injecter - de FF

Technologie de détendeur : thermostatique à égalisation de pression interne

Comment mesurer la surchauffe ?

Un **train thermostatique** permet de mesurer la température à la sortie de l'évaporateur.

Il comprend **un bulbe** placé à la sortie de l'évaporateur et d'un **capillaire** qui le relie au détendeur. Une substance circule à l'intérieur et sa pression P_{bulbe} est représentative de la température du bulbe.



Technologie de détendeur : thermostatique à égalisation de pression interne

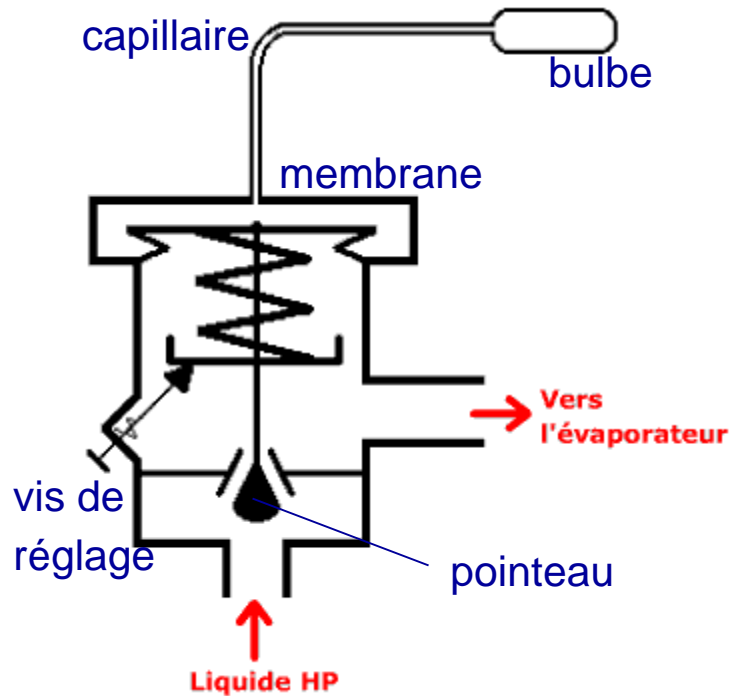
La pression P_{bulbe} s'applique sur la **membrane** à laquelle est relié un **pointeau**.

Comme il règne la pression BP à l'intérieur du détendeur, le pointeau est soumis à la différence de pression $P_{bulbe} - BP$, représentative de la surchauffe.

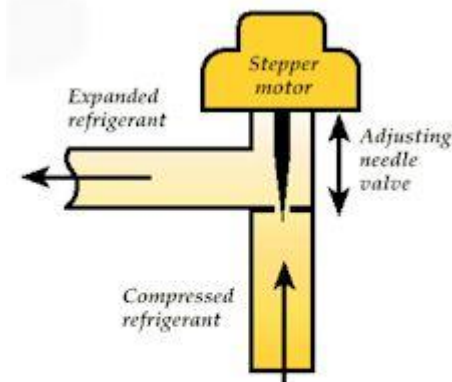
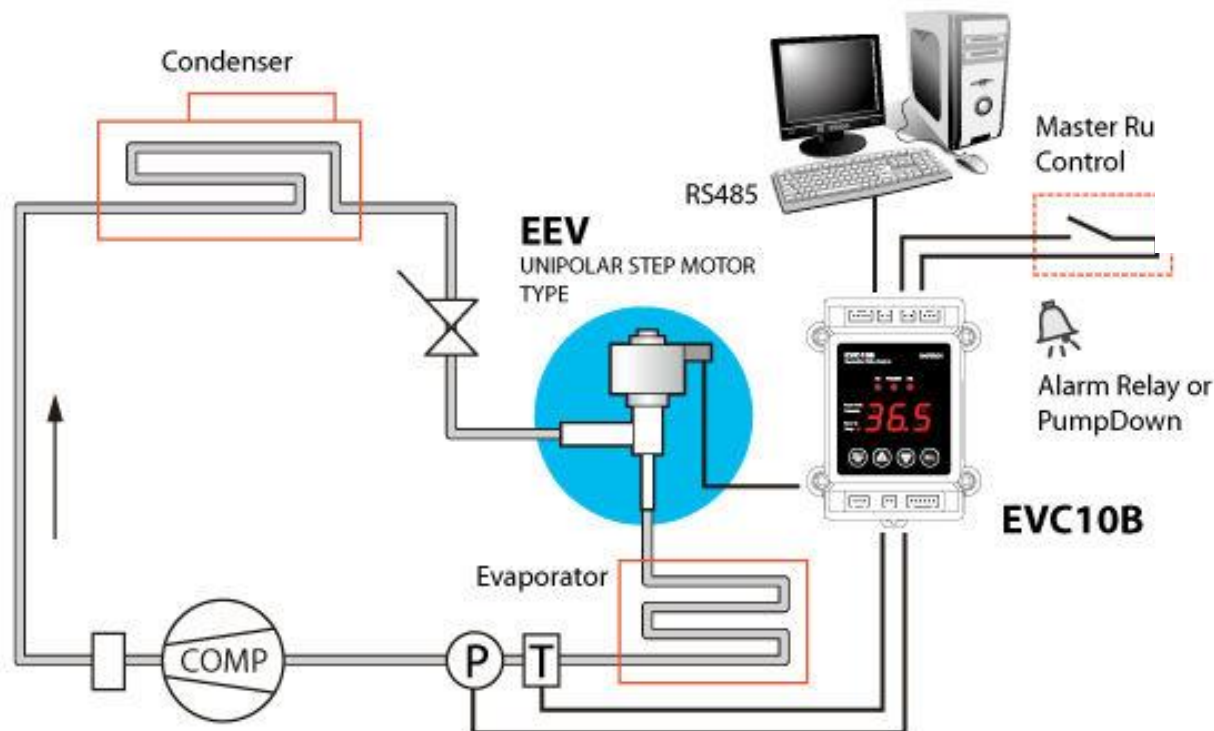
La consigne est réglée manuellement par un ressort :

- **Si la surchauffe augmente**
→ P_{bulbe} **augmente**
→ **le pointeau descend et laisse passer + de FF**

- **Si la surchauffe diminue**
→ P_{bulbe} **diminue**
→ **le pointeau monte et laisse passer - de FF**

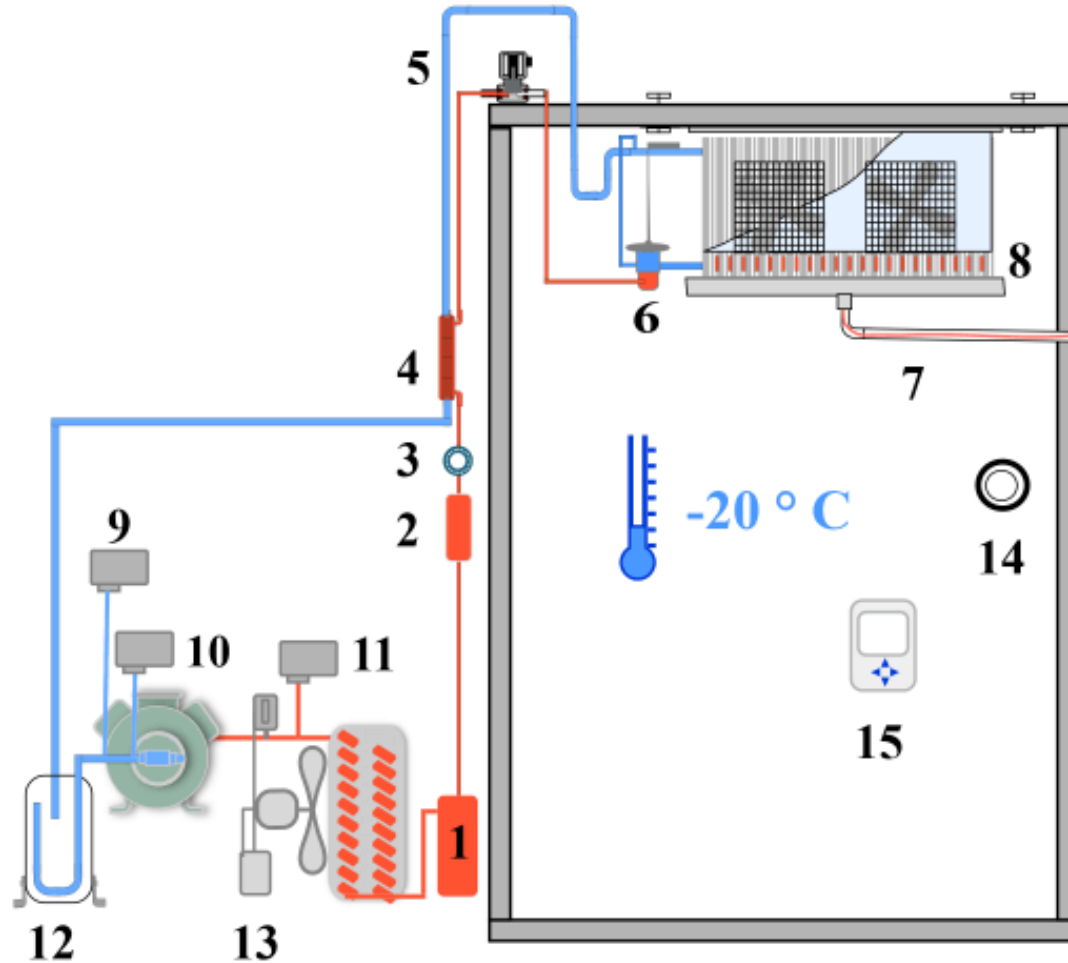


Technologie de détendeur : électronique



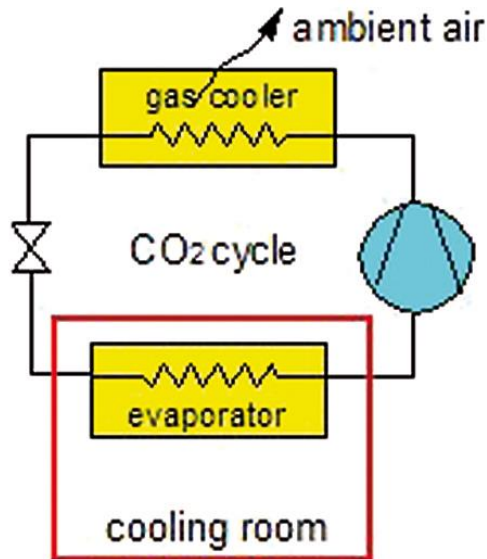
The expansion valve adjusts the flow of refrigerant based on cooling demand.

