

Fluides frigorigènes / Systèmes frigorifiques



Matthias Dellenbach

Gewerblich-Industrielle Berufsschule Bern, gibb
(Ecole professionnelle industrielle et artisanale de Berne)

Programme de l'exposé

- 1^{re} partie: Types de systèmes frigorifiques utilisés et configuration
- 2^e partie: Dangers potentiels relatifs aux systèmes frigorifiques
- 3^e partie: Conséquences pour la construction et la maintenance des systèmes frigorifiques

Systemes frigorifiques à usage domestique

- Réfrigérateur / congélateur (bahut ou armoire)
- Climatisation d'automobile
- Pompe à chaleur (air/sol/eau)
- Climatisation du logement
- Déshumidificateur (cave, sèche-linge)

Utilisation des systèmes frigorifiques

- Artisanat (fromageries, boucheries, maraîchers, restauration, etc.)
- Industrie (refroidissement des processus, utilisations d'eau froide, production alimentaire)
- Climatisation (climatisation de bâtiments, refroidissement de salles de serveurs)
- Chauffage (pompes à chaleur)
- Installations spéciales (basse température)

Incidents impliquant des systèmes frigorifiques

Pratteln (BL): fuite d'ammoniac dans le bâtiment d'une usine

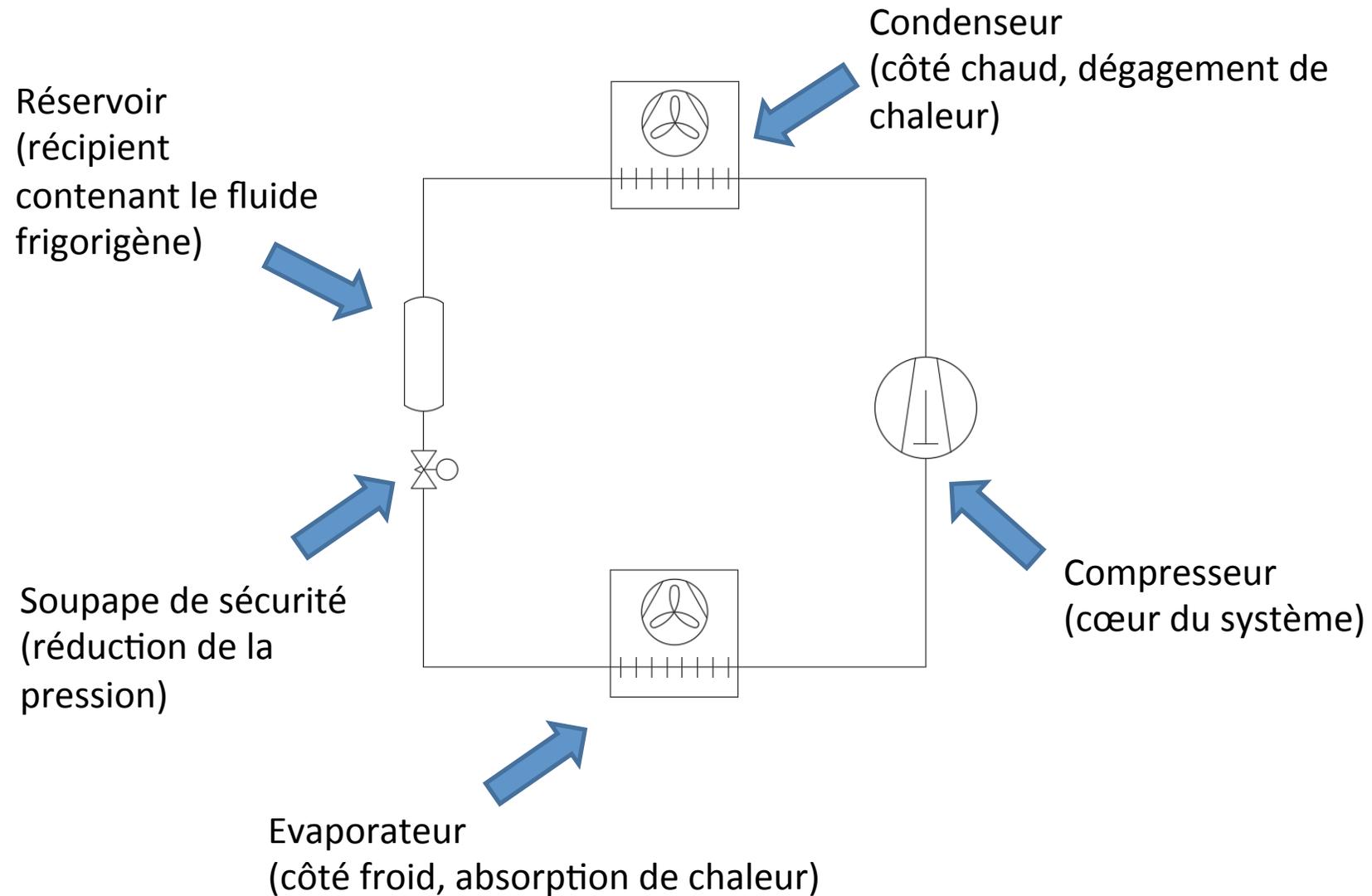
Le mardi 29 août 2017, peu avant 16h30, un incident s'est produit dans un vieux bâtiment d'une usine située Gallenweg à Pratteln (BL). Une quantité indéterminée d'ammoniac s'est échappée. Aucun blessé n'est à déplorer.

