

Détendeurs

Vannes

Centrales et modules

Débitmètres: lecture

Installations «Gaz purs»

Gaz corrosifs

Table de transformation

Compatibilité des matériaux de gaz



### Détendeurs de bouteilles qualité ALPHAGAZ

Les régulateurs de pression, plus communément appelés «détendeurs», sont des appareils qui abaissent la pression d'un gaz à une valeur stabilisée. De plus, cette pression de détente doit être maintenue constante pour une gamme de débits donnés, même si la pression de la source de gaz est variable (cas d'une bouteille).

On a redéfini les caractéristiques des régulateurs de pression qualité ALPHAGAZ, pour mieux répondre aux exigences particulières des clients en prenant pour base les indications normalisées.

La norme ISO 2503 a été établie par le comité technique ISO/TC 44 et par les comités membres de 23 pays. L'ISO (International Standard Organization) est la fédération mondiale des organismes nationaux de normalisation.

#### Pressions d'entrée ou d'alimentation (voir courbes pages suivantes)

$P_1$ : Pression nominale d'entrée généralement de 200 bar.

$P_3$ :  $2 P_2 + 1$  bar

Pression d'entrée à laquelle sont mesurés le débit maximum et les coefficients ci-après.

$P_e$ : Pression d'épreuve =  $1,5 P_1$

#### Pressions de sortie ou de détente (voir courbes pages suivantes)

$P_2$ : Pression normale (maximale) de sortie correspondant au débit nominal lorsque la pression d'entrée est égale à  $P_3$ .

$P_4$ : Valeur de pression de sortie statique stabilisée lors de la remontée en pression à la fermeture:  
 $P_4 \leq 1,3 P_2$

$P_5$ : Valeur la plus grande ou la plus faible (selon le type de régulateur de pression) de la pression de sortie dynamique, lorsque la pression d'alimentation varie de  $P_1$  à  $P_3$  (vidange de bouteille).

#### Débits (voir courbes pages suivantes)

Q nominal: Débit maximum pour un gaz donné, généralement l'azote, mesuré avec une pression d'entrée  $P_3$  et une pression de sortie  $P_2$ .

#### Coefficients

R: Coefficient de remontée de la pression de sortie à la fermeture:

$$R = \frac{P_4 - P_2}{P_2}$$

Pour les régulateurs de pression qualité ALPHAGAZ:

$R \leq 10\%$  de  $P_2$  (norme ISO :  $R \leq 30\%$ ).

I: Coefficient d'irrégularité indique la stabilité en cours de vidange de  $P_1$  à  $P_3$ :

$$I = \frac{P_5 - P_2}{P_2}$$

Pour les régulateurs de pression qualité ALPHAGAZ:  $R \leq 10\%$  de  $P_2$  (norme ISO:  $I \leq 30\%$ ).

f: Coefficient de fidélité (n'existe pas dans la norme ISO):

$$f = \frac{P' - P''}{P}$$

où P est la valeur choisie de réglage de la pression de sortie  $P'$  et  $P''$  les valeurs extrêmes de cette pression en cours d'utilisation continue ou intermittente.

Ce coefficient s'exprime en % de la pression P, ceci pour un même débit.

$P_{\text{entrée}} = P_3$

$f = 0,5\%$  pour un régulateur de pression HBS 200.

$f = 0,1\%$  pour un régulateur de pression DLRS.

#### Tenue aux températures ambiantes

On distingue les températures d'utilisation (en général comprises entre  $-20^\circ\text{C}$  et  $+50^\circ\text{C}$ ) et les températures de stockage (de  $-40^\circ\text{C}$  à  $+70^\circ\text{C}$ ).

Certains appareils sont conçus spécialement pour fonctionner à des températures extrêmes. N'hésitez pas à nous consulter.

#### Soupapes

Tous les régulateurs haute pression sont équipés en série de soupapes de sécurité qui limitent les remontées accidentelles de la pression aval.

La valeur de tarage est réglée pour:  $P_s = 1,2 P_4$

Nota: La pression d'ouverture de soupape  $P_s$  est différente, par construction, de la pression de fermeture et en général supérieure de 10%.

#### Manomètres

Les manomètres qui équipent les régulateurs sont gradués de manière à pouvoir supporter au minimum 1,5 fois la pression d'entrée ou de sortie maximum qu'ils sont chargés de mesurer.

#### Principe de fonctionnement

$P_1$ : pression entrée variable

$P_2$ : pression régulée (sortie)

$P_a$ : pression atmosphérique

F: force du ressort de détente

f: force du ressort de clapet

S: surface de la membrane du soufflet ou du piston

$s_1$ : section de l'orifice du siège de clapet

L'égalité des forces s'exerçant sur la membrane s'exprime par l'équation:

$$F + P_a \cdot S = P_2 \cdot S + f + (P_1 - P_2) \cdot s_1$$

Tant que  $P_1$  est très supérieur à  $P_2$ , on peut exprimer la pression aval régulée par:

$$P_2 = P_a + \frac{F - f}{S} - \frac{s_1}{S} P_1$$

### Conséquences de cette égalité

#### 1. Influence de la pression atmosphérique

Les variations de la pression atmosphérique sont directement répercutées sur la pression de sortie.

La pression de sortie ne peut généralement être inférieure à la pression atmosphérique.

La mise sous vide de la face extérieure de la membrane ( $P_a = 0$ ) permet:

- de s'affranchir de la pression atmosphérique. Cet aspect est important dans les opérations de longue durée ou à répétition;
- de réguler à des pressions inférieures à la pression atmosphérique, en toute indépendance de celle-ci. Nos régulateurs de pression de type DLRS/DIRS et DIM sont conçus pour répondre à ces applications.

#### 2. Influence de la pression d'entrée: intérêt de la double détente:

- La pression de sortie  $P_2$  augmente lorsque la pression d'entrée  $P_1$  diminue (cas d'un détendeur avec le clapet situé dans la pression d'entrée);
- L'influence de la pression d'entrée sur la pression de sortie est atténuée par le rapport de la section de l'orifice du siège à la surface de la membrane, mais réduire la section de passage du siège limite le débit. Avec un régulateur de pression à simple détente, la pression de sortie varie très sensiblement en fonction de la pression d'entrée et en fonction du débit. Pour le matériel de qualité ALPHAGAZ, on a adopté la double détente pour certains de ces appareils. Celle-ci permet une excellente régulation et autorise de gros débits sous un faible encombrement.