Organes de régulation et de sécurité



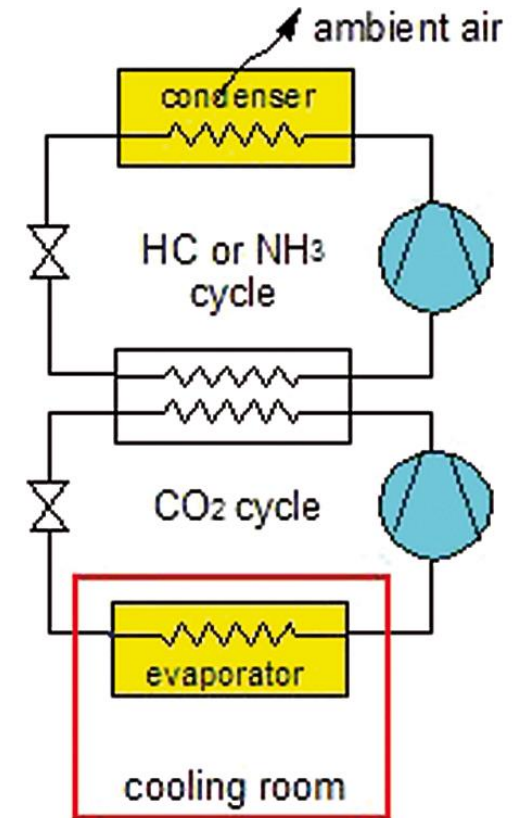
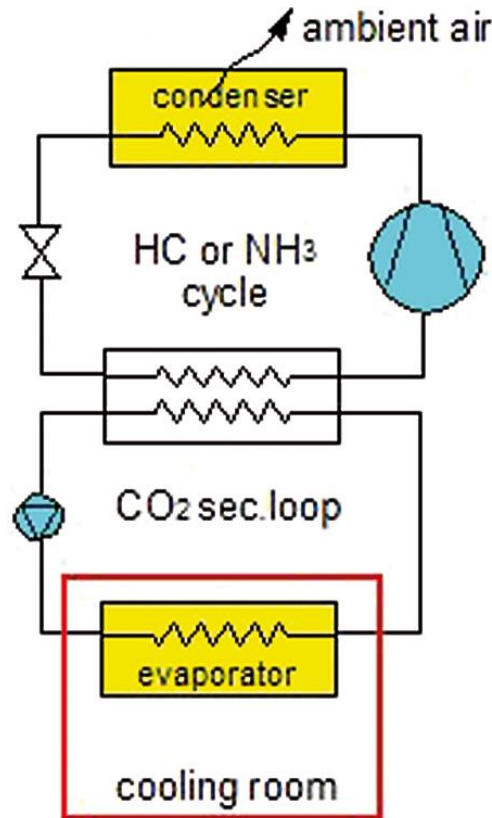
Circuit à plusieurs compresseurs

- Cycle combiné (schéma de droite)



CO₂ critical pressure = 73.84 bar
critical temperature = 31.06°C

heat exchangers
considered in this paper



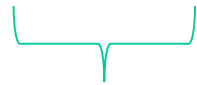
2. Nomenclature sur les fluides frigorigènes

Classification des fluides selon la chimie

- Fluides naturels
- HC : hydrocarbures
- PFC perfluorocarbures :
- CFC chlorofluorocarbures (*les fréons*) :
- HCFC hydrochlorofluorocarbures :
- HFC hydrofluorocarbures :
- HFO hydrofluoroléfines (double liaison carbonées)

Nomenclature ANSI/ASHRAE 34 :

R + **W X Y Z** + lettres optionnelles



4 chiffres

(ou 3 chiffres si W = 0)

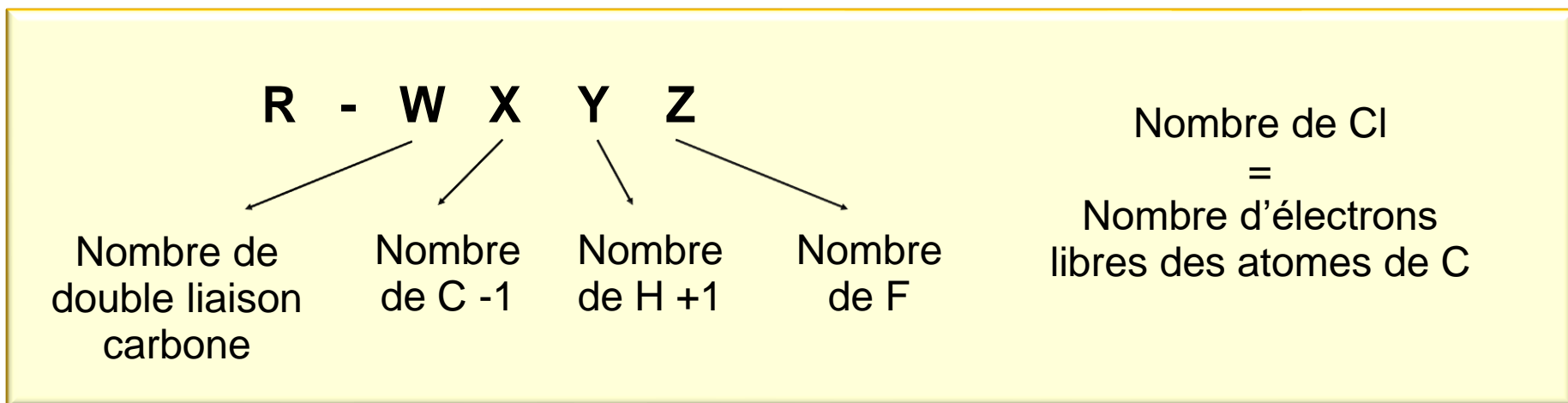
(ou 2 chiffres si W,X=0)

Les différentes familles sont :

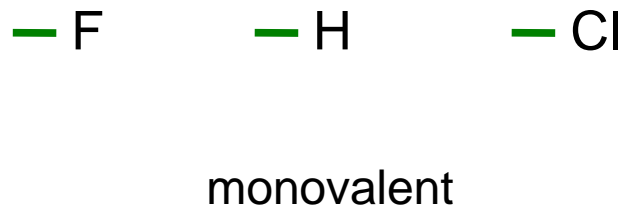
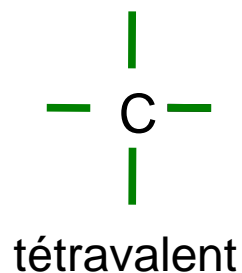
Série 100, 200, 300 ou > 1000	alcane, alcènes et dérivés halogénés
Série des 400	mélange zéotropes
Série des 500	mélange azéotropes
Série des 600	composés organiques divers
Série des 700	composés inorganiques

Série 100, 200, 300 et > 1000 : alcanes, alcènes et dérivés halogénés

4 atomes possibles : C, H, F et Cl



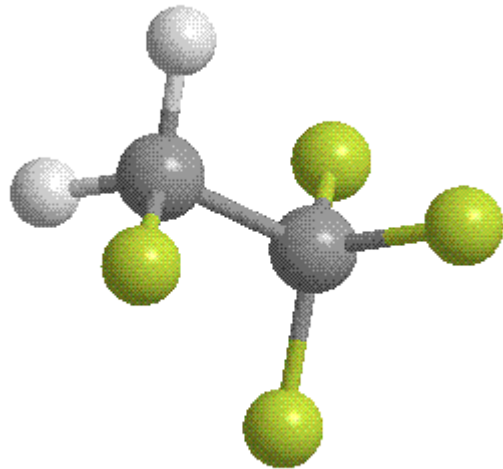
Petit mémo sur les liaisons de valence :



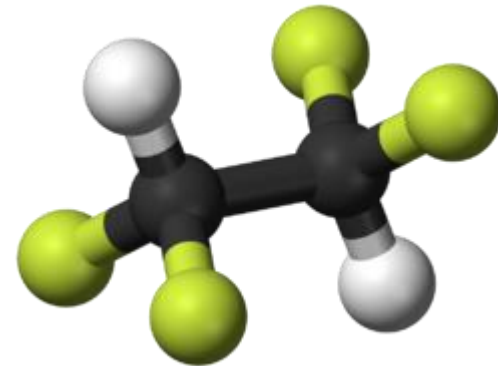
Série 100, 200, 300 et > 1000 : alcanes, alcènes et dérivés halogénés