D'après les dernières informations des autorités cantonales, une conduite de l'installation de climatisation a été endommagée au cours du démontage du bâtiment, entraînant la fuite d'une quantité encore indéterminée d'ammoniac (gazeux). Les spécialistes ont pu rapidement localiser et arrêter la fuite. Cet incident n'a fait aucun blessé.

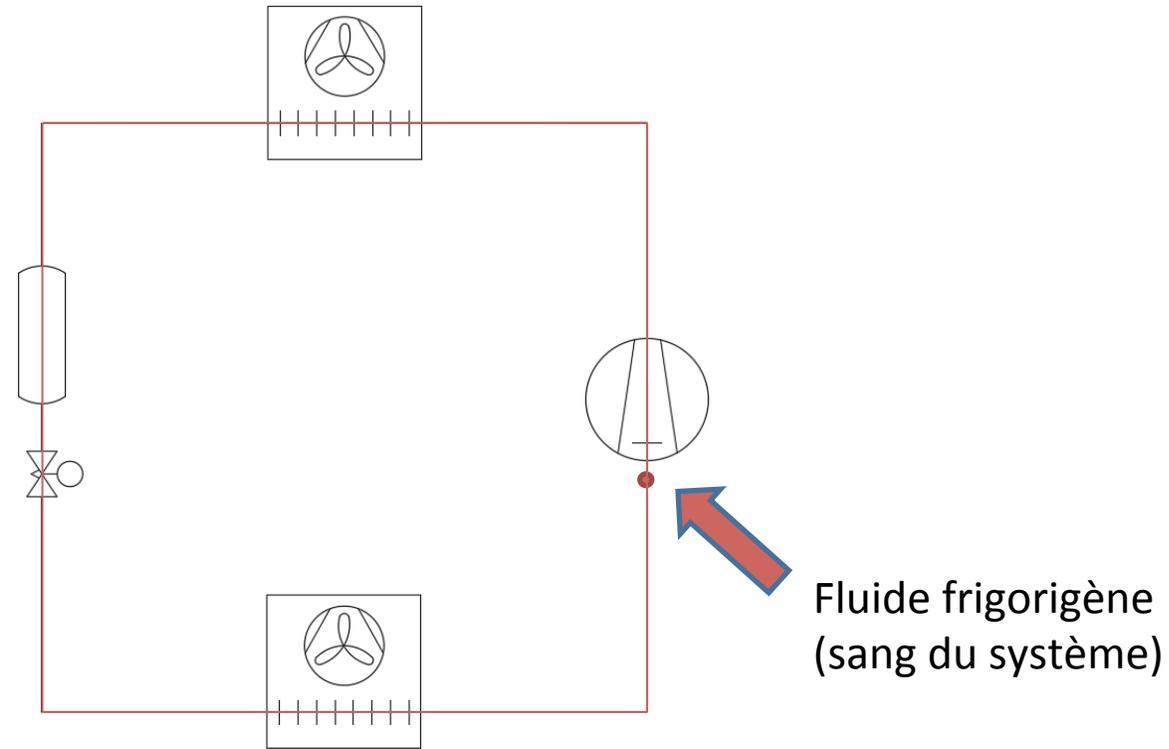
Vue d'ensemble des types de production de froid (non exhaustif)

	Type de production de froid	Application
Avec fluide frigorigène	Par compression	Toutes utilisations, très répandu
	Par absorption	Camping, minibar, eau froide
Sans fluide frigorigène	Thermoélectrique	Rafrâchisseurs à boissons, électronique, construction spatiale
	Refroidissement adiabatique	Transpiration, tours aéroréfrigérantes (centrales nucléaires)