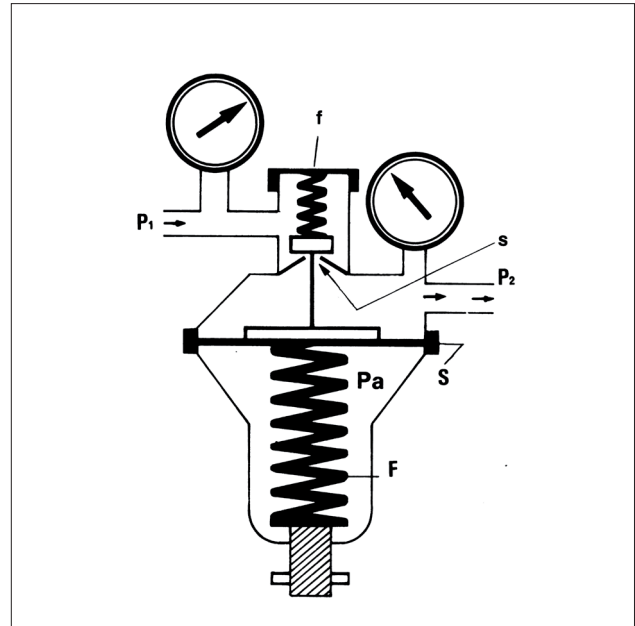


Schéma de principe d'un détendeur simple détente à clapet dans la pression d'entrée

**Remarque:** Le régulateur de pression n'est pas destiné à arrêter un débit de gaz: une vanne d'arrêt, montée à la sortie, doit lui être adjointe.

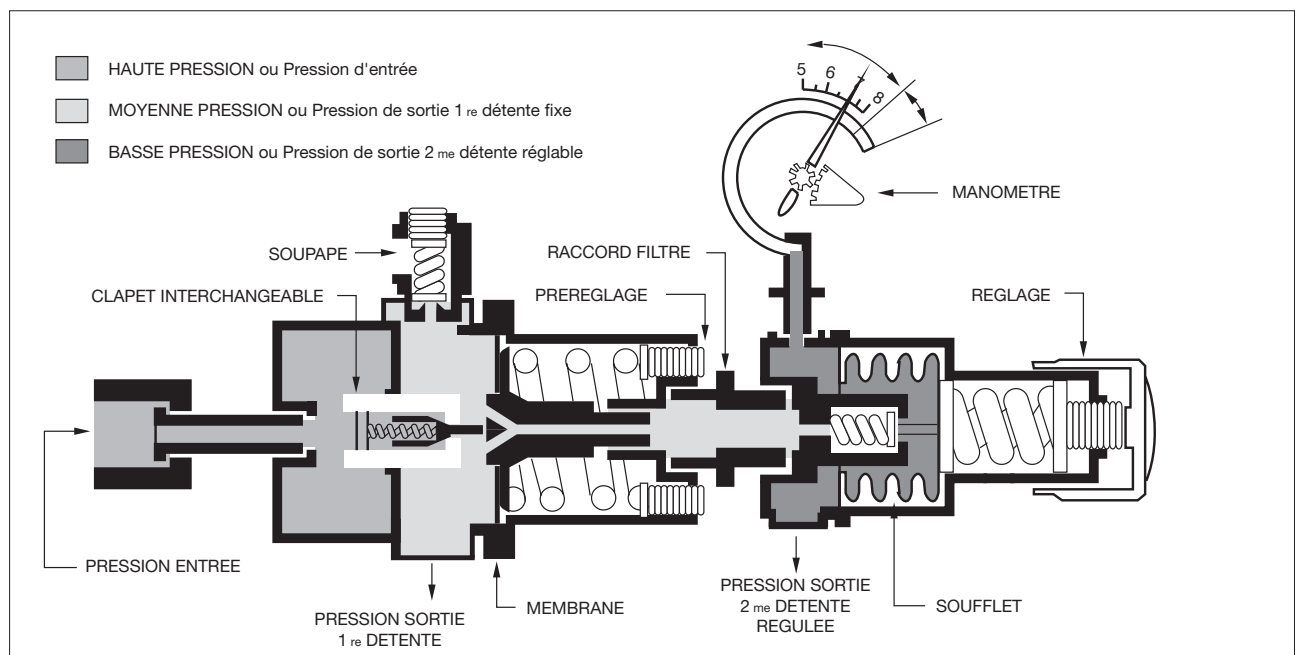


Schéma de principe d'un détendeur double détente type HBS

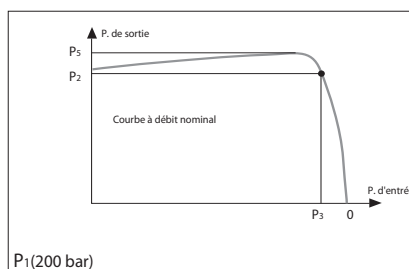
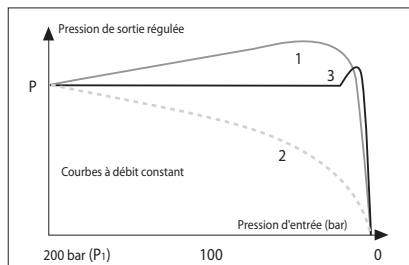
## Courbes caractéristiques

### Régulation en fonction de la pression d'entrée

#### Détendeur à clapet dans la pression d'entrée

1. Simple détente à faible débit.
2. Simple détente à fort débit.
3. Double détente (le décrochement en fin de vidange correspond à l'absence de régulation de l'étage haute pression).

Nota: La remontée en pression en cours de vidange des appareils à simple détente ALPHAGAZ est inférieure à 10% de la pression aval. Pour des appareils ordinaires, elle peut atteindre 30% de la pression aval.

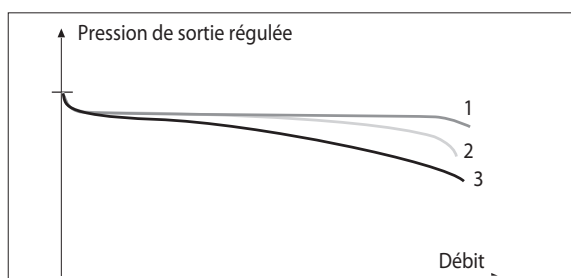


Cas d'un détendeur avec clapet dans la pression d'entrée

### Variation de la pression de sortie en fonction du débit à pression d'entrée constante.

Pour une valeur de réglage de la pression de sortie régulée  $P$ , on enregistre une baisse de la pression de sortie lorsque le débit augmente.

1. Double détente – gros débit – bonne régulation.
2. Simple détente des appareils standards.
3. Simple détente de qualité industrielle.