Cas particulier 2: quand il existe plusieurs géométries spatiales pour une même formule brute (isomérie de position), on indique par une lettre minuscule la géométrie adoptée.

même formule brute $C_2F_4H_2$



1,1,1,2-Tétrafluoroéthane
R134a



1,1,2,2-Tétrafluoroéthane
R134b

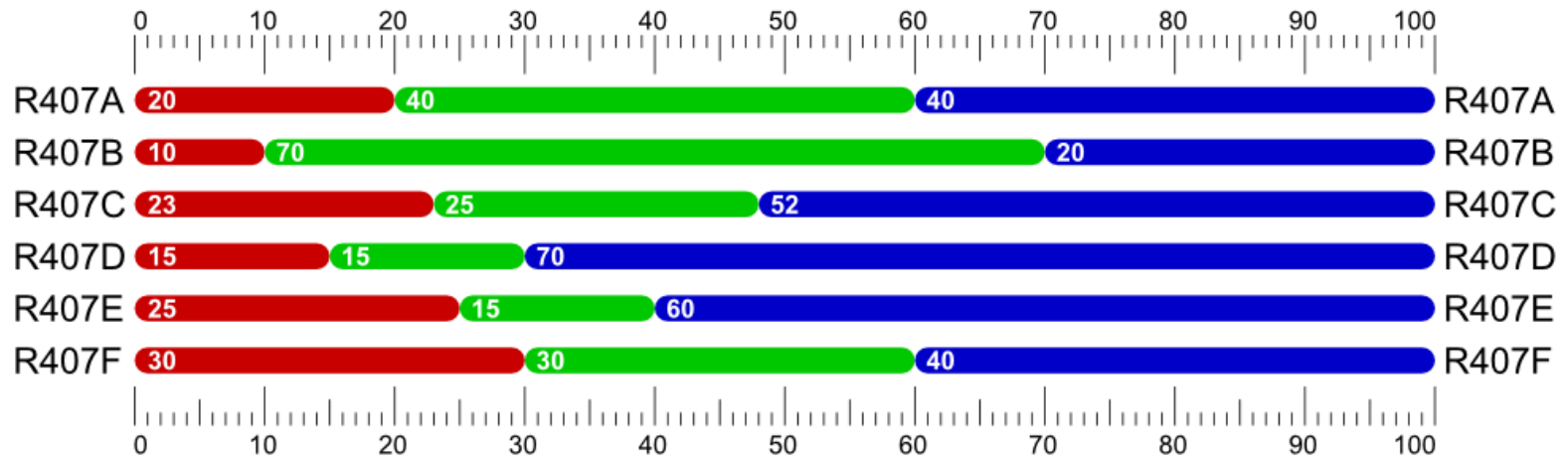
Série des 400 & 500 : mélanges

Les mélanges zéotropes de plusieurs espèces chimiques sont caractérisés dans la nomenclature par X=4 et azéotrope par X=5.

Dans cette série, les numéros d'identification sont les numéros d'ordre d'enregistrement des mélanges. Les mélanges ayant les mêmes composants ont le même numéro, seule une lettre majuscule les différencie.

Pourcentage des composants pour le R407

R32 R125 R134a



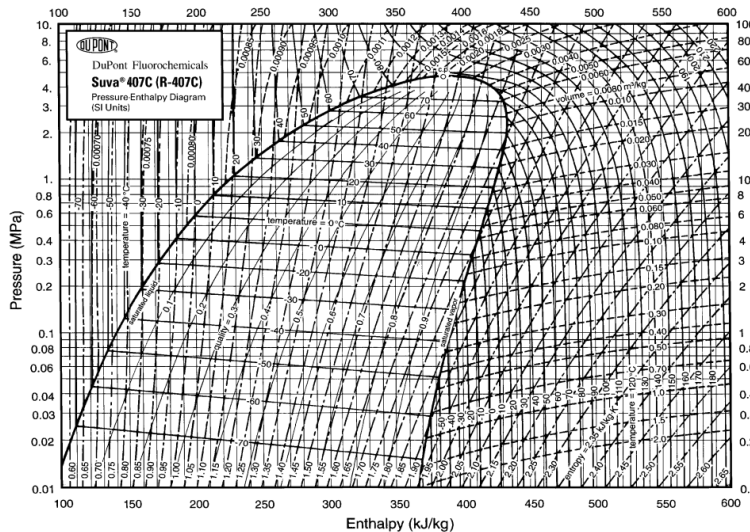
2. Nomenclature fluides

Série des 400 & 500 : mélanges

Série des 400



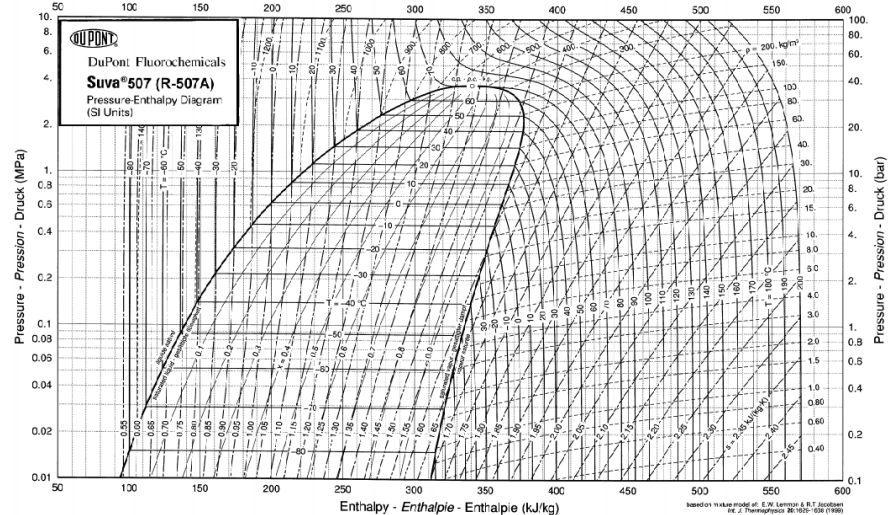
Mélange zéotrope



Série des 500



Mélange azéotrope



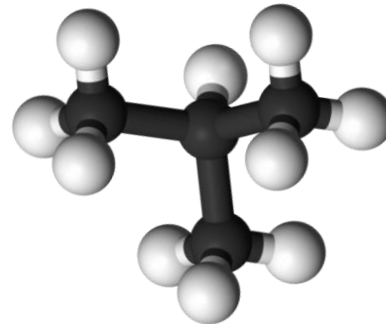
Série des 600 : composés organiques divers

Composés non halogénés ou alcanes (ou leurs dérivés halogénés) dont le nombre de carbone ≥ 4 . La numérotation est arbitraire.

Ex : l'éther éthylique $C_4H_{10}O = R610$

Une lettre en minuscule permet de distinguer différentes configurations spatiales.

Ex : l'isobutane $C_4H_{10} = R600a$



Série des 700 : composés inorganiques

Les numéros d'identification YZ du fluide correspondent à la masse molaire en g/mol du composé.

Ex : ammoniac (NH_3) **R717** $M = 14 + (3 \cdot 1) = 17 \text{ g/mol}$

eau (H_2O) **R718** $M = (2 \cdot 1) + 16 = 18 \text{ g/mol}$

CO_2 **R744** $M = 12 + (2 \cdot 16) = 44 \text{ g/mol}$

Rappel :

- $M(\text{H}) = 1 \text{ g/mol}$
- $M(\text{O}) = 16 \text{ g/mol}$
- $M(\text{N}) = 14 \text{ g/mol}$
- $M(\text{C}) = 12 \text{ g/mol}$
- $M(\text{F}) = 18 \text{ g/mol}$

3. Réglementation : installation sous pression

3. Installations sous pression

4.1) Installations neuves : DESP

- DESP = **Directive Européenne « Equipements Sous Pression »** :
 - *1^{ère} version : 97/23/CE en vigueur depuis le 29 mai 1997*
→ application obligatoire en France depuis fin 1999
 - *Version actuelle : 2014/68/UE en vigueur depuis 15 mai 2004*
→ application obligatoire en France et en totalité depuis 2016
- Assujettie à la DESP tout équipement dont la « **pression maximale admissible** » PS est supérieure à 0,5 bar (par définition c'est une pression relative).
Il s'agit de la pression pour laquelle l'équipement a été conçu et donné par le fabricant.
- Tout composant d'une machine frigorifique a une PS et l'ensemble de la machine aussi.
Le PS de la machine doit être inférieure ou égale la plus petite PS individuelle.
Type d'équipements selon DESP :
 - Les récipients
 - Les tuyauteries
 - Les accessoires sous pression (pressostat de régulation par exemple)
 - Les accessoires de sécurité (pressostat de sécurité)

