



**Westfalen**

Bulletin d'information technique pour les professionnels 7

# Fluides frigorigènes naturels.

R-744 - Dioxyde de carbone.

# R-744 - Aperçu des caractéristiques principales.

## Le dioxyde de carbone – un fluide frigorigène du passé et de l’avenir

De nombreux fluides frigorigènes synthétiques sont connus pour leur influence négative sur l’environnement, notamment les chlorofluorocarbones (CFC/HCFC), qui présentent un potentiel élevé de détérioration de la couche d’ozone (PDO = Potentiel de déplétion ozonique ou en anglais ODP = Ozone Depletion Potential). Par contre, les fluides frigorigènes synthétiques exempts de chlore sont des gaz à effet de serre qui ont un potentiel élevé de réchauffement global (PRG ou en anglais GWP = Global Warming Potential).

De par leurs faibles impacts écologiques directs ainsi que les technologies frigorifiques innovantes associées, les fluides frigorigènes naturels comme le dioxyde de carbone ont de quoi séduire et représentent des solutions de substitution viables. Le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>, R-744) commence à être employé comme fluide frigorigène dès la fin du 19<sup>e</sup> siècle. Il fut surtout apprécié pour les installations frigorifiques des bateaux en tant que « fluide frigorigène de sécurité » de préférence à l’ammoniac très répandu à cette époque. Son succès est néanmoins freiné à partir du milieu du 20<sup>e</sup> siècle par l’arrivée des HCFC synthétiques. Le fluide frigorigène R-744 s’est ensuite à nouveau imposé lentement à l’attention des professionnels du génie frigorifique lorsque les débats sur l’environnement ont débuté.

### Comparatif des fluides frigorigènes : impacts sur l’environnement en cas d’émission.

Produit	PDO (R-11 = 1)	PRG (CO <sub>2</sub> = 1)
R-12	1	10 900
R-22	0,055	1 810
R-134a	0	1 430
R-290 (propane)	0	3,0
R-404A	0	3 922
R-717 (ammoniac, NH <sub>3</sub> )	0	0
R-744 (dioxyde de carbone, CO <sub>2</sub> )	0	1

## Caractéristiques chimiques et physiques

### Ininflammable

Ininflammable, le dioxyde de carbone est également apprécié pour son effet étouffant sur les flammes, d’où son utilisation en tant qu’agent extincteur.

### Comparatif en matière de valeur limite pratique et d’inflammabilité.

Produit	Valeur limite pratique kg/m <sup>3</sup>	Inflammabilité LFL* kg/m <sup>3</sup>
R-32	0,061	0,307
R-134a	0,25	non applicable
R-290 (propane)	0,008	0,038
R-404A	0,48	non applicable
R-410A	0,44	non applicable
R-717 (ammoniac)	0,00035	0,104
R-744 (dioxyde de carbone)	0,1	non applicable

\* Lower Flammability Limit = limite inférieure d’inflammabilité

### Réaction avec d’autres substances

Le dioxyde de carbone réagit avec d’autres substances, entre autres, avec l’ammoniac, ce qui doit impérativement être pris en compte lors de la planification et de la réalisation de systèmes frigorifiques en cascade fonctionnant avec du CO<sub>2</sub> et du NH<sub>3</sub>. Si du dioxyde de carbone sous haute pression se mélange dans l’échangeur de chaleur en cascade à de l’ammoniac, la réaction produit du carbonate d’ammonium - également connu sous le nom de sel de corne de cerf - qui peut entraîner des dommages irréparables à l’installation. Par contre, le dioxyde de carbone et l’eau réagissent ensemble en produisant de l’acide carbonique (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>), qui a un effet corrosif sur l’acier au carbone (carters de compresseurs) et sur certains métaux non ferreux.