### Débit nominal

A. Un point de fonctionnement

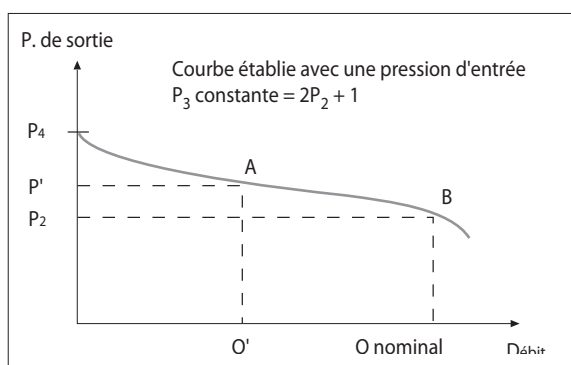
B. Débit nominal

Exemple: Détendeur HBS 200-8-3

$Q_n = 3 \text{ m}^3/\text{h}$  quand  $P_2 = 8 \text{ bar}$  et  $P_3 = 17 \text{ bar}$

$P_4 \leq 8,8 \text{ bar}$

**Important:** Dans le catalogue les débits sont exprimés, sauf indication contraire, dans une unité ( $\text{m}^3/\text{h}$  ou  $\text{l/h}...$ ) ramenée aux conditions de  $15^\circ\text{C}$  et  $1,013 \text{ bar}$  absolu.



Les pressions absolues sont rapportées au vide absolu.

Les pressions relatives (ou effectives) sont rapportées à la pression atmosphérique.

La pression absolue (en bar) est égale à la pression relative (en bar) + 1.

### Conservation de la pureté du gaz: membrane ou soufflet métallique

Lorsque la membrane du régulateur est en élastomère, il y a possibilité de contamination du gaz par diffusion de l'air à travers la membrane et par dégazage de celle-ci. Il y a par ailleurs risque d'absorption sélective du gaz par la membrane.

Ces risques de pollution du gaz sont d'autant plus grands que la membrane est grande et les débits de gaz faibles.

C'est la raison pour laquelle les détendeurs haut de gamme, qualité ALPHAGAZ, ont tous une membrane ou un soufflet métallique.

Certains matériels de qualité ALPHAGAZ sont fournis en option avec un traitement de surface interne spécial, qui éliminent les risques de désorption gazeuse et de rejet particulaire.

## Montage et purge d'un détendeur

### Montage sur une bouteille

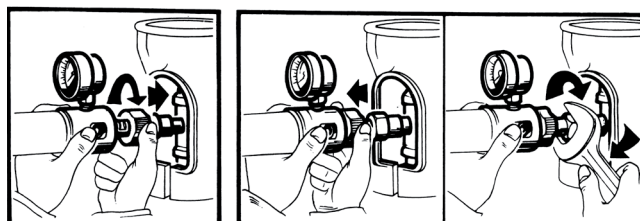
#### • Raccords bouteille

Pour fixer les détendeurs sur les bouteilles, la sécurité impose différents types de raccords qui dépendent de la nature des gaz ou des mélanges de gaz contenus dans les bouteilles. Ces raccords ne sont pas interchangeables. Le profil des raccords est précisé pour chaque gaz (voir la liste des gaz dans chapitre 1).

#### • Mise en place du détendeur sur la bouteille

Les raccords haute pression des détendeurs sont munis d'une bague en plastique permettant l'identification du type de raccord par la couleur. Les raccords munis d'un joint torique sont à serrer à la main à l'aide de la bague en plastique sur le robinet de la bouteille. Les autres sont à serrer à la clé.

1. Monter les raccords d'entrée et de sortie du détendeur, si nécessaire
2. Contrôler la propreté de l'orifice du robinet de la bouteille.
3. Effectuer une purge rapide du robinet (ne pas effectuer l'opération avec l'hydrogène et les gaz toxiques ou corrosifs).
4. Bien aligner le raccord bouteille du détendeur et visser.



**Important:** N'utiliser la clé qu'en cas de point dur ou de raccord non équipé de joint torique.

5. Vérifier que le volant de réglage de pression du détendeur est bien dévissé.
6. Relier la sortie du détendeur à la canalisation.
7. Pour la mise en service, se reporter au paragraphe «Purge d'un détendeur».

### Purge d'un détendeur

Mode opératoire classique (fig. 1)

#### A. Vérifications préalables

1. S'assurer que le robinet de la bouteille est fermé.
2. S'assurer que:
  - le détendeur est ouvert (tourner le volant de quelques tours à droite)
  - la vanne de purge est ouverte
  - la vanne d'utilisation est fermée
  - le circuit d'utilisation reste sous pression de gaz.
3. Ouvrir légèrement le robinet de la bouteille et le refermer aussitôt.  
Laisser s'échapper le gaz par la vanne de purge jusqu'au retour à zéro des manomètres.
4. Fermer la vanne de purge.

**Attention:** l'opération 3 est indispensable avant de passer aux opérations B, lorsque le gaz est combustible.

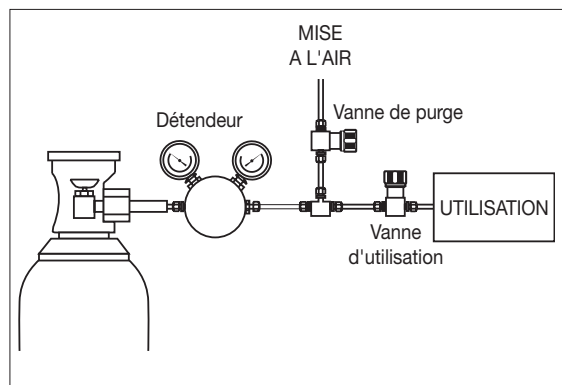


Figure 1

**Remarque:** un détendeur n'est pas destiné à arrêter un débit de gaz: une vanne d'arrêt montée à la sortie doit lui être adjointe.

## B. Mises en pression et vidanges à l'atmosphère

1. Ouvrir légèrement le robinet de la bouteille et le refermer presque aussitôt afin que l'air résiduel contenu dans le détendeur ne pollue pas par rétrodiffusion, le gaz contenu dans la bouteille. (Ne pas atteindre la pression de la bouteille: lecture sur le manomètre de pression d'entrée.)
2. Attendre environ 1 minute (dilution de l'air dans le gaz).
3. Ouvrir la vanne de mise à l'air pour chasser le mélange gaz-air puis la refermer (ne pas atteindre la pression atmosphérique: lecture sur le manomètre de pression de sortie).
4. Renouveler 3 à 5 fois le cycle 1-2-3 ci-dessus.

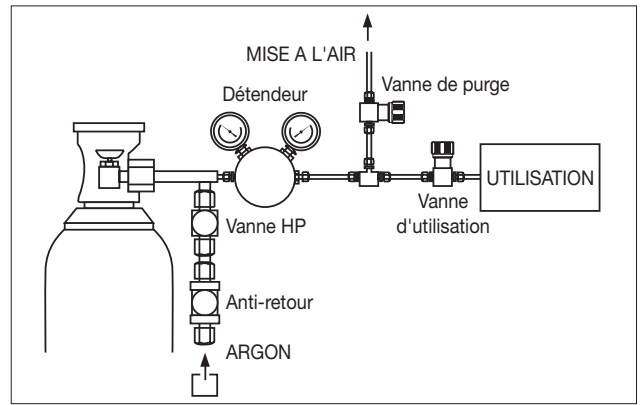


Figure 2

## C. Utilisation

1. Ouvrir progressivement le robinet de la bouteille sans le bloquer en position ouverte.
2. Régler la pression de détente à la valeur désirée.
3. Ouvrir progressivement la vanne d'utilisation afin d'éviter un appel brutal du gaz (vibrations, coups de béliers).
4. Eventuellement réajuster la pression de détente.