3. Installations sous pression

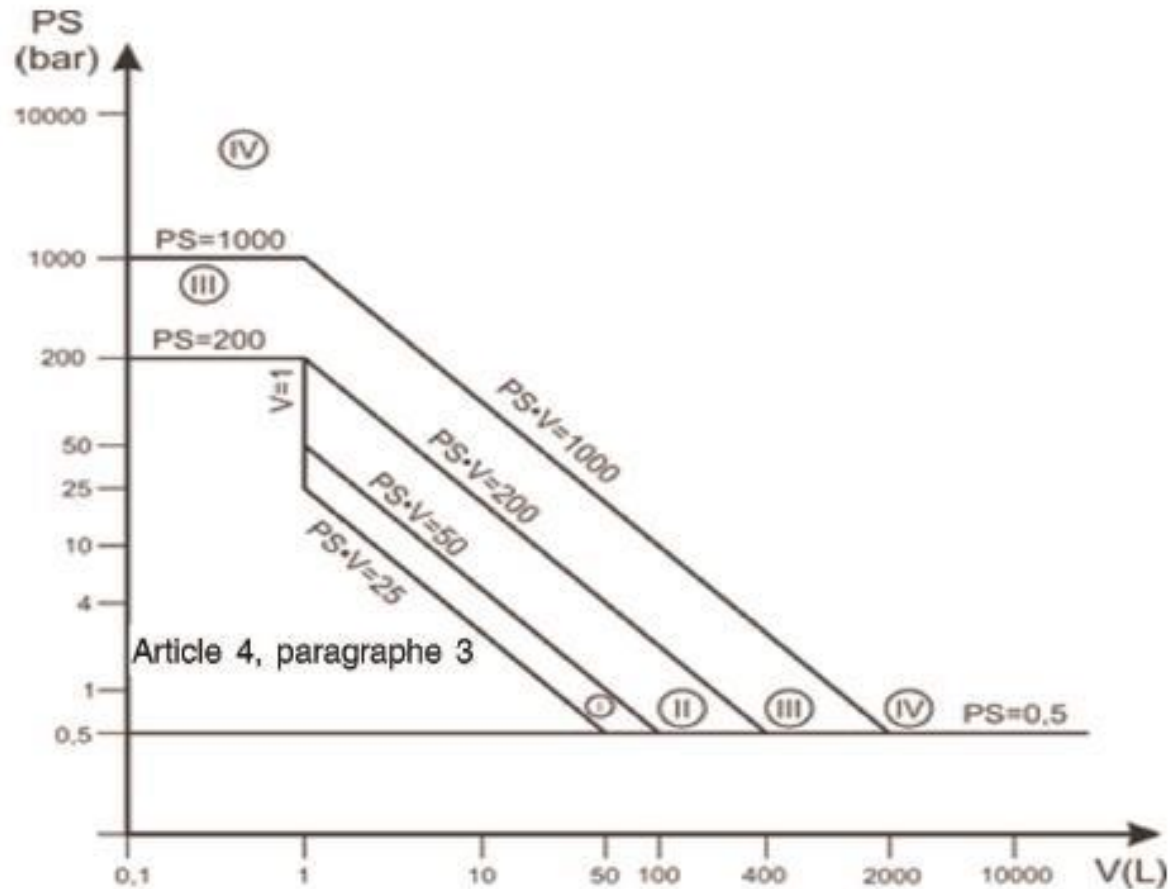
4.1) Installations neuves : DESP

- **Classification des fluides selon la DESP :**
 - Groupe gaz 1 = « fluides dangereux » (inflammable, toxique) comme NH₃, R600, R32, HFO
 - Groupe gaz 2 = « autres fluides » comme R134a, R404A, R744, R410
- **Catégorie des risques DESP :**
 - Notation : I, II, III et IV (en chiffres romains)
 - Catégorie d'un ensemble de composants = catégorie de l'équipement la plus élevée.
 - Un accessoire de sécurité est toujours de catégorie IV.
 - Pour les autres accessoires, la catégorie dépend :
 - Du type d'équipement
 - Du groupe gaz
 - De la PS
 - Du volume total de fluide ou du diamètre

3. Installations sous pression

4.1) Installations neuves : DESP

- Ex : récipients gaz groupe 1



3. Installations sous pression

4.1) Installations neuves : DESP

- Les exigences à satisfaire sont regroupées dans des « modules ».

Mode de fabrication	ISO 9001 ?	Catégorie de risques					
		I	II	III		IV	
		Conception & Production	Conception & Production	Conception	Production	Conception	Production
En série	Sans	A	A2	Bf	C2	Bf	F
	Avec	A	D1+E1	Bf + E+ H		Bf	D
Unitaire	Sans	A	A2	Bc	F	G	
	Avec	A	D1+E1	Bc + D + H		H1	

- Module A : contrôle interne de la fabrication.
- Module A2 : contrôle interne de la fabrication avec vérification finale par un organisme notifié.
- Module Bc : examen CE de conception par organisme notifié
- Module F : vérification sur produits et vérification finale par organisme notifié.
- Module G : vérification CE à l'unité par l'organisme notifié.
- ...

3. Installations sous pression

4.1) Installations neuves : DESP

- Les exigences à satisfaire sont regroupées dans des « modules ».

Mode de fabrication	ISO 9001 ?	Catégorie de risques					
		I	II	III		IV	
		Conception & Production	Conception & Production	Conception	Production	Conception	Production
En série	Sans	A	A2	Bf	C2	Bf	F
	Avec	A	D1+E1	Bf + E+ H		Bf	D
Unitaire	Sans	A	A2	Bc	F	G	
	Avec	A	D1+E1	Bc + D + H		H1	

Evaluation en interne

Evaluation par organisme notifié
(Apave, Bureau veritas, ...)

3. Installations sous pression

4.2) Exploitation d'installations : arrêté du 20 novembre 2017

- **Objectif** : définir les opérations de contrôles pour les équipements de catégories II, III et IV.
- Se substitue à la DESP mais il est basé dessus. Il apporte des restrictions supplémentaires.
- **Opérations de contrôles à réaliser** :
 - **Vérification lors de la mise en exploitation**
 - **Inspections périodiques** pour s'assurer de la sécurité de l'installation (au moins tous les 4 ans) sous la responsabilité de l'exploitant
 - *Analyse du dossier des équipements.*
 - *Vérification visuelle extérieure et sous le calorifuge.*
 - *Vérification des accessoires de sécurité.*
 - *Consignation des résultats*
 - **Requalifications périodiques** = inspections par un expert d'un organisme habilité.
 - *Périodicité : tous les 10 ans pour le groupe gaz 1 (« autres »)
et 6 ans pour le groupe gaz 2 (« dangereux »)*
 - *Mêmes opérations que l'inspections périodiques
+ vérification intérieure + épreuve sous pression*

3. Installations sous pression

4.2) Exploitation d'installations : arrêté du 20 novembre 2017

- **Objectif** : définir les opérations de contrôles pour les équipements de catégories II, III et IV.
- Se substitue à la DESP mais il est basé dessus. Il apporte des restrictions supplémentaires.
- **Opérations de contrôles à réaliser** :
 - **Vérification lors de la mise en exploitation**
 - **Inspections périodiques** pour s'assurer de la sécurité de l'installation (au moins tous les 4 ans) sous la responsabilité de l'exploitant
 - *Analyse du dossier des équipements.*
 - *Vérification visuelle extérieure et sous le calorimètre.*
 - *Vérification des accessoires de sécurité.*
 - *Consignation des résultats*
 - **Requalifications périodiques** = inspections par un expert d'un organisme habilité.
 - *Périodicité : tous les 10 ans pour le groupe gaz 1 (« autres »)
et 6 ans pour le groupe gaz 2 (« dangereux »)*
 - *Mêmes opérations que l'inspections périodiques
+ vérification intérieure + épreuve sous pression*

Aménagement de la périodicité des inspections et requalifications périodiques si mise en place d'un **plan d'inspection.**

3. Installations sous pression

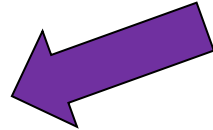
4.3) Exploitation d'installations : CTP (23 juillet 2020)

- **Position du problème** : on souhaite un aménagement des exigences de l'arrêté du 20 novembre 2017 pour les points suivants :
 - Vérification sous les calorifuges
 - Vérifications intérieures
 - Epreuve de pression
- Aménagement possible si mise en place et suivi d'un **CTP (Cahier Technique Professionnel)**. Si non-respect du CTP, c'est l'arrêté du 20 novembre 2017 qui s'applique.
- Le CTP inclut :
 - **Vérification initiale** : conformité à la notice et DESP, vérifier que le CTP peut être mis en place.
 - **Inspection périodique** : on ne fait pas les vérification sous les calorifuges. Mais inspection + minutieuse .
 - **Requalification périodique** : inspection des systèmes de sécurité. Vérifications intérieures, épreuve de pression ou autre études poussées faites si jugées utiles par un expert.