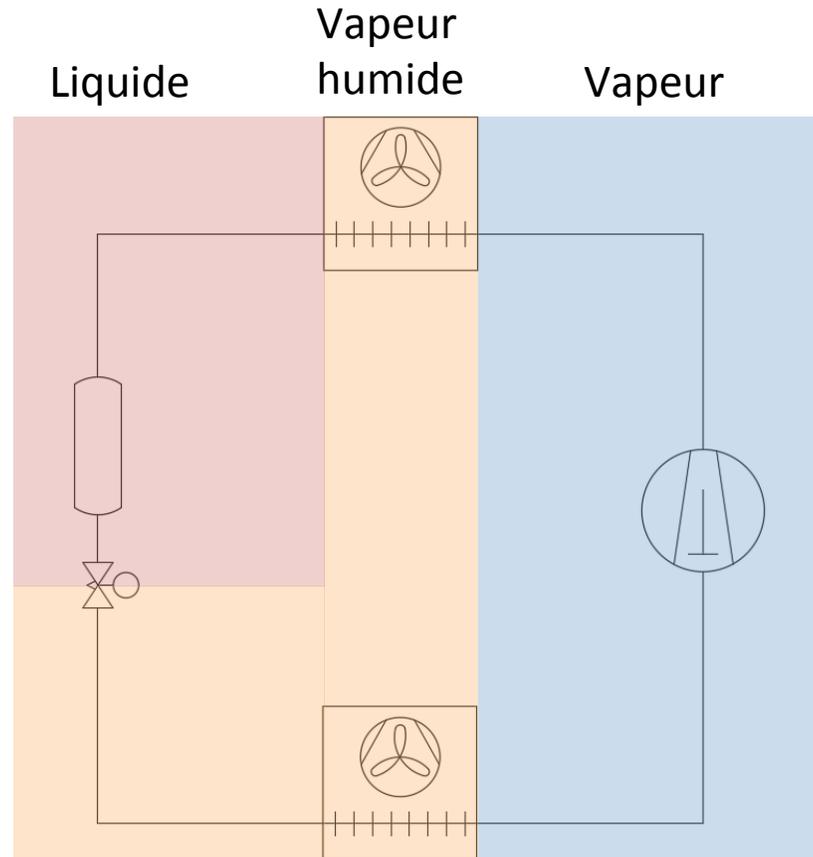
Configuration d'un système simple



Configuration d'un système simple



Configuration d'un système simple



Fluides frigorigènes

- Fluide utilisé pour le transfert de chaleur, par exemple l'eau dans un système de chauffage par le sol.
- Il existe différents fluides frigorigènes, en fonction des applications, des nécessités, des paramètres énergétiques et économiques, de leur inflammabilité ainsi que des exigences écologiques et toxicologiques.
- Les fluides frigorigènes sont désignés suivant le code ASHRAE, par exemple R-22, R134a, R-717, etc.
- Dans la plupart des cas, les systèmes frigorifiques sont pressurisés.
- Le fluide frigorigène idéal n'existe pas!

Les fluides frigorigènes ne sont pas des consommables!

Normes et ordonnances importantes

- ORRChim (Ordonnance sur la réduction des risques liés aux produits chimiques)
- EN 378:

«La présente Norme européenne concerne les exigences en matière de sécurité et d'environnement relatives à la conception, la fabrication, la construction, l'installation, le fonctionnement, la maintenance, la réparation et la mise au rebut des systèmes et appareils frigorifiques en relation avec l'environnement local et l'environnement en général.»

Elles sont applicables aux installations neuves et aux systèmes modifiés pour fonctionner avec un nouveau fluide frigorigène.

Dangers potentiels relatifs aux systèmes frigorifiques

Anhang G (informativ)

Potentielle Gefährdungen von Kälteanlagen

Gefährdungen durch die in Kälteanlagen herrschenden Druck- und Temperaturzustände können durch das Kältemittel in der gasförmigen, der flüssigen und der kombinierten Phase verursacht werden. Darüber hinaus hängen der Zustand des Kältemittels und die Beanspruchung der verschiedenen Bauteile nicht nur von den Vorgängen und Funktionen innerhalb der Kälteanlage ab, sondern auch von äußeren Faktoren.

Folgende Gefährdungen sind nennenswert:

- a) durch direkten Einfluss extremer Temperaturen, z. B.:
 - 1) Materialversprödung bei tiefen Temperaturen;
 - 2) Gefrieren eingeschlossener Flüssigkeit;
 - 3) thermische Beanspruchungen;
 - 4) Volumenänderungen durch Temperaturänderungen;
 - 5) Personenschäden, verursacht durch tiefe Temperaturen;
 - 6) Berührung von heißen Oberflächen.
- b) durch überhöhten Druck z. B. infolge:
 - 1) Anstieg des Verflüssigungsdrucks, verursacht durch ungenügende Kühlung des Verflüssigers oder den Partialdruck nicht kondensierbarer Gase oder durch Ansammlung von Öl oder flüssigem Kältemittel im Verflüssiger;
 - 2) Anstieg des Sattdampfdrucks, verursacht durch übermäßige Erwärmung von außen, z. B. eines Flüssigkeitskühlers, oder Abtauen eines Luftkühlers oder hohe Umgebungstemperatur bei Stillstand der Anlage;
 - 3) Wärmeausdehnung von flüssigem Kältemittel in einem abgeschlossenen Raum unter hydrostatischer Beanspruchung, verursacht durch einen Anstieg der Außentemperatur;
 - 4) Feuer.
- c) durch direkten Einfluss der Flüssigphase, z. B.:
 - 1) zu hohe Kältemittel-Füllmenge oder durch das Kältemittel überflutete Apparate;
 - 2) Vorhandensein von Flüssigkeit in Verdichtern durch Ansaugen oder Kondensation im Verdichter;
 - 3) Flüssigkeitsschläge in Rohrleitungen;
 - 4) Verlust der Schmierung durch das Aufschäumen von Öl;

- d) durch Entweichen von Kältemitteln, z. B.:
 - 1) Feuer;
 - 2) Explosion;
 - 3) Toxizität;
 - 4) Verätzung;
 - 5) Hauterfrierung;
 - 6) Erstickung;
 - 7) Panik;
 - 8) Umweltaspekte wie Ausdünnung der Ozonschicht und Treibhauseffekt;
- e) durch bewegte Teile von Maschinen, z. B.:
 - 1) Verletzungen;
 - 2) Gehörschäden durch übermäßigen Lärm;
 - 3) Schäden durch Schwingungen.