### Variantes

- Balayages préalables à l'argon. (fig. 2)

Un système de purge est placé en amont du détendeur. L'opération A3 et les cycles d'opérations B sont effectués avec l'argon (vanne H.P. d'alimentation en lieu et place du gaz de la bouteille à utiliser).

- Vidange sous vide sans mise en pression (fig. 3) dans lorsque le gaz ne peut être rejeté l'atmosphère et qu'il n'est pas possible d'utiliser un gaz de balayage, l'air doit être éliminé en faisant le vide. Une pompe à vide est placée sur le circuit de mise à l'air. Les opérations A1, 2, 3 étant effectuées, faire le vide pendant une dizaine de minutes puis, la vanne de mise à l'air étant fermée, effectuer les opérations C.

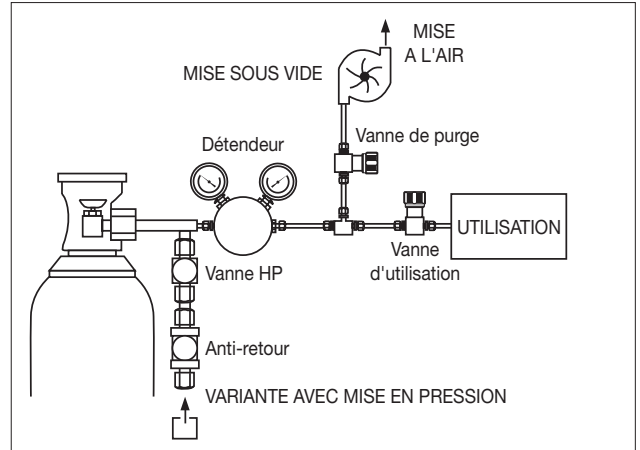


Figure 3

- Vidange sous vide avec mise en pression d'argon (fig. 3).

Une pompe à vide, un té et une vanne H.P. d'alimentation sont placés comme montré ci-dessus. Les opérations A1, 2, 3 étant effectuées, faire le vide et introduire l'argon (vanne H.P. d'alimentation) plusieurs fois, à quelques minutes d'intervalle.

## En conclusion: principaux paramètres intervenant dans le choix d'un détendeur

|                    |                                                                    |                                      |                                                         |                                                |                                                                 |
|--------------------|--------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------------------------|------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| Gaz utilisé        | Neutre <input type="checkbox"/>                                    | Combustible <input type="checkbox"/> | Comburant <input type="checkbox"/>                      | Corrosif <input type="checkbox"/>              | Toxique <input type="checkbox"/>                                |
| Pureté du gaz      | Ultra pur <input type="checkbox"/>                                 | Pur <input type="checkbox"/>         | Industriel <input type="checkbox"/>                     |                                                |                                                                 |
| Pression d'entrée  | Valeur de la pression d'entrée                                     | <input type="text"/> bar             | Haute pression > 50 bar <input type="checkbox"/>        | Basse pression 50 bar <input type="checkbox"/> |                                                                 |
| Pression de sortie | Valeur de la pression de sortie mini                               | <input type="text"/> bar             | Valeur de la pression de sortie maxi                    | <input type="text"/> bar                       | Réglable <input type="checkbox"/> Fixe <input type="checkbox"/> |
| Débit              | Valeur du débit                                                    | <input type="text"/> m³/h            | Pour pression d'entrée                                  | <input type="text"/> bar                       | et pression de sortie <input type="text"/> bar                  |
| Vide               | Régulation sous vide                                               | <input type="checkbox"/>             |                                                         |                                                | Résistant au vide (purges) <input type="checkbox"/>             |
| Régulation         | Double détente                                                     | <input type="checkbox"/>             | Simple détente                                          | <input type="checkbox"/>                       |                                                                 |
| Matière            | Laiton <input type="checkbox"/>                                    |                                      | Acier inoxydable <input type="checkbox"/>               |                                                |                                                                 |
| Soupape            | Non canalisable <input type="checkbox"/>                           |                                      | Canalisable <input type="checkbox"/>                    |                                                | Intégrée décompression automatique <input type="checkbox"/>     |
| Raccord d'entrée   | Sur bouteille type de raccord suivant gaz <input type="checkbox"/> |                                      | Sur bouteille avec té de purge <input type="checkbox"/> |                                                | Sur canalisation <input type="checkbox"/>                       |
| Raccord de sortie  | Double bague à sertir Ø du tube                                    | <input type="text"/> mm              | Autre <input type="checkbox"/>                          |                                                |                                                                 |



### Vannes qualité ALPHAGAZ

Pour les applications de haute technologie, nécessitant le transfert de gaz haute pureté, le choix des vannes est primordial.

#### Les objectifs à atteindre

- *Conserver au gaz sa pureté.*

Les vannes à soufflet et à membrane métallique répondent à cet objectif. Pour les gaz ultra purs, il est préférable d'utiliser des vannes en acier inoxydable.

- *Transférer des gaz corrosifs et toxiques.*

Les vannes à soufflet et à membrane métallique conviennent parfaitement. Par contre, il faut veiller particulièrement à la qualité des matériaux en contact avec le gaz: membrane, soufflet, joints, siège, clapet...

- *Distribuer des gaz à pression élevée.*

Il faut, pour certains gaz à pression élevée, veiller à la technologie de construction des vannes, par exemple: les vannes 1/4 de tour à boisseau sont à proscrire avec l'oxygène, à une pression supérieure à 20 bar.

- *Assurer l'arrêt ou le réglage de l'écoulement du gaz.*

Les vannes à clapet (dites d'arrêt) conviennent parfaitement pour arrêter un écoulement. Pour régler cet écoulement à un niveau choisi, les vannes à pointeau ou à aiguille (dites de réglage) sont à sélectionner de préférence.

- *Obtenir un débit de gaz.*

Toutes ces vannes sont affectées d'un coefficient de débit Kv (selon norme NF 29-312) qui permet d'évaluer le débit maximum ou la perte de charge.

Le débit se calcule au moyen de la formule ci-dessous:

$$Q = 547 K_v \sqrt{\frac{P_1 (P_1 - P_2)}{\rho_0 T_1}}$$

Q = débit du gaz en m³/h à 1,013 bar et 15°C

P<sub>1</sub> = pression d'entrée en bar absolu

P<sub>2</sub> = pression de sortie en bar absolu (pression en bar absolu = pression en bar relatifs +1)

ρ<sub>0</sub> = masse volumique du gaz en kg/m³ à 1,013 bar et 0°C (voir le tableau ci-dessous)

T<sub>1</sub> = température absolue d'entrée en K = 273 + t (t en °C)

Kv = coefficient de débit de la vanne, exprimé en mètre cube d'eau par heure\* (densité 1) la traversant avec une perte de charge de 1 bar.