<http://www.pyc.fr/PDF/RPF/CTP-ESP-frigorifiques-du-23072020-1.pdf>

4. Réglementation : fluides frigorigènes et sécurité

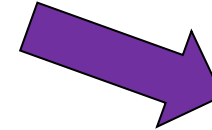
Sécurité des FF ISO 817:2014



Classe de toxicité

Classe	Définition
A	Faiblement toxique
B	Hautement toxique

(pour une concentration < 400 ppm)



Classe d'inflammabilité

Classe	Définition
1	Ininflammable
2L	Faiblement inflammable
2	Inflammable
3	Haute inflammable

*Essais d'inflammabilité normalisés
et réalisés à 21°C et 101kPa*

Quelques exemples ISO EN FR 378-1:2016

	1	2L	2	3
A	R11 (CFC) R22 (HCFC) R134a (HFC) R404A (HFC) R407C (HFC) R718 (H ₂ O) R744 (CO ₂)	R143a (HFC) R32 (HFC) R1234yf (HFO) R1234ze (HFO)	R152a (HFC)	R600 (HC)
B	R123	R717 (NH ₃)		

**Pour certains types de bâtiment, il y a des restrictions sur les fluides.
Ex : bâtiment ERP (Etablissement Recevant du Public)**

- Charge maximale selon la toxicité (tableau C.1 – NF EN ISO 378:2017)

limite de quantité avec ventilation minimale (autres étages)

Pour les emplacements suivants :

- Espace occupé
- Compresseurs, bouteilles dans local technique ou extérieur

$$m_{max} = V_{pièce} * concentration$$

Tableau C.3 — Charge admissible de fluide frigorigène

Fluide frigorigène	Concentration admissible (kg/m ³) RCL	QLMV (kg/m ³)	QLAV (kg/m ³)
R-22	0,21	0,28	0,50 ^a
R-134a	0,21	0,28	0,58 ^a
R-407C	0,27	0,44	0,49 ^a
R-410A	0,39	0,42	0,42 ^a
R-744	0,072	0,074	0,18 ^b
R-32	0,061	0,063	0,15 ^c
R-1234yf	0,058	0,060	0,14 ^c
R-1234ze	0,061	0,063	0,15 ^c

^a Basée sur l'ODL
^b Basée sur une fraction volumique de 10 %
^c Basée sur 50 % de la LFL

sous-sol

limite de quantité avec ventilation supplémentaire

**Pour certains types de bâtiment, il y a des restrictions sur les fluides.
Ex : bâtiment ERP (Etablissement Recevant du Public)**

- Charge maximale selon l'inflammabilité (tableau C.2 – NF EN ISO 378:2017)
+ arrêté du 10 mai 2019

Formule pour les fluides *inflammables* ()

$$m_{max} = 2,5 \cdot LII^{\frac{5}{4}} \cdot h_0 \cdot A^{1/2}$$

- LII : Limite Inférieure d'Inflammabilité (en kg/m³)
- h_0 : coefficient tenant compte de la hauteur de l'équipement situé le plus bas par rapport au sol.
- A : surface au sol (en m²)

h_0	Emplacement
0,6	Au sol
1,1	Sur fenêtre
1,8	Au mur
2,2	Au plafond

**Pour certains types de bâtiment, il y a des restrictions sur les fluides.
Ex : bâtiment ERP (Etablissement Recevant du Public)**

- Zone d'exclusion pour les fluides inflammables**

En cas d'emploi de fluides inflammables, des « zones d'exclusion » autour des raccordements des unités dans lesquelles aucune source permanente d'inflammation est autorisée. Cette zone est un cercle centré sur le raccordement dont le rayon est donné par le tableau ci-dessous :

Diamètre intérieur D de la tuyauterie faisant circuler la phase liquide (mm)	Rayon de la zone d'exclusion (m)		
	Installations extérieures	Installations intérieures LII $\geq 0,10 \text{ kg/m}^3$	Installations intérieures LII $< 0,10 \text{ kg/m}^3$
$D \leq 10$	2	1	2
$10 < D \leq 20$	4	2	4
$20 < D \leq 50$	10	4	10

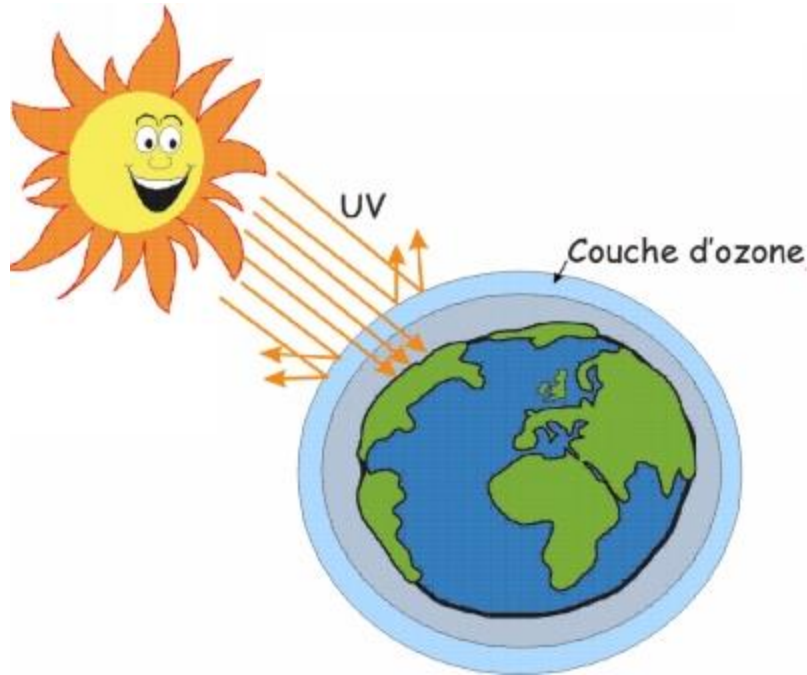
Ordre de grandeur :

- **A2L et A2 : rayon de 1 à 4 m**
- **A3 : rayon de 2 à 10 m**

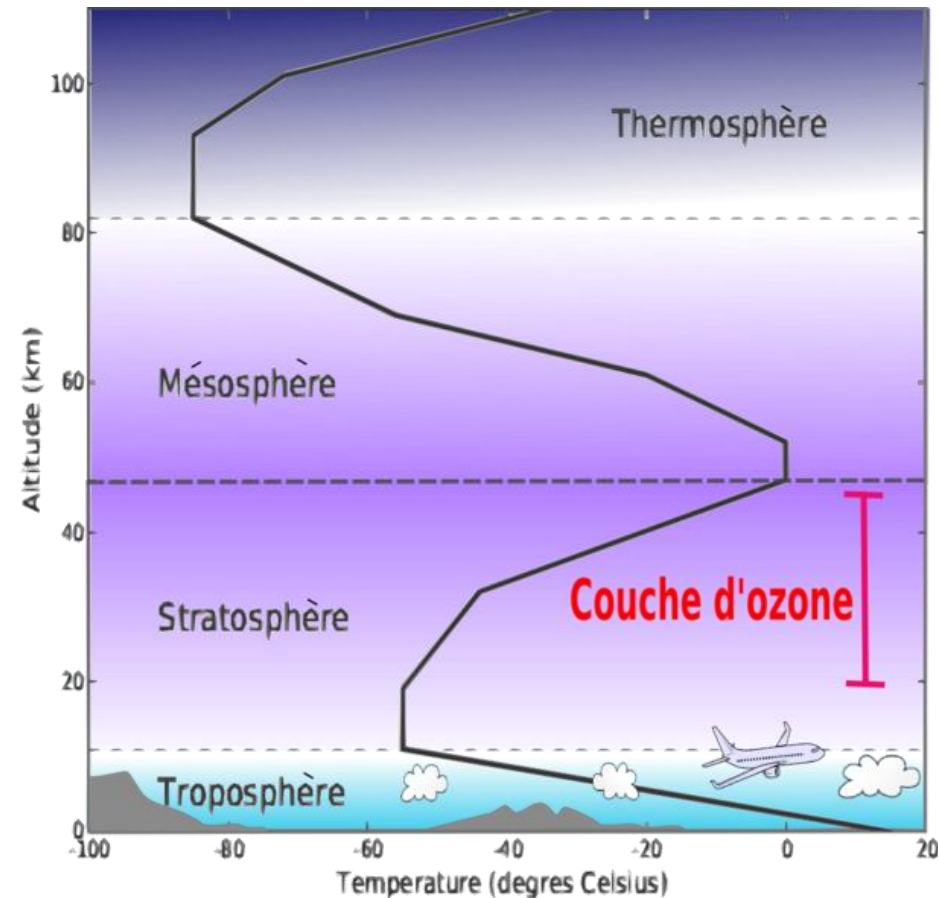
Arrêté du 10 mai 2019 modifiant l'arrêté du 25 juin 1980 (article CH35)