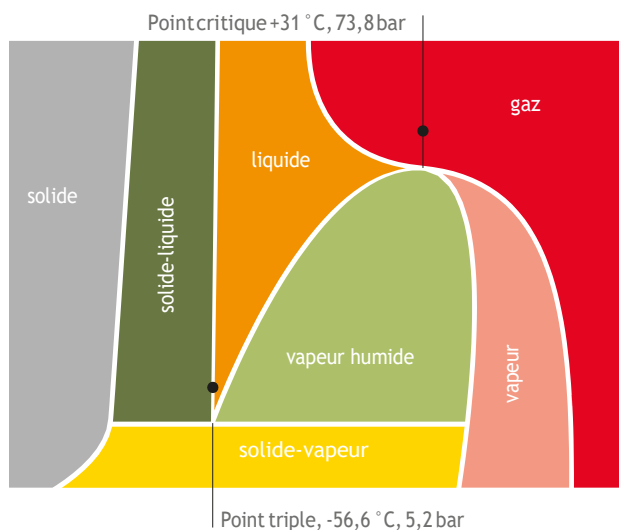
## Poids

Le dioxyde de carbone est 1,5 fois plus lourd que l'air. S'il s'échappe de manière incontrôlée, il s'écoule vers les pièces en profondeur, comme les locaux du sous-sol, les pièces encaissées ou les soupiraux. Les fortes concentrations peuvent devenir dangereuses en cas de faible circulation d'air à cause de l'effet asphyxiant de ce gaz.

## États physiques

Les états physiques dépendant de la pression et de la température ont une importance particulière dans le génie frigorifique - en particulier le point triple et le point critique : Le CO<sub>2</sub> ne peut plus être liquéfié au-dessus de la température critique et, en dessous de la pression au point triple, il est solide ou gazeux.

## Diagramme thermodynamique (p,h) pour le dioxyde de carbone (R-744) - répartition des états



En cas d'échappement de dioxyde de carbone liquide, il est soumis à la pression atmosphérique et se transforme immédiatement en gaz et en glace carbonique. Le point de sublimation - c.-à-d. la transition de l'état physique solide à l'état gazeux - correspond à -79 °C. De telles

températures peuvent provoquer de graves brûlures en cas de contact cutané. La glace carbonique ressemble à de la glace du domaine alimentaire, mais elle n'est en aucun cas appropriée pour la consommation ou comme substitut pour des glaçons. La basse température ainsi que la pression générée par l'évaporation peuvent provoquer des lésions organiques irréversibles.

## Viscosité

Du point de vue thermodynamique, le dioxyde de carbone se distingue par une faible viscosité et de bonnes valeurs de transfert de chaleur, mais c'est surtout sa puissance frigorifique volumétrique qui est imbattable en raison des rapports de pression.

**Absorption de chaleur spécifique** h en kJ/kg à la température d'évaporation  $t_0$   
**et volume spécifique** v en dm<sup>3</sup>/kg à une surchauffe de 10K.

	R-134a	R-404A	R-717	R-744
h à $t_0 = -35$ °C	220,1	195,4	1 372,6	312,7
v à $t_{00} = -25$ °C	295,0	121,6	1 272,4	34,1

Si un kilogramme de R-744 s'évapore dans un système de congélation, par exemple, ce kilogramme peut dissiper 312,7 kJ de chaleur. Si ce fluide frigorigène devenu gazeux est ensuite surchauffé de 10K à la même pression, cette quantité de chaleur est contenue dans 34,1 litres de gaz. En comparaison aux autres fluides frigorigènes, il permet notamment de recourir à des compresseurs plus petits et des conduites d'aspiration de plus faibles diamètres.

## Comparatif du point critique et du point triple.

	R-134a	R-404A	R-717	R-744
Inflammable ou explosible	non	non	oui	non
Toxique	non	non	oui	non
Naturel	non	non	oui	oui
Point critique	bar 40,7	37,3	113	73,8
°C	101	72	132	31
Point triple	bar 0,004	0,028	0,06	5,2
°C	-103	-100	-77,7	-56,6

### Non toxique, inodore, incolore et sans goût

Le dioxyde de carbone n'est pas toxique. Selon la norme DIN EN 378 pour les systèmes frigorifiques et pompes à chaleur, le R-744 est classé dans le groupe de sécurité A1, c.-à-d. « faiblement toxique » et « ininflammable ». Près de 0,03% volume sont déjà contenus dans l'air ambiant. Étant donné qu'il est inodore, incolore et sans goût, le dioxyde de carbone est pratiquement imperceptible. La valeur limite admissible de dioxyde de carbone à un poste de travail correspond à 5000 ml/m<sup>3</sup> (ppm) ou 0,5 % volume. Pour les installations frigorifiques fonctionnant au R-744, la valeur limite pratique selon DIN EN 378 correspond à 0,1 kg/m<sup>3</sup>.