(le Cv anglo-saxon est lié au Kv par la relation:

Cv = 1,16 Kv)

| Gaz                | Masse volumique<br>(kg/m³ à 0°C, 1,013 bar) |
|--------------------|---------------------------------------------|
| Acétylène          | 1,17                                        |
| Air                | 1,293                                       |
| Ammoniac           | 0,76                                        |
| Argon              | 1,78                                        |
| Azote              | 1,26                                        |
| Dioxyde de carbone | 1,98                                        |
| Hélium             | 0,19                                        |
| Hydrogène          | 0,085                                       |
| Méthane            | 0,71                                        |
| Oxygène            | 1,43                                        |
| Propane            | 1,98                                        |
| Hémioxyde d'azote  | 1,98                                        |
| Tétrène            | 1,86                                        |

\* Le coefficient Kv en m³/h d'eau est égal à 0,06 fois le Kv en litre/min. d'eau.

Pour qu'un débit régulier soit constant, il faut:

- une pression amont ou d'entrée constante, laquelle peut être obtenue par l'emploi d'un détendeur de qualité en amont de la vanne;
- une pression aval ou de sortie constante, ce qui suppose que la perte de charge en aval de la vanne soit constante;
- une section de passage constante, qui sera la caractéristique d'une vanne de qualité;
- une température constante.

Les pressions absolues sont rapportées au vide absolu.

Les pressions relatives (ou effectives) sont rapportées à la pression atmosphérique.

La pression absolue (en bar) est égale à la pression relative (en bar) +1.

## En conclusion: principaux paramètres intervenant dans le choix d'une vanne

|                      |                                           |                                   |                                         |                                 |                         |                          |                  |                          |
|----------------------|-------------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------------|---------------------------------|-------------------------|--------------------------|------------------|--------------------------|
| Gaz utilisé          | → Neutre                                  | <input type="checkbox"/>          | Comburant                               | <input type="checkbox"/>        | Corrosif                | <input type="checkbox"/> | Toxique          | <input type="checkbox"/> |
| Pureté du gaz        | → Ultra pur                               | <input type="checkbox"/>          | Pur                                     | <input type="checkbox"/>        | Industriel              | <input type="checkbox"/> |                  |                          |
| Pression d'entrée    | → Valeur de la pression d'entrée          | <input type="text" value="bar"/>  | Haute pression > 50 bar                 | <input type="checkbox"/>        | Basse pression ≤ 50 bar | <input type="checkbox"/> |                  |                          |
| Pression de sortie   | → Valeur de la pression de sortie         | <input type="text" value="bar"/>  |                                         |                                 |                         |                          |                  |                          |
| Débit                | → Valeur du débit                         | <input type="text" value="m³/h"/> | Valeur du Kv                            | <input type="text"/>            | Arrêt du débit          | <input type="checkbox"/> | Réglage du débit | <input type="checkbox"/> |
| Système de manoeuvre | → Manuelle multitours                     | <input type="checkbox"/>          | Manuelle 1/4 de tour                    | <input type="checkbox"/>        | Pneumatique             | <input type="checkbox"/> | Electrique       | <input type="checkbox"/> |
| Matière              | → Laiton                                  | <input type="checkbox"/>          | Acier inoxydable                        | <input type="checkbox"/>        |                         |                          |                  |                          |
| Raccordement         | → Entrée VCR-BW-SW double bague Ø du tube | <input type="text" value="mm"/>   | Sortie VCR-BW-SW double bague Ø du tube | <input type="text" value="mm"/> |                         |                          |                  |                          |

## Purge des vannes

Les vannes sont des éléments constitutifs des installations de distribution. Pour purger efficacement les vannes, il est recommandé d'appliquer les techniques de purge décrites dans ce chapitre.

### Centrales gaz et modules qualité AL-PHAGAZ

#### Les centrales gaz «Qualité ALPHAGAZ»

Ce sont des systèmes de distribution de gaz constitués de 2 rampes collectrices reliées à une ou plusieurs bouteilles et d'un ensemble détente-inversion, qui permet de passer automatiquement de la rampe en service arrivant à épuisement à la rampe en réserve. La pression de sortie du gaz des centrales est généralement inférieure ou égale à 10 bar.

Les éléments composant les centrales sont conçus pour conserver aux gaz leurs qualités. Ces éléments, principalement des vannes et des détendeurs, sont de conception technologique identique aux matériels décrits dans ce catalogue, c'est-à-dire à membrane métallique ou soufflet.

On distingue 2 types de centrales:

1. Les centrales à inversion automatique (schéma 1)
2. Les centrales à inversion automatique à réarmement (schéma 2)

Les premières passent automatiquement de la source en service arrivant à épuisement à la source en réserve, sans intervention manuelle. La pression de sortie reste constante (schéma 1).

Les secondes offrent le même automatisme, par contre la pression de sortie diminue de quelques bar (2 à 3 bar pour la version pression de sortie 10 bar) au moment de l'inversion. Pour rétablir la pression initiale, il faut agir sur un levier de réarmement (schéma 2).

#### Débit des centrales

Le débit des centrales est donné en m<sup>3</sup>/h d'azote pour une pression d'entrée égale à 2 fois la pression de sortie maxi du détendeur de la source en service, plus 1 bar.

L'importance du débit dépend du nombre de bouteilles (ou cadres) raccordées à la centrale, mais aussi des caractéristiques physiques du gaz et de ses pro-