Dangers directement liés aux fuites de fluides frigorigènes

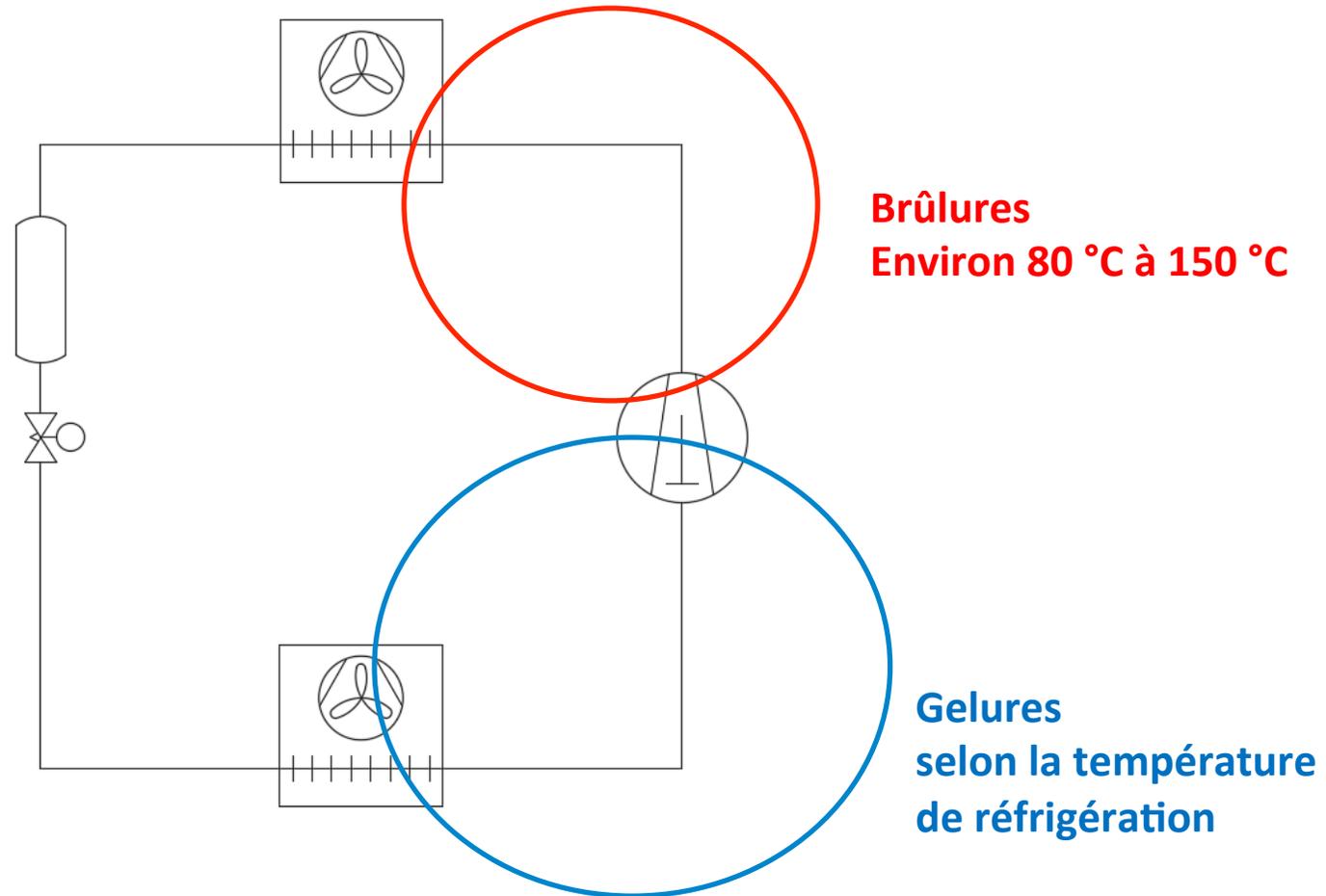
Généralités

- Gelure de la peau
- Asphyxie
- Panique
- Coup de bélier dans les tuyauteries

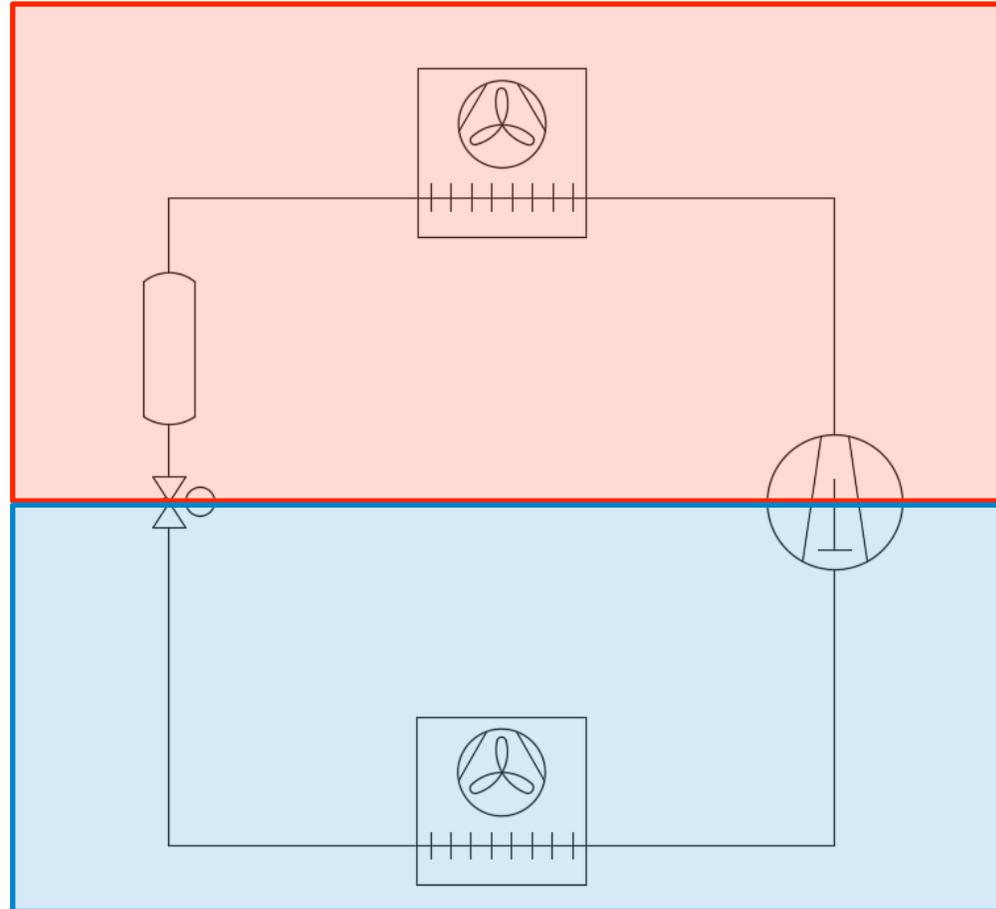
Uniquement avec certains fluides frigorigènes