#### Exemple :

La libération de 50 kg de dioxyde de carbone dans un local de 10 x 10 x 2,50 m génère une concentration de CO<sub>2</sub> d'environ 11% volume. Cela représenterait un risque mortel. Conformément à la valeur limite fixée dans la norme DIN EN 378, la quantité de remplissage du système installé dans ce local ne doit pas dépasser 25 kg : 0,1 kg/m<sup>3</sup> x 250 m<sup>3</sup> = 25 kg

Cela représente une quantité plus faible que dans les systèmes comparables fonctionnant avec des fluides frigorigènes synthétiques.

### L'action de la pression

Comparée aux autres systèmes, la pression du système et dans les bouteilles est très élevée et doit ainsi être impérativement prise en compte lors de la manipulation du R-744. Dans ce contexte, il est indispensable de vérifier l'absence de pression avant l'ouverture de composants du système (valves, conduites, filtres, etc.). Cette règle s'applique pour toutes les manipulations de fluides frigorigènes, mais son non-respect dans le cas CO<sub>2</sub> peut avoir des conséquences beaucoup plus graves que pour les autres fluides frigorigènes.

Comparatif des pressions de vapeur aux températures d'ébullition. (BP = Bubble Point / point de bulle)

Produit	Pression en bar à				
	-35 °C	-10 °C	0 °C	25 °C	45 °C
R-134a	0,66	2,01	2,93	6,65	11,60
R-404A (BP)	1,73	4,44	6,15	12,61	20,71
R-410A (BP)	2,22	5,79	8,06	16,65	27,45
R-744	12,05	26,50	34,86	64,27	transcritique

Le fait que le R-744 génère une pression plus élevée pour les mêmes températures que d'autres fluides frigorigènes est largement connu, mais en pratique il est beaucoup plus important de savoir que, pour une même différence de température, les différences correspondantes de point d'ébullition (pression) sont beaucoup plus élevées. À titre d'exemple, une fluctuation de température entre -10 et 0 °C du R-134a génère un accroissement/abaissement de la pression inférieur à 1 bar, et plus de 8 bar pour le R-744.

# Pour une manipulation sûre dans la pratique.

## Mise en service d'installations fonctionnant au R-744

Les règles fondamentales à respecter pour l'utilisation d'autres fluides frigorigènes s'appliquent également pour la mise en service d'installations fonctionnant au R-744. Parmi celles-ci :

- Essai de résistance à la pression
- Test d'étanchéité
- Test de fonctionnement et contrôle de sécurité
- Évaluation de la conformité

Après une évacuation correcte, il convient d'effectuer le remplissage de R-744. Nous offrons une taille de conditionnement adaptée pour chaque taille d'installation.

Nous fournissons, entre autres, des bouteilles de 33 litres équipées d'un robinet à raccord double. Ce robinet permet d'effectuer d'abord un soutirage sous forme gazeuse pour mettre l'installation sous une pression supérieure au point triple. Le dioxyde de carbone peut ensuite être introduit sous forme liquide. Ce mode opératoire exclut de manière fiable la formation de glace carbonique. À noter : évitez d'utiliser un détendeur lors du soutirage liquide !