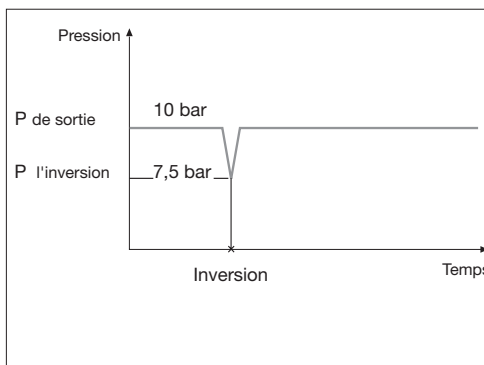


Schéma 1: Cycle d'inversion d'une centrale automatique

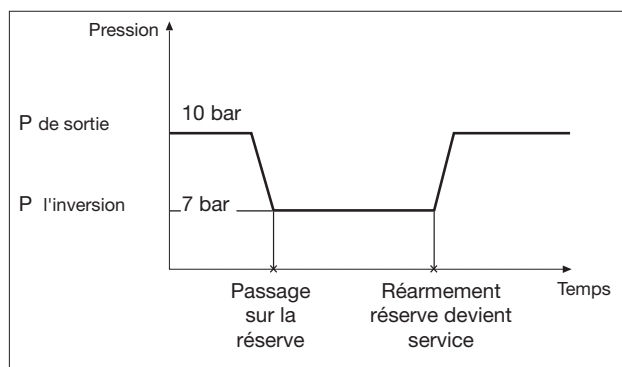
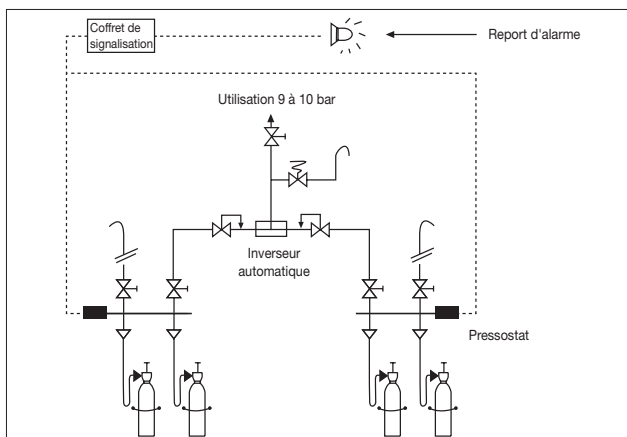
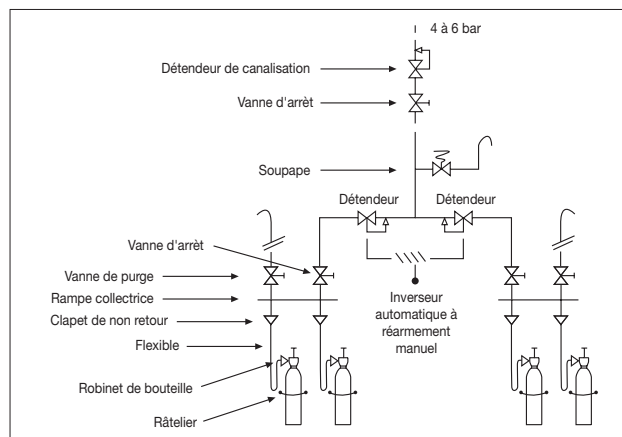


Schéma 2: Cycle d'inversion d'une centrale automatique à réarmement manuel



Principe de la centrale automatique



Principe de la centrale automatique à réarmement manuel

priétés pour l'extraire des emballages. C'est le cas de l'acétylène et des gaz liquéfiés en bouteille.

Les modules

Les modules sont des centrales gaz simplifiées. Ils sont constitués d'une seule rampe de bouteilles et permettent une alimentation centralisée en gaz de plusieurs points d'utilisation. Les modules n'offrent pas les mêmes sécurités d'alimentation en gaz que les centrales par suite de l'absence d'un système d'inversion automatique d'une source de gaz en service vers une source de gaz en réserve.

Les signalisations

Les signalisations par voyant lumineux ou alarme sonore, complément indispensable aux centrales gaz et aux modules, permettent d'informer l'utilisateur que la source en service arrive à épuisement.

Avantages des centrales et modules gaz

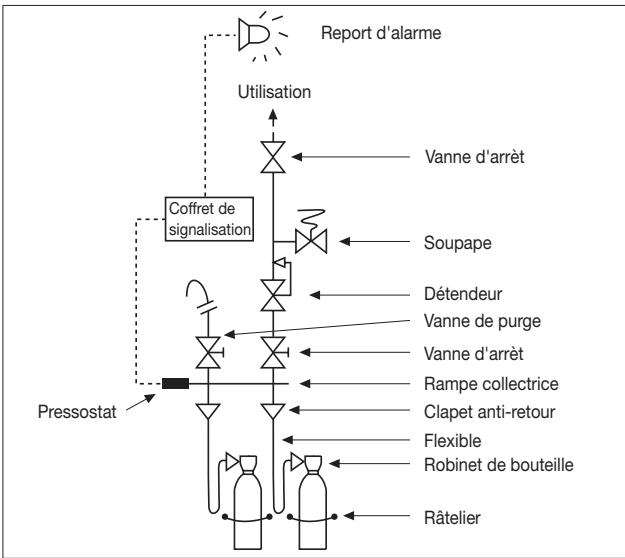
Par rapport à un système de bouteilles isolées alimentant chaque poste d'utilisation, la distribution des gaz par canalisation à partir de sources centralisées offrent les principaux avantages suivants:

Economie

- Réduction du parc de bouteilles
- Réduction des frais de main-d'oeuvre liés à la manipulation des bouteilles
- Gain d'espace dans les locaux
- Meilleure utilisation des fonds de bouteilles

Sécurité

- Possibilité de grouper les bouteilles dans des locaux spécialisés ou à l'extérieur



Principe d'un module

- Amélioration de la sécurité en faisant manipuler les bouteilles par du personnel formé
- Risque d'interruption de l'alimentation de gaz en production, très réduit.

Souplesse d'utilisation

- Simplification de l'utilisation du gaz par les opérateurs

Purge des centrales et modules gaz

Les centrales sont des éléments constitutifs des installations de distribution. Pour purger efficacement les centrales ou modules, il est recommandé d'appliquer les techniques de purge décrites dans ce chapitre.

En conclusion: paramètres intervenant dans le choix d'une centrale ou d'un module

|                    |   |                                                                      |                          |                                       |                          |             |                          |          |                          |                          |                          |
|--------------------|---|----------------------------------------------------------------------|--------------------------|---------------------------------------|--------------------------|-------------|--------------------------|----------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Gaz utilisé        | → | Neutre                                                               | <input type="checkbox"/> | Combustible                           | <input type="checkbox"/> | Comburant   | <input type="checkbox"/> | Corrosif | <input type="checkbox"/> | Toxique                  | <input type="checkbox"/> |
| Pureté du gaz      | → | Ultra pur                                                            | <input type="checkbox"/> | Pur                                   | <input type="checkbox"/> | Industriel  | <input type="checkbox"/> |          |                          |                          |                          |
| Pression d'entrée  | → | Valeur de la pression d'entrée                                       |                          |                                       |                          |             | <input type="text"/>     | bar      |                          |                          |                          |
| Pression de sortie | → | Valeur de la pression de sortie                                      |                          |                                       |                          |             | <input type="text"/>     | bar      |                          |                          |                          |
| Débit              | → | Valeur du débit (pour les pressions d'entrée et de sortie ci-dessus) |                          |                                       |                          |             | <input type="text"/>     | m³/h     |                          |                          |                          |
| Fonctionnement     | → | Manuel                                                               | <input type="checkbox"/> | Auto à réarmement                     | <input type="checkbox"/> | Automatique | <input type="checkbox"/> |          |                          |                          |                          |
| Matière            | → | Laiton                                                               | <input type="checkbox"/> | Acier inoxydable                      | <input type="checkbox"/> |             |                          |          |                          |                          |                          |
| Raccord d'entrée   | → | Flexible                                                             | <input type="checkbox"/> | Type de raccord bouteille suivant gaz |                          |             |                          |          |                          |                          | <input type="checkbox"/> |
| Raccord de sortie  | → | Double bague à sertir Ø du tube                                      |                          |                                       |                          |             | <input type="text"/>     | mm       | Autre                    | <input type="checkbox"/> |                          |
| Option             | → | Signalisation d'inversion                                            |                          |                                       |                          |             | <input type="checkbox"/> |          |                          |                          |                          |

Les débitmètres de type «buse-palette», comme les Dynamal et Dynaval, présentés dans ce catalogue, sont étalonnés pour un gaz déterminé et pour des conditions précises de pression et de température. Les graduations donnent, pour chaque gaz, le débit en volume par unité de temps, rapporté à la pression de 1,013 bar et à la température de 20°C.