- Incendie
- Explosion
- Toxicité
- Effets caustiques

Dangers engendrés par la température



Dangers engendrés par la pression



Haute pression
Niveaux de pression
approximatifs
de 10 à 30 bars,
120 à 140 bars pour R-744

Basse pression
Niveaux de pression
approximatifs
jusqu'à 10 bars,
35 bars pour R-744

Dangers à moyen et long terme liés aux (fuites de) fluides frigorigènes

Problèmes environnementaux (dégradation de la couche d'ozone, effet de serre...)

- Dégradation de la couche d'ozone uniquement avec les fluides frigorigènes chlorés, aujourd'hui interdits pour l'entretien aussi bien que dans les systèmes neufs
- Effet de serre exprimé en **GWP** (potentiel de réchauffement planétaire), comparé à 1 kg de CO₂

Quelques fluides frigorigènes

	Type	Désignation	GWP	
Fluide frigorigène de synthèse	R-134a		1430	
	R-404A		3940	
	R-407F		1825	
	R-1234ze		7	
Fluides frigorigènes naturels	R -290	Propane	3	
	R -717	Ammoniac	0	
	R -744	Dioxyde de carbone (gaz carbonique)	1	

Classes de sécurité des fluides frigorigènes

	Safety group	
Higher Flammability	A3	B3
Flammable	A2	B2
Lower flammability	A2L	B2L
No flame Propagation	A1	B1
	Lower Toxicity	Higher Toxicity

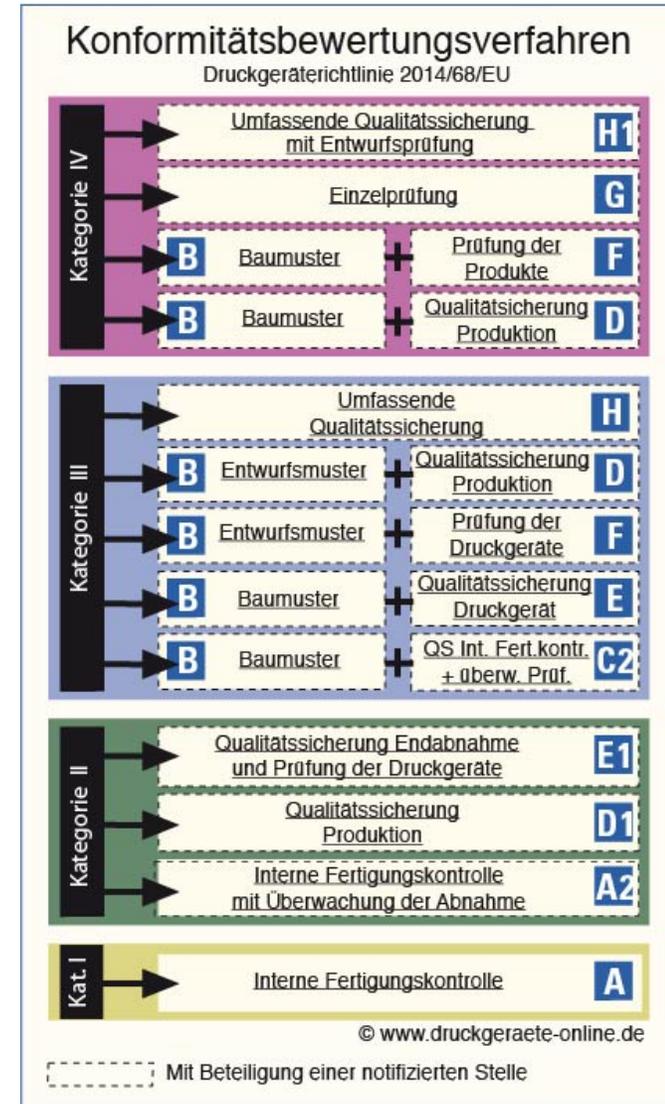
Quelques fluides frigorigènes

Type	Désignation	GWP	Classe de sécurité
Fluides frigorigènes de synthèse	R-134a		A1
	R-404A		A1
	R-407F		A1
	R-1234ze		A2L
Fluides frigorigènes naturels	R -290	Propane	A3
	R -717	Ammoniac	B2L
	R -744	Dioxyde de carbone (gaz carbonique)	A1