Pour remplir des installations frigorifiques de très grande envergure, nous recommandons nos cadres à 12 bouteilles de 50 litres (volume nominal). À l'instar du mode opératoire décrit précédemment pour éviter de manière sûre la formation de glace, nous vous recommandons d'acquérir environ un tiers de la quantité de remplissage nécessaire dans des bouteilles sans tube plongeur (pour le soutirage gazeux) et de débiter le remplissage de l'installation avec cette quantité. Tous les récipients de Westfalen doivent être équipés d'un clapet anti-retour pour éviter un éventuel retour dans la bouteille, ce qui est toujours possible en fonction de la

pression dans l'installation. Le risque de surremplissage et de contamination de la bouteille par de l'huile de machine est ainsi évité. Il convient d'éviter toute accumulation de fluide frigorigène liquide dans la conduite de remplissage, surtout lors du soutirage liquide. C'est pour cette raison qu'il ne faut jamais fermer la vanne d'arrêt de l'installation lors d'une interruption de l'opération de remplissage, mais par contre toujours celle de la bouteille. La pression susceptible de se former en cas d'apport de chaleur au niveau de la conduite de remplissage peut ainsi s'évacuer dans l'installation.

### Tailles des bouteilles de R-744.

Volume (l)	Poids de remplissage (kg)	Valve
33	25	Robinet à raccord double
50	37,5	avec ou sans tube plongeur
12 x 50 (cadre de bouteilles)	450	avec tube plongeur

En citerne de transport pour les grands consommateurs, sur demande.



Bouteille de 33 litres avec robinet à raccord double.

# Pour une manipulation sûre dans la pratique.

## Entretien et réparation

Lors du remplissage de nouvelles installations, la pression côté basse pression ne peut pas être supérieure à celle dans la bouteille. Étant donné que ce fait ne s'applique pas aux installations existantes, il doit impérativement être pris en compte pour les interventions d'entretien et de réparation. Dans ce contexte, nous recommandons d'utiliser des détendeurs appropriés, surtout si la surpression maximale admissible du système est nettement inférieure à la pression potentielle dans la bouteille. Celle-ci dépend des températures, à l'instar des autres fluides frigorigènes.

La plage de réglage est décisive car, avec une plage de 0 à 20 bar, les détendeurs courants atteignent vite leur limite d'utilisation : à partir d'une température d'évaporation de  $-10^{\circ}\text{C}$ , un tel système n'est plus en mesure de couvrir la pression dans l'installation frigorifique. Les installations qui ont subi une interruption de service prolongée présentent des pressions encore plus élevées. L'utilisation d'un détendeur adapté à de telles conditions est donc indispensable. Nous recommandons d'utiliser des systèmes de soutirage qui offrent une plage de réglage de 0 à 40 bar.

La pression maximale admissible dépend du type de circuit : s'agit-il d'un système à pompes avec du dioxyde de carbone à évaporation partielle (refroidisseur de saumure), d'un système en cascade ou d'un système à processus transcritique ? Le tableau température-pression montre, par exemple, qu'à une température ambiante de  $20^{\circ}\text{C}$  (pression 57,24 bar), il est tout à fait possible d'introduire du R-744 liquide dans un système en cascade avec une température de condensation du  $\text{CO}_2$  de  $-10^{\circ}\text{C}$  (pression 26,5 bar).

Les récipients contenant du  $\text{CO}_2$  ne doivent en aucun cas être raccordés aux parties d'une installation, dans laquelle la pression est supérieure à celle qui règne dans la bouteille de gaz.

Avant d'ouvrir les valves, il faut impérativement déterminer la pression de l'installation et la surveiller en permanence. Dans un processus transcritique, les conditions de pression peuvent finalement atteindre 100 bar et plus.