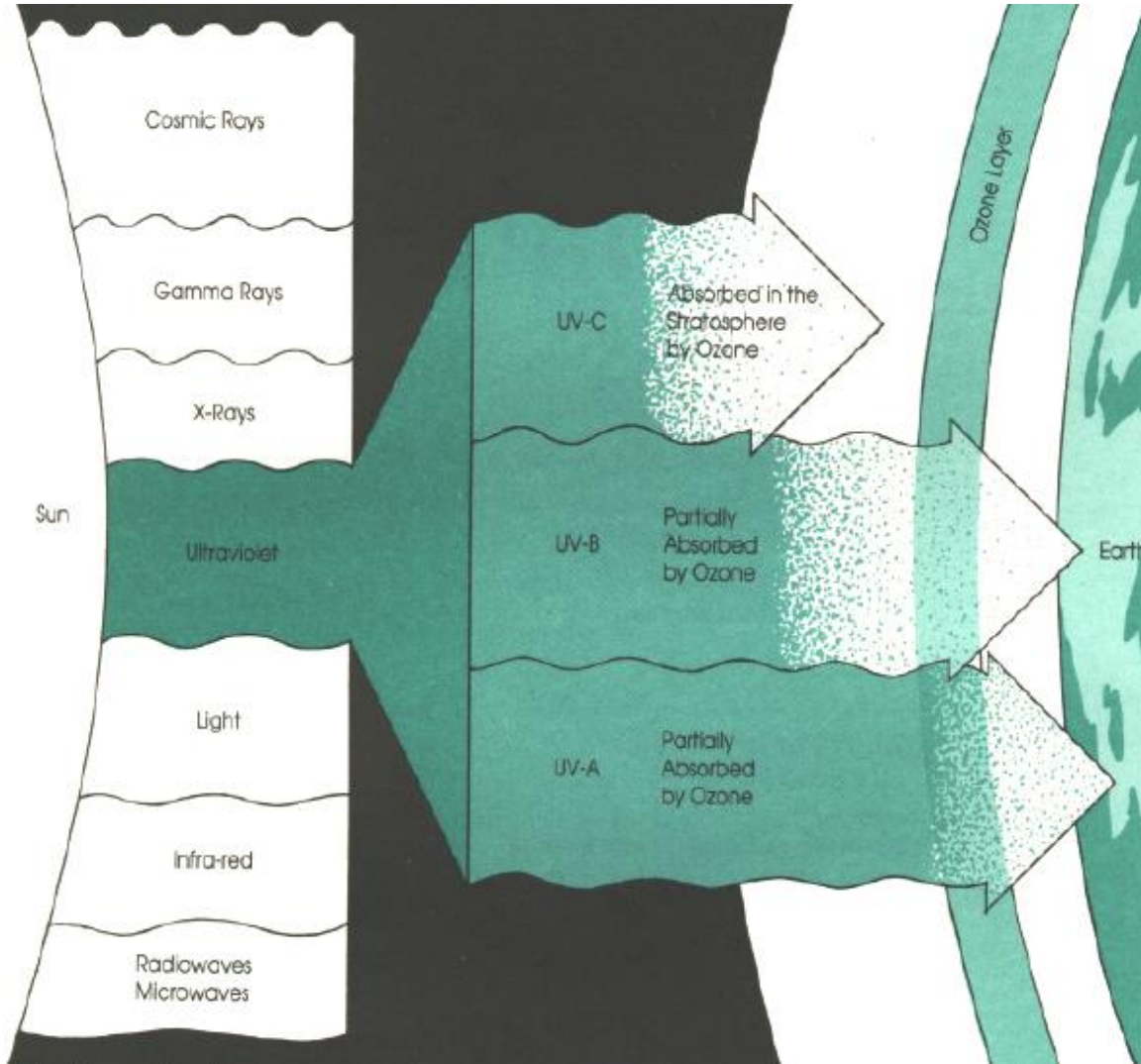
5. Réglementation : fluides frigorigènes et environnement

Qu'est-ce que la couche d'ozone ?



La couche d'ozone (O_3) est une couche située entre 20 et 50 km d'altitude nous protégeant des rayons UV du Soleil.





Son importance ?

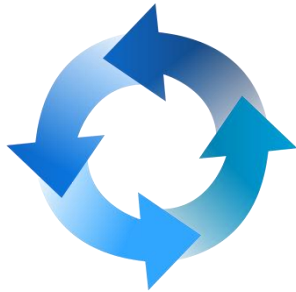
Classification du rayonnement UV

Domaine (nm)	Effets biologiques
UV-A : 320 – 400	Assez peu nocifs, ne provoquent pas de «brûlure».
UV-B : 290 – 320	Nocifs, à l'origine des «coups de soleil », de cancers.
UV-C : 200 – 290	Extrêmement nocifs. Ces rayonnements sont totalement absorbés par la couche d'ozone.

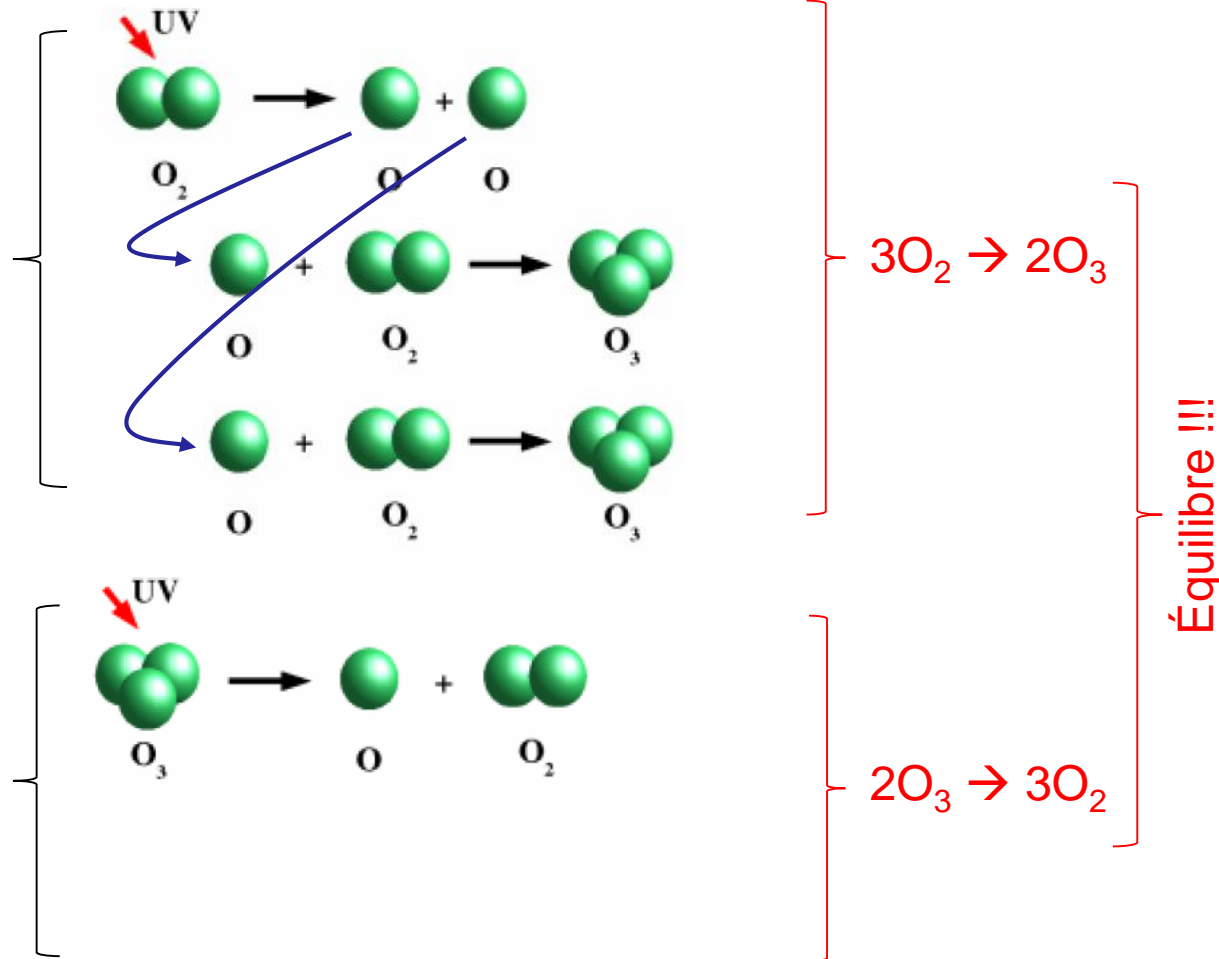
Sans couche d'ozone, la vie n'aurait pas pu se développer sur la terre (mais seulement dans les océans).

Comment ça marche : cycle de Chapman (1930)

Formation de l'ozone par un UV (à haute altitude)

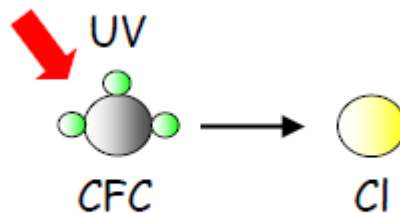


Destruction de l'ozone par un UV (à basse altitude)



Formation du trou de la couche d'ozone par les CFC

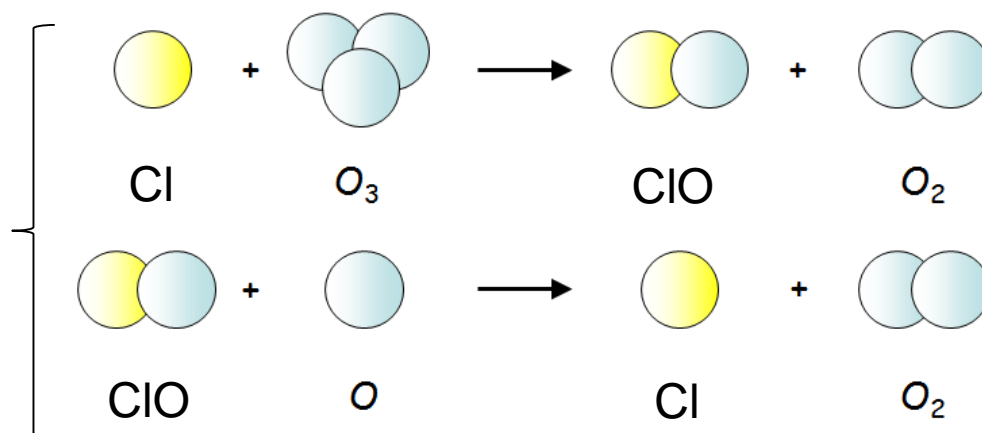
Libération des atomes de chlore



Cycle catalytique

→ Perturbation du cycle de Chapman

→ Destruction de la couche d'ozone



Les CFC sont responsables de 75% de l'appauvrissement de la couche d'ozone

Comment quantifier impact des fluides frigorigènes sur la couche d'ozone ?