Lorsque ces débitmètres sont utilisés dans des conditions (gaz, pression, température) autres que celles indiquées pour leur étalonnage, le débit réel est égal au débit lu, multiplié par les coefficients de correction obtenus en appliquant les formules de calcul ci-après.

### Correction due à la nature du gaz: $C_g$

| Nature du gaz utilisé | Coefficient $C_g$              |         |       |       |           |
|-----------------------|--------------------------------|---------|-------|-------|-----------|
|                       | Gaz d'étalonnage du débitmètre |         |       |       |           |
|                       | Air                            | Oxygène | Azote | Argon | Hydrogène |
| Acétylène             | 1,05                           | 1,10    | 1,03  | 1,23  | 0,28      |
| Dioxyde de carbone    | 0,81                           | 0,85    | 0,79  | 0,95  | 0,21      |
| Argon                 | 0,85                           | 0,90    | 0,84  | 1,00  | 0,22      |
| Azote                 | 1,01                           | 1,07    | 1,00  | 1,19  | 0,27      |
| Butane                | 0,70                           | 0,73    | 0,68  | 0,82  | 0,18      |
| Ethane                | 0,98                           | 1,03    | 0,96  | 1,14  | 0,26      |
| Ethylène              | 1,01                           | 1,07    | 0,99  | 1,19  | 0,27      |
| Hélium                | 2,69                           | 2,83    | 2,64  | 3,16  | 0,71      |
| Hydrogène             | 3,81                           | 3,99    | 3,74  | 4,46  | 1,00      |
| Méthane               | 1,34                           | 1,41    | 1,32  | 1,58  | 0,35      |
| Oxygène               | 0,95                           | 1,00    | 0,93  | 1,12  | 0,25      |
| Propane               | 0,81                           | 0,85    | 0,79  | 0,95  | 0,21      |
| Propylène             | 0,83                           | 0,87    | 0,81  | 0,97  | 0,22      |
| Hémioxyde d'azote     | 0,81                           | 0,85    | 0,79  | 0,95  | 0,21      |

$$C_g = \sqrt{\frac{d_e}{d_u}}$$

$d_e$  = densité du gaz d'étalonnage par rapport à l'air

$d_u$  = densité du gaz utilisé par rapport à l'air

### Correction due à la pression dans la chambre de mesure: $C_p$

| Pression en bar | Coefficient $C_p$  |         |
|-----------------|--------------------|---------|
|                 | Type de débitmètre |         |
|                 | Dynamal            | Dynaval |
| 0               | 1,00               |         |
| 0,1             | 1,05               |         |
| 0,2             | 1,09               |         |
| 0,5             | 1,22               |         |
| 0,8             | 1,34               |         |
| 1               | 1,41               | 0,71    |
| 1,5             | 1,58               | 0,79    |
| 2               | 1,73               | 0,87    |
| 2,5             | 1,87               | 0,94    |
| 3               | 2,00               | 1,00    |
| 3,5             | 2,12               | 1,06    |
| 4               | 2,23               | 1,12    |
| 5               | 2,45               | 1,22    |
| 6               | 2,64               | 1,32    |

$$C_p = \sqrt{\frac{P_r + 1}{P_e + 1}}$$

$P_r$  = pression relative réelle dans la chambre de mesure

$P_e$  = pression relative d'étalonnage du débitmètre

La pression dans la chambre de mesure peut être prise:

- pour le Dynamal, en aval du débitmètre
- pour le Dynaval, en amont du débitmètre

Toutes les pressions sont exprimées en valeur relative: c'est-à-dire qu'elles sont comptées par rapport à la pression atmosphérique.

### Correction due à la température dans la chambre de mesure: $C_t$

| Température (°C)  | -20  | -15  | -10  | -5   | 0    | 5    | 10   |
|-------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| Coefficient $C_t$ | 1,08 | 1,07 | 1,06 | 1,05 | 1,04 | 1,03 | 1,02 |
| Température (°C)  | 15   | 20   | 25   | 30   | 35   | 40   | 50   |
| Coefficient $C_t$ | 1,01 | 1    | 0,99 | 0,98 | 0,97 | 0,96 | 0,95 |

$$C_t = \sqrt{\frac{20+273}{t+273}}$$

$t$  = température des gaz en degré Celsius

Le débit réel est égal au débit lu, multiplié par un coefficient de correction:  $C = C_g \times C_p \times C_t$



### Installations de distribution de gaz par canalisations

Détendeurs, vannes, centrales gaz et modules sont les éléments principaux des installations de distribution de gaz. Les qualités de ces différents matériels ne suffisent pas pour transférer les gaz à haute pureté des bouteilles aux postes d'utilisation.

En effet, des précautions particulières doivent être prises dans la construction des installations, dans le choix des tuyauteries de liaison et à la mise en service de celles-ci.

#### Principales causes de contamination du GAZ

##### *Présence d'air dans les installations*

Avant la mise en service d'une installation ou lors d'un changement de source de gaz, l'installation est en général remplie d'air: les tubes de grande longueur et la présence de nombreux espaces morts (tels que les tubes de manomètres) rendent la purge difficile (fig. 1). Une simple purge en continu de l'installation peut nécessiter plusieurs heures.

##### *Manque d'étanchéité de l'installation*

Si une installation n'est pas parfaitement étanche (porosité...), des fuites de gaz vers l'extérieur apparaissent.

Cependant, il peut se produire simultanément une introduction d'air dans la canalisation bien que la pression de celle-ci soit supérieure à celle de la pression atmosphérique.

Ce phénomène surprenant appelé «Rétrodiffusion» consiste en la diffusion de molécules d'un milieu à faible pression vers un autre à pression supérieure (fig. 2).

La rétrodiffusion s'explique en comparant les pressions partielles des différents gaz situés de part et d'autre d'une paroi. Elle se traduit pour l'utilisateur par une dégradation de la qualité du gaz utilisé, dégradation d'autant plus importante que les débits sont faibles ou discontinus.