Conséquences pour la construction des installations (5 exemples)

Classification

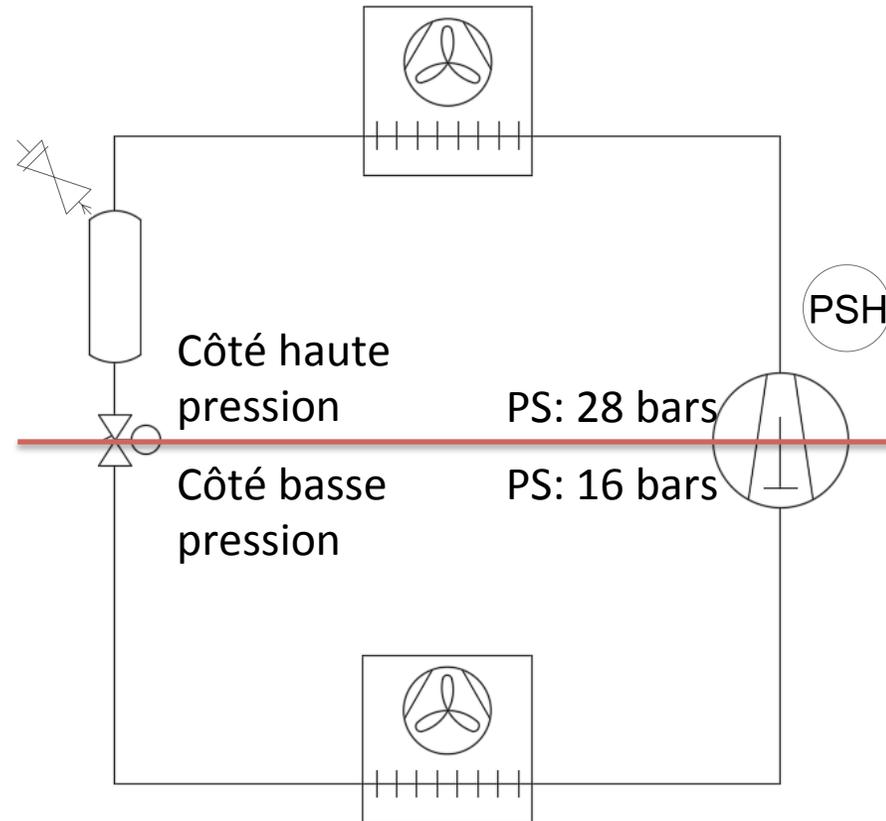
Les systèmes frigorifiques sont classés en quatre catégories (I à IV) selon leur volume et leur pression maximale. La catégorie a des conséquences sur le contrôle de la fabrication.



Conséquences pour la construction des installations

Sécurisation de la pression

- Division en zones de pression
- Définition de la pression maximale (PS)
- Protection par manostats
- et soupapes de sécurité



Conséquences pour la construction des installations (exemples)

Accès

Tabelle 4 — Kategorien der Zugangsbereiche

Kategorien	Allgemeine Eigenschaften	Beispiele ^a
Allgemeiner Zugangsbereich a	Räume, Gebäudeteile und Gebäude, in denen — Schlafeinrichtungen vorhanden sind — Personen in ihrer Bewegung eingeschränkt sind — sich eine unkontrollierte Anzahl von Personen aufhält — jede Person Zutritt hat, ohne persönlich mit den erforderlichen Sicherheitsvorkehrungen vertraut zu sein	Krankenhäuser, Gerichtsgebäude oder Gefängnisse, Theater, Supermärkte, Schulen, Vortragsräume, Bahnhöfe, Hotels, Wohnungen, Restaurants
Überwachter Zugangsbereich b	Räume, Gebäudeteile, Gebäude, in denen sich nur eine begrenzte Anzahl von Personen aufhalten darf, von denen einige mit den allgemeinen Sicherheitsvorkehrungen der Einrichtung vertraut sein müssen	Büro- oder Geschäftsräume, Laboratorien, Räume für allgemeine Fabrikations- und Arbeitszwecke
Zugangsbereich, zu dem nur befugte Personen Zutritt haben c	Räume, Gebäudeteile, Gebäude, zu denen nur befugte Personen Zutritt haben, die mit den allgemeinen und besonderen Sicherheitsvorkehrungen der Einrichtung vertraut sind, und in denen Materialien oder Güter hergestellt, verarbeitet oder gelagert werden	Produktionseinrichtungen, z. B. für Chemikalien, Nahrungsmittel, Getränke, Industrie- und Speiseeis, Raffinerien, Kühlhallen, Molkereien, Schlachthöfe, nicht öffentliche Bereiche in Supermärkten

^a Die Liste der Beispiele ist nicht vollständig.