ODP (Ozone Depletion Potential)
ou PDO (Potentiel de destruction d'ozone)

$$\text{ODP} = \frac{\text{appauvrissement en ozone par 1kg du fluide frigorigène}}{\text{appauvrissement en ozone par 1 kg de R11}}$$

sans unité

L'ODP quantifie l'appauvrissement de la couche d'ozone suite au rejet dans l'atmosphère de 1kg de fluide frigorigène.

L'ODP est une grandeur relative :
on se compare à une référence = les effets du rejet d' 1kg de R11.

Quelques valeurs d'ODP

Type de fluide	Nom du fluide	ODP
CFC	R11	1
	R12	1
HCFC	R22	0,05
	R123	0,02
	R124	0,022
HFC	R134a	0
	R404A	0
	R407C	0
HFO	R1234yf	0
	R1234ze	0
Naturel / HC	R717	0
	R718	0
	R744	0
	R600a	0

Le R11 a un ODP de 1.

Les CFC ont un ODP proche de 1.

Les HCFC ont un ODP quasi nul.

Les HFC, les HFO et les fluides naturels ont un ODP nul (donc non nocif pour la couche d'ozone).

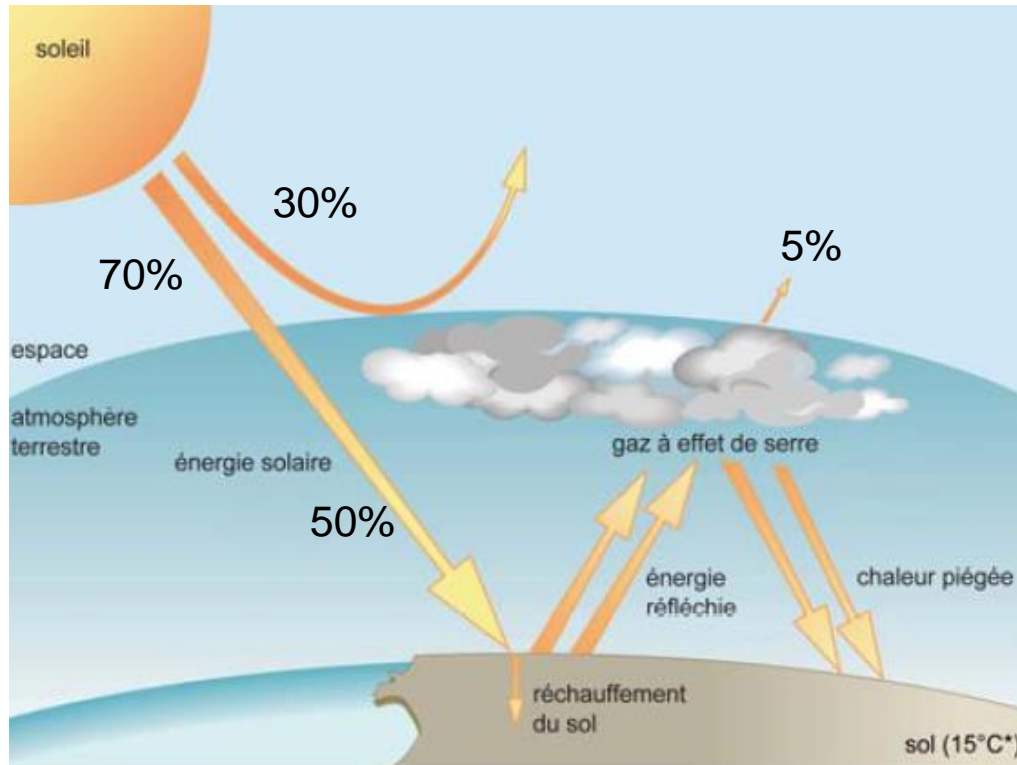
1^{ère} vague de réglementation : interdiction des CFC

- **1^{er} janvier 2000** : interdiction de vendre des CFC comme fluide frigorigène
- **1^{er} janvier 2001** : interdiction d'utiliser des CFC pour la maintenance et l'entretien des machines frigorifiques.

2^{ème} vague de réglementation : interdiction des HCFC

- **1^{er} janvier 2002** : interdiction d'utiliser des HCFC comme solvant
- **1^{er} janvier 2004** : interdiction d'utiliser des HCFC pour la production de machines frigorifiques & de PAC neuves
- **1^{er} janvier 2010** : interdiction de vendre des **HCFC vierges** comme fluide frigorigène et de les utiliser pour la maintenance et l'entretien des machines frigorifiques.
 - Possibilité d'utiliser des **HCFC recyclés** (fluide frigo d'une installation nettoyé et filtré pour être ensuite réutilisé par une installation du même site).
 - Possibilité d'utiliser des **HCFC régénérés** (fluide frigo d'une installation chimiquement remis aux spécifications d'origine).
- **1^{er} janvier 2015** : interdiction d'utiliser tout HCFC pour la maintenance et l'entretien des machines frigorifiques.

Effet de serre :



Mécanisme similaire à celui d'une serre en verre

Seulement 50% des rayons du Soleil arrivent sur la surface de la Terre.

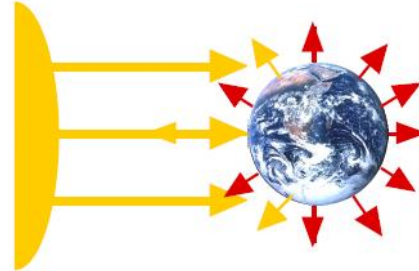
Le sol absorbe le rayonnement et émet à son tour un rayonnement infrarouge vers l'atmosphère.

Ce rayonnement est absorbé par les gaz à effets de serre. La chaleur est ensuite réémise principalement vers la surface de la Terre.

Sans l'effet de serre, la température sur Terre serait de -18°C (pas propice au développement de la vie).

Au cours du siècle dernière, forte augmentation de la concentration des gaz à effet de serre (GES) liée à l'activité humaine → problème du **réchauffement climatique**.

Notion de forçage radiatif :




La Terre sans effet de serre

Flux solaire incident : $\phi_i = 240 \text{ W/m}^2$

Calcul de T moyenne au sol :

Loi de Stéphan : $\phi_i = \sigma T^4$

 $T = \sqrt[4]{\frac{\phi_i}{\sigma}} = -18^\circ\text{C}$

La Terre avec effet de serre

T moyenne au sol mesurée : 15°C

Calcul du flux reçu :

$$\phi_r = \sigma T^4 = 390 \text{ W/m}^2$$

Effet serre = $\phi_r - \phi_i = 150 \text{ W/m}^2$
= **forçage radiatif**

Comment quantifier impact des fluides frigorigènes sur le réchauffement climatique ?

GWP (Global Warming Potential) ou PRG (Potentiel de réchauffement global)

Quantité de CO₂ équivalente au rejet de 1 kg du fluide frigorigène considéré.
Le GWP est exprimé en **kg équivalent CO₂/kg**.

Il est nécessaire d'indiquer l'intervalle de temps sur lequel est calculé le GWP.

Exemple : temps de séjour moyen de

- 200 ans pour le CO₂**
- 13,8 ans pour le R134a**
- 640 ans pour le R13**
- 10,5 jours pour le R1234yf**

Intervalle de temps considéré	GWP	R134a	R13
20 ans	GWP ₂₀ (kg éq CO ₂ /kg)	3 830	10 800
100 ans	GWP ₁₀₀ (kg éq CO ₂ /kg)	1 430	14 400
500 ans	GWP ₅₀₀ (kg éq CO ₂ /kg)	435	16 400

Quelques valeurs de GWP (5^{ème} rapport du GIEC)

Type de fluide	Nom du fluide	Temps de vie	GWP ₂₀ kg éq CO ₂ /kg	GWP ₁₀₀ kg éq CO ₂ /kg
CFC	R12	100 ans	10 800	10 200
	R13	640 ans	10 900	13 900
HCFC	R22	11,9 ans	5 280	1 760
	R123	1,3 ans	292	79
	R124	5,9 ans	1870	527
HFC	R134a	13,4 ans	3710	1300
	R404A	40,36 ans	6 010	3 922
	R407C	15,657 ans	4 115	1 774
HFO	R1234yf	10,5 jours	1	<1
	R1234ze	10,0 jours	1	<1
Naturel / HC	R717 ammoniac	< 0,02 ans	0	0
	R718 eau	0,026 ans	<1	<1
	R744 CO ₂	~ 200 ans	1	1
	R600a isobutane	12 ± 3 ans	?	3

3^{ème} vague : limitation des HFC

Réglementation française : attester de la bonne utilisation des fluides frigos

Les opérateurs



Le site



Attestation d'**aptitude** à la
manipulation des fluides frigos

Obligatoire depuis le 4 juillet 2009

Attestation de **capacité** pour la
manipulation des fluides frigos

Obligatoire depuis le 5 juillet 2011

3^{ème} vague : limitation des HFC

Réglementation française : attester de la bonne utilisation des fluides frigos

Les opérateurs



Attestation d'**aptitude** à la
manipulation des fluides frigos

Obligatoire depuis le 4 juillet 2009

Obligatoire pour toutes personnes réalisant opérations de maintenance et de mise en service de machines frigos.

Attestation nominative et valable «à vie».