Tableau température-pression									
t [ $^{\circ}\text{C}$ ]	-55	-50	-45	-40	-35	-30	-25	-20	-15
p [bar]	5,55	6,84	8,34	10,07	12,05	14,30	16,85	19,72	22,93
t [ $^{\circ}\text{C}$ ]	-10	-5	0	5	10	15	20	25	30
p [bar]	26,50	30,47	34,86	39,69	45,01	50,84	57,24	64,27	72,07

# Ce que vous obtenez uniquement chez nous.

## Un fluide frigorigène de qualité maximale

Les exigences de qualité pour les fluides frigorigènes sont définies dans la norme DIN 8960 en Allemagne. Les exigences pour le R-744 n'étant cependant pas définies spécifiquement, il est pratiquement possible de proposer chaque qualité de dioxyde de carbone en tant que R-744. L'expérience nous a cependant montré que les moindres impuretés peuvent provoquer des dysfonctionnements, de la corrosion, des lésions de matériaux ou de la formation d'acide. Le taux d'humidité est un facteur décisif particulier : une teneur trop élevée peut entraîner la formation de glace. L'humidité provoque de plus la formation d'hydrates, en particulier aux endroits soumis à un flux intense. Cette matière solide peut bloquer le débit. L'humidité dans le dioxyde de carbone contribue également à la formation d'acide, qui a un effet très négatif sur les aciers faiblement alliés.

La norme internationale pour les fluides frigorigènes ARI 700 autorise un taux d'eau maximal de 10 mg d'eau par kg de R-744. Avec un taux maximal de 5 mg/kg, la qualité des fluides frigorigènes de Westfalen est supérieure.

## Profitez de nos conseils personnalisés.

Nos experts en fluides frigorigènes seront ravis de vous aider sur place pour trouver avec vous la solution la plus sûre et la plus économique pour votre cas d'application.



www

Plus d'informations sur [westfalen-france.fr](http://westfalen-france.fr)



**Westfalen Austria GmbH**

Aumühlweg 21/Top 323  
2544 Leobersdorf  
Autriche  
Tél. +43 22.56.63.63.03.24  
Fax +4322.56.63.63.03.30  
[www.westfalen.at](http://www.westfalen.at)  
[info@westfalen.at](mailto:info@westfalen.at)

**Westfalen Gas s.r.o.**

Chebská 545/13  
322 00 Plzeň 5 - Křimice  
République tchèque  
Tél. +420 3.79.42.00.42  
Fax +420 3.79.42.00.32  
[www.westfalen.cz](http://www.westfalen.cz)  
[info@westfalen.cz](mailto:info@westfalen.cz)

**Westfalen Gas Schweiz GmbH**

Sisslerstr. 11/Postfach  
5074 Eiken AG  
Suisse  
Tél. +41 61.85.52.52.5  
Fax +4161.85.52.52.6  
[www.westfalen.ch](http://www.westfalen.ch)  
[info@westfalen.ch](mailto:info@westfalen.ch)

**Westfalen Medical BV**

Rigastraat 14  
7418 EW Deventer  
Pays-Bas  
Tél. +31 5.70.85.84.50  
Fax +31 5.70.85.84.51  
[www.westfalenmedical.nl](http://www.westfalenmedical.nl)  
[info@westfalenmedical.nl](mailto:info@westfalenmedical.nl)

**Westfalen BVBA-SPRL**

Watermolenstraat 11  
9320 Aalst/Alost  
Belgique  
Tél. +32 53.64.10.70  
Fax +32 53.67.39.07  
[www.westfalen.be](http://www.westfalen.be)  
[info@westfalen.be](mailto:info@westfalen.be)

**Westfalen France S.A.R.L.**

Parc d'Activités Belle Fontaine  
57780 Rosselange  
France  
Tél. +33 3.87.50.10.40  
Fax +33 3.87.50.10.41  
[www.westfalen-france.fr](http://www.westfalen-france.fr)  
[info@westfalen-france.fr](mailto:info@westfalen-france.fr)

**Westfalen Gassen Nederland BV**

Postbus 779  
7400 AT Deventer  
Pays-Bas  
Tél. +31 5.70.63.67.45  
Fax +315.70.63.00.88  
[www.westfalengassen.nl](http://www.westfalengassen.nl)  
[info@westfalengassen.nl](mailto:info@westfalengassen.nl)

**Westfalen AG**

Industrieweg 43  
48155 Münster  
Allemagne  
Tél. +49 2.51.69.50  
Fax +492.51.69.51.94  
[www.westfalen.com](http://www.westfalen.com)  
[info@westfalen.com](mailto:info@westfalen.com)