Classification de l'emplacement

Classe I	Equipement mécanique situé dans l'espace occupé
Classe II	Compresseurs dans une salle des machines ou à l'air libre
Classe III	Salle des machines ou air libre
Classe IV	Enceinte ventilée

Exigences relatives à la limite de charge – toxicité

EN 378-1:2016 (D)

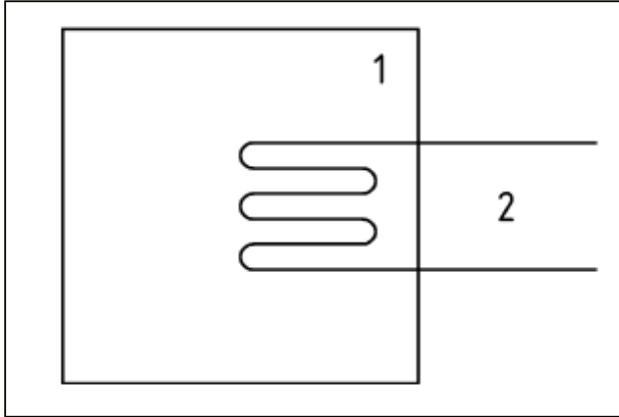
EN 378-1:2016

Tabelle C.1 — Anforderungen an die Grenzwerte für die Kältemittel-Füllmenge für Kälteanlagen auf Grundlage der Toxizität

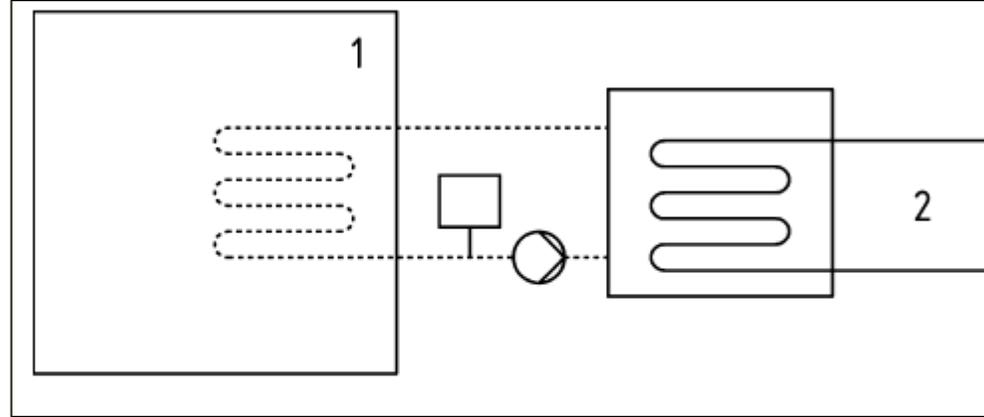
Toxizitätsklasse	Kategorie des Zugangsbereichs	Aufstellungsort-Klassifikation			
		I	II	III	IV
A	a	Toxizitätsgrenze × Raumvolumen oder siehe C.3			
	b	Obere Geschosse ohne Notausgänge oder Kellergeschosse	Toxizitätsgrenze × Raumvolumen oder siehe C.3	Keine Begrenzung der Füllmenge ^a	Keine Begrenzung der Füllmenge ^a
		Andere	Keine Begrenzung der Füllmenge ^a		
	Obere Geschosse ohne Notausgänge oder Kellergeschosse	Toxizitätsgrenze × Raumvolumen			
alle weiteren Anlagen, Toxizitätsgrenze × Raumvolumen und nicht mehr als 2,5 kg;		Anforderungen an die Füllmenge sind in Abhängigkeit vom Ort des belüfteten Gehäuses nach dem Aufstellungsort I, II oder III zu beurteilen			
B	b	Obere Geschosse ohne Notausgänge oder Kellergeschosse	Toxizitätsgrenze × Raumvolumen	Füllmenge nicht mehr als 25 kg ^a	Keine Begrenzung der Füllmenge ^a
		Personendichte < 1 Person pro 10 m ²	Füllmenge nicht mehr als 10 kg ^a	Keine Begrenzung der Füllmenge ^a	
		Andere		Füllmenge nicht mehr als 25 kg ^a	
	c	Personendichte < 1 Person pro 10 m ²	Füllmenge nicht mehr als 50 kg ^a und Notausgänge sind vorhanden	Keine Begrenzung der Füllmenge ^a	
		Andere	Füllmenge nicht mehr als 10 kg ^a	Füllmenge nicht mehr als 25 kg ^a	
		alle weiteren Anlagen, Toxizitätsgrenze × Raumvolumen und nicht mehr als 2,5 kg;		Anforderungen an die Füllmenge sind in Abhängigkeit vom Ort des belüfteten Gehäuses nach dem Aufstellungsort I, II oder III zu beurteilen	

^a für die Aufstellung im Freien gilt EN 378-3:2016, 4.2, und für Maschinenräume gilt EN 378-3:2016, 4.3.

Systeme direct ou indirect



Systeme direct



Systeme indirect

Legende

- 1 Personen-Aufenthaltsbereich
- 2 kältemittelführende(r) Teil(e)

Exigences relatives à la limite de charge – inflammabilité

Tabelle C.2 (fortgesetzt)