Atteste que l'opérateur :

- *Connaît la législation.*
- *Connaît les bonnes pratiques.*
- *Sait utiliser le matériel réglementaire et sait vérifier son état de fonctionnement.*
- *Sait diagnostiquer les pannes les plus courantes sur les machines frigos.*

3^{ème} vague : limitation des HFC

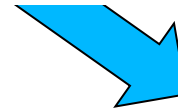
Réglementation française : attester de la bonne utilisation des fluides frigos

Obligatoire pour toutes entreprises souhaitant acheter du fluide frigorigène pour eux ou pour leur clients.

Attestation valable 5 ans.

Atteste que :

- *Le site dispose du matériel réglementaire et en état de marche.*
- *Tous les opérateurs du site ont leur attestation d'aptitude.*
- *Toutes les machines sont répertoriées et sont suivies.*
- *Un bilan annuel des entrées / sorties (dont les pertes) en fluide frigo est réalisé.*



Le site



Attestation de **capacité** pour la manipulation des fluides frigos

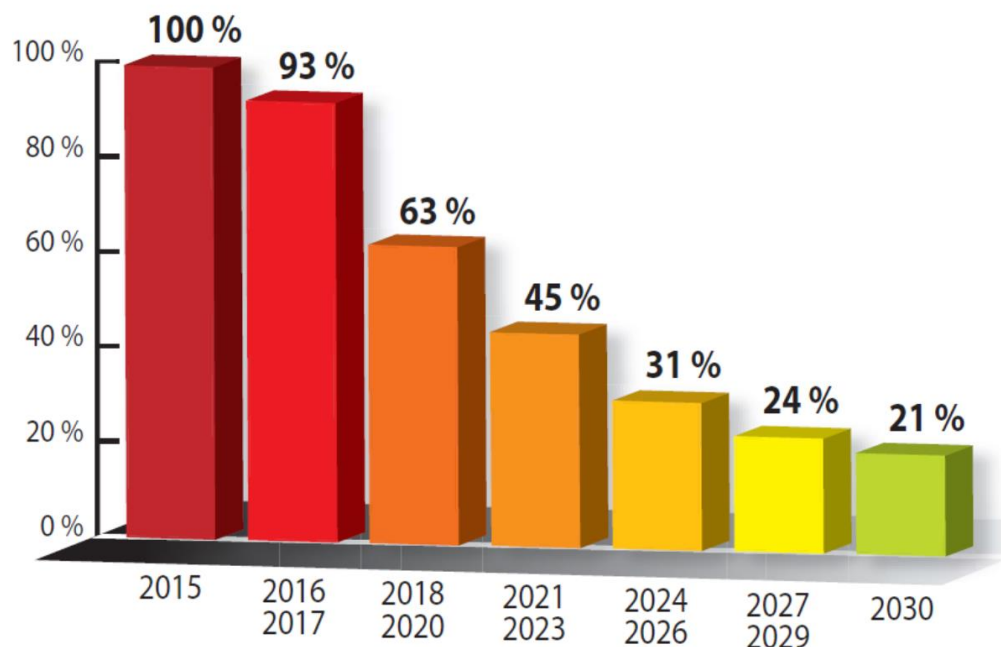
Obligatoire depuis le 5 juillet 2011

4^{ème} vague : restriction des HFC (règlement F-gas mise à jour 2014)

Révision en 2014 du
règlement F-Gas



Applicable dès le 1^{er} janvier 2017



→ Diminution progressive de
mise sur le marché des
fluides HFC (en $T_{\text{éq}} \text{CO}_2$)

Ce planning appelé « Phase Down » est calculé à partir des quantités en teq. CO_2 (tonne équivalent CO_2) mises en moyenne sur le marché durant les années 2009 à 2012.

4^{ème} vague : restriction des HFC (règlement F-gas mise à jour 2014)

Les grandes dates pour le secteur du neuf : froid commercial / domestique / confort

Date	Interdiction
1 ^{er} janvier 2015	Vendre des réfrigérateurs et congélateurs domestiques avec des HFC de GWP > 150
1 ^{er} janvier 2020	<ul style="list-style-type: none">• Vendre des réfrigérateurs et congélateurs commerciaux avec des HFC de GWP > 2500• Vendre des climatiseurs mobiles autonomes avec un GWP > 150
1 ^{er} janvier 2022	<ul style="list-style-type: none">• Vendre des réfrigérateurs commerciaux avec GWP > 150• Vendre des systèmes de réfrigération commerciaux multipostes de + de 40 kW avec GWP > 150
1 ^{er} janvier 2025	Vendre des climatiseurs split < 3kg avec GWP > 750

4^{ème} vague : restriction des HFC (règlement F-gas mise à jour 2014)

Les grandes dates pour la maintenance / recharge :

Date	Interdiction
1 ^{er} janvier 2020	Recharger avec du fluide neuf les installations avec $GWP > 2500$ et charge $> 40 T_{eq} CO_2$
1 ^{er} janvier 2030	Réparer ou entretenir toute installation avec $GWP > 2500$ (fluide neuf ou régénéré)

4^{ème} vague : restriction des HFC (règlement F-gas mise à jour 2014)

Contrôle d'étanchéité pour les HFC :

Charge	Fréquence du contrôle sans détecteur	Fréquence du contrôle avec détecteur
5 à 50 teqCO ₂	Tous les ans	Tous les 2 ans
50 à 500 teqCO ₂	Tous les 6 mois	Tous les ans
> 500 teqCO ₂	Tous les 3 mois	Tous les 6 mois

Un arrêté en date du 17 juillet 2019 est paru au Journal Officiel du 28 août.

Il précise les modalités de mise en œuvre des détecteurs de fuite.

5. Fluides & environnement

4^{ème} vague : restriction des HFC (règlement F-gas mise à jour 2014)

Le marquage des installations par une étiquette F-GAS

Depuis le 1^{er} Juillet 2016, lors de la première intervention, l'opérateur à l'obligation de marquer les installations de froid et de conditionnement d'air en Tonnes équivalent CO₂ à l'aide d'une étiquette de ce type :

Etiquette F-Gaz conforme au régl.t 517/2014 CE et art. R543-79 du code de l'environnement

Contient des gaz à effet de serre fluorés

Désignation / Repère de l'équip.t

Fluide :R- PRG(GWP): Date: / /

Charge initiale (usine) kg

Charge complémentaire (sur site)+ kg

Charge totale = kg

logo t. eq CO₂

$\frac{PRG \times kg}{1000}$



Historique

1834 : 1ère machine frigorifique fonctionnant à l'éther éthylique

Fluides naturels

Dangereux pour l'homme

1931 : invention du CFC R12

CFC

1935 : invention du HCFC R22

HCFC

Nocif pour la couche d'ozone

Gaz à effet de serre

1987 : protocole de Montréal

1990 : invention du HFC R134a

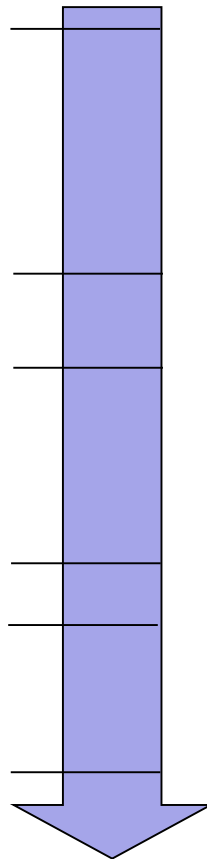
HFC

1997 : protocole de Kyoto

- R32, HC, fluides naturels
- R32, HFO

Dangereux pour l'homme

Gaz à effet de serre



Conclusion

- **Machine frigorifique à compression mécanique :**
 - Diversité de technologie pour les composants de base
 - Organes de sécurités et de régulation
 - Cycle biétagé ou combiné pour froid intensif
- **Nomenclature des fluides frigorigènes internationale ANSI/ASHRAE 34 : R + WXYZ**
- **Réglementation des ESP : PS > 0,5 bar**
 - **Neuf :** application de la DESP
 - **Exploitation :** arrêté du 20 novembre 2017 (basé sur la DESP)
+ possibilité de mettre en place un CTP (23 juillet 2020) pour aménager certaines obligations trop exigeantes.
- **Toxicité et/ou inflammabilité des fluides frigos : ISO 817 + NF EN 378**
- **Fluides frigorigènes peuvent être nocifs pour l'environnement :**
 - **Couche d'ozone :** CFC + HCFC interdit (neuf et recycle)
 - **Effet de serre :** mise en place d'attestations
+ règlement F-gas → restriction par rapport au GWP

Annexes

Tableau des catégories d'accès (norme NF EN 378:2017)

a Accès général	b Accès surveillé	c Accès réservé
<p>Hôpitaux, cours d'école, prisons, théâtres, supermarchés, salles de conférence, gares de transport, hôtels, habitations, restaurants</p>	<p>Bureaux d'affaires ou professionnels, laboratoires, locaux de fabrication générale et où des personnes travaillent</p>	<p>Locaux de fabrication, par exemple de produits chimiques, de produits alimentaires, de boissons, de glace, de crème glacée, raffineries, entrepôts frigorifiques, laiteries, abattoirs et zones non accessibles au public dans les supermarchés</p>

Tableau des catégories de lieux (norme NF EN 378:2017)

Equipement mécanique dans l'espace occupé

Compresseurs en salle des machines ou en plein air

Salle des machines ou en plein air

Enceinte ventilée

Catégorie I

Catégorie II

Catégorie III

Catégorie IV



Exemples : Armoires, Clim mobile, Réfrigérateurs,

Exemples : Unités de condensation, Split-AC / HP, ...

Exemples: Chillers, pompes à chaleur, ...

Exemples: Constructions spéciales