Brennbarkeits- klasse	Kategorie des Zugangsbereichs		Aufstellungsort				Nicht mehr als 10 kg ^c	Füllmenge des Kältemittels nicht mehr als m ₃
			I	II				
3	a	Menschlicher Komfort	Nach C.2	20 % × LFL × Raumvolumen und nicht mehr als 1,5 kg		Nach C.2 und nicht mehr als m ₂ bzw. 1,5 kg	Nicht mehr als 10 kg ^c	Füllmenge des Kältemittels nicht mehr als m ₃
				20 % × LFL × Raumvolumen und nicht mehr als 1 kg ^a				
				20 % × LFL × Raumvolumen und nicht mehr als 2,5 kg				
	b	Andere Anwendungen	Unterirdisch	20 % × LFL × Raumvolumen und nicht mehr als 2,5 kg		Keine Begrenzung der Füllmenge ^c	Nicht mehr als 10 kg ^c	Füllmenge des Kältemittels nicht mehr als m ₃
			Oberirdisch	20 % × LFL × Raumvolumen und nicht mehr als 2,5 kg				
			Nach C.2 und nicht mehr als m ₂ bzw. 1,5 kg					
c	Andere Anwendungen	Unterirdisch	20 % × LFL × Raumvolumen und nicht mehr als 1 kg ^c		Keine Begrenzung der Füllmenge ^c	Nicht mehr als 10 kg ^c	Füllmenge des Kältemittels nicht mehr als m ₃	
		Oberirdisch	20 % × LFL × Raum- volumen und nicht mehr als 10 kg ^c	20 % × LFL × Raum- volumen und nicht mehr als 25 kg ^c				

a $m_2 = 26 \text{ m}^3 \times \text{LFL}$.
 b $m_3 = 130 \text{ m}^3 \times \text{LFL}$.
 c für die Aufstellung im Freien gilt EN 378-3:2016, 4.2 und für Maschinenräume gilt EN 378-3:2016, 4.3.

Exigences concernant les détecteurs

«Lorsque la concentration du fluide frigorigène peut dépasser la limite pratique conformément à l'EN 378-1:2016, Annexe C, les détecteurs doivent au moins déclencher une alarme et, dans le cas de la salle des machines, le système de ventilation mécanique d'urgence.»

Exemple de limite pour le R-134a

Kältemittelnummer	Chemische Bezeichnung ^b	Chemische Formel	Sicherheitsklasse	Fluidgruppe PED ^m	Praktischer Grenzwert ^d (kg/m ³)
134a	1,1,1,2-Tetrafluor-ethan	CH ₂ FCF ₃	A1	2	0,25 ⁱ

Exemple de limite pour le R-717

Kältemittelnummer	Chemische Bezeichnung ^b	Chemische Formel	Sicherheitsklasse	Fluidgruppe PED ^m	Praktischer Grenzwert ^d (kg/m ³)
Andere organische Verbindungen					
E170	Dimethylether	(CH ₃) ₂ O	A3	1	0,013 ⁱ
Anorganische Verbindungen					
717	Ammoniak	NH ₃	B2L	1	0,00035 ⁱ
744	Kohlenstoffdioxid	CO ₂	A1	2	0,1 ⁱ

Conséquences pour la construction des installations

Personnel

Pour utiliser les fluides frigorigènes à titre professionnel ou commercial, il est nécessaire d'être titulaire d'un permis.

Celui-ci est accordé à l'issue de la formation de monteur-frigoriste ou peut être obtenu dans le cadre d'un cours spécial.

Conséquences pour l'entretien I

- Le personnel de maintenance est généralement très bien formé.
- Seules peuvent intervenir sur le système frigorifique les personnes titulaires d'un permis (pour les installations remplies de fluides frigorigènes stables dans l'air).

Conséquences pour l'entretien II

Pour les installations contenant plus de 3 kg de fluides frigorigènes stables dans l'air (selon l'ORRChim):

- entretien obligatoire
- tenue d'un livret d'entretien
- obligation de communiquer (vignette)



Conséquences pour l'entretien III

La norme EN 378 prévoit que chaque système frigorifique doit faire l'objet d'une maintenance.

EN 378-4:2016 (D)

5 Instandhaltung und Instandsetzung

5.1 Allgemeines

5.1.1 Jede Kälteanlage muss vorbeugenden Instandhaltungsmaßnahmen nach dem Bedienungshandbuch unterzogen werden (siehe EN 378-2).

ANMERKUNG Die Häufigkeit dieser Instandhaltungsmaßnahmen ist von Art, Größe, Alter, Verwendung usw. der Anlage abhängig. In vielen Fällen ergibt sich nach gesetzlichen Anforderungen mehr als eine Instandhaltungsmaßnahme im Laufe eines Jahres.

5.1.2 Der Betreiber der Kälteanlage muss sicherstellen, dass die Anlage geprüft, regelmäßig überwacht und instand gehalten wird.

Résumé

- Dans un système frigorifique, le danger vient principalement du fluide frigorigène (directement ou indirectement).
- Ce danger est représenté par la classe de sécurité (p. ex. A1, A3, B2L)
- Le danger pour les tierces personnes résultant de fuites de fluide frigorigène est limité au minimum grâce au respect de la norme et de l'ordonnance.
- L'entretien/maintenance de tous les systèmes est obligatoire.
- Le personnel de maintenance est très bien formé.

Merci de votre attention!

Informations complémentaires et sources / Contact

Association suisse du froid <http://www.asf-froid.ch/>

Bureau suisse de déclaration des installations productrices de froid www.meldestelle.ch

Permis pour l'utilisation des fluides frigorigènes (en allemand) www.fachbewilligung.ch

Guide des fluides frigorigènes <http://effizientekaelte.zweiweg.ch>

Gewerblich-Industrielle Berufsschule Bern gibb www.gibb.ch

Infos sur la formation aux métiers du froid www.cooler-job.ch

Contact: matthias.dellenbach@gibb.ch

gibb