Aucune pollution n'est observée avec un tube métallique parfaitement étanche. Un pore de 20 microns dans un tube métallique et l'usage de polymères ou d'élastomères engendrent des pollutions plus ou moins importantes (voir tableau ci-après).

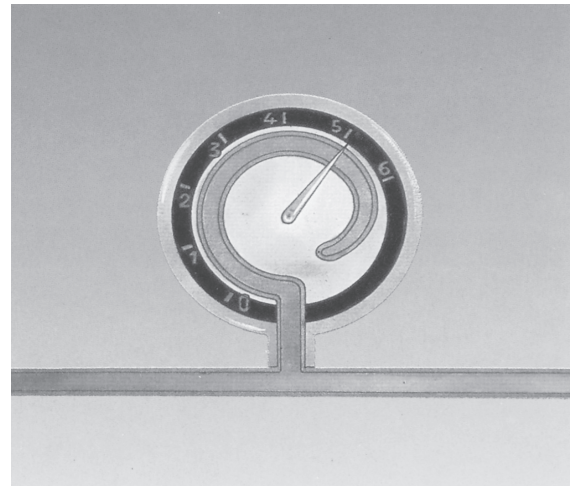


Figure 1

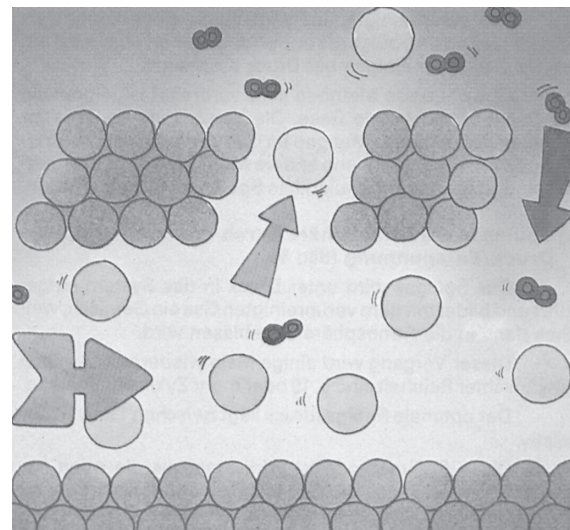


Figure 2

**Pollution par l'oxygène de l'air, d'un argon pur circulant dans un tube, de longueur 1 m, de diamètre 6 mm, à un débit de 5 litres/heure.**

| Nature du matériau        | Valeurs indicatives en ppm (parties par million) |
|---------------------------|--------------------------------------------------|
| Mylar                     | 0,02                                             |
| Nylon 6                   | 0,05                                             |
| PTFCE                     | 0,6                                              |
| Perbunan                  | 5,3                                              |
| Néoprène                  | 6,9                                              |
| Polyéthylène              | 11                                               |
| PTFE                      | 13                                               |
| Polyvinyle                | 27                                               |
| Caoutchouc naturel        | 40                                               |
| Acier inoxydable          | 0                                                |
| Cuivre                    | 0                                                |
| Tuyau métal 20 $\mu$ pore | 20                                               |

**Adsorption sélective de molécules de gaz par les parois internes de l'installation, suivie d'une désorption**

Une paroi peut être à l'origine de diverses interactions avec le gaz: adsorption physique ou chimique, désorption...; ainsi certaines molécules telles que l'eau possèdent la particularité d'être adsorbées par les parois avec lesquelles elles sont en contact. En conséquence, lorsque l'installation est remplie de gaz pur, ces molécules peuvent désorber et polluer le gaz (fig. 3).

Ce type de pollution peut persister très longtemps. La plupart des plastiques désorbent.

**Défaut de propreté des parois internes de l'installation.**

Certaines substances à tension de vapeur élevée telles que l'huile, les graisses, certains plastiques... polluent le gaz pur avec lequel elles sont en contact.

**Contamination particulière**

L'action dynamique des gaz (débits...) jointe à des phénomènes divers tels que vibrations, frottements de surfaces, solides actions chimiques peuvent pro-voquer le décollement des particules solides qui adhèrent plus ou moins aux surfaces.

**Solutions pour éviter la contamination**

**Les techniques de purge**

Le but de la purge est d'éliminer l'air et toutes les impuretés résiduelles d'une installation avant la mise en service, à chaque changement de source de gaz et après toute contamination éventuelle.

Avant de commencer la purge, il est indispensable que l'installation soit parfaitement étanche et propre.

Le gaz de purge doit être extrêmement pur: l'azote est largement utilisé mais l'argon et l'hélium ont une efficacité supérieure. Plus le niveau d'impuretés admis est faible, plus la purge doit être importante. On distingue plusieurs techniques de purge:

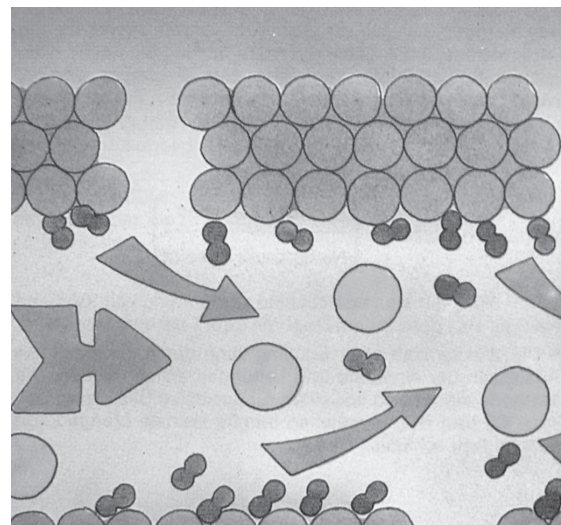


Figure 3

a) *Purge par déplacement ou par effet piston*

Le gaz de purge progresse de façon uniforme dans le volume à purger, tel un piston déplaçant ainsi le gaz polluant.

Les écoulements s'effectuent à pression atmosphérique et le phénomène de dilution est considéré comme négligeable.

Cette méthode est essentiellement adaptée à la purge de récipients de grandes dimensions (réservoirs, gazoducs...).

b) *Purge par blayage continu (fig. 4)*

Le gaz polluant est balayé par le passage d'un débit constant du gaz de purge, en général un gaz inerte à une pression de quelques bars.

Bien que très répandu, ce procédé est peu efficace pour les gaz de haute pureté, il est très long, consomme des quantités de gaz importantes et est souvent insuffisant. Son emploi ne se justifie que lorsque les autres procédés ne peuvent être employés.

c) *Purge par cycles de compression-détente à l'atmosphère (fig. 5)*

Le gaz de purge est mis sous pression dans l'installation, diffuse dans le gaz à purger, formant ainsi un mélange qui est évacué à l'atmosphère.

Cette opération est répétée plusieurs fois: 5 à 10 cycles et même plus, sont nécessaires selon la décontamination résiduelle voulue.

La pression optimale de purge se situe entre 1 et 10 bar relatifs.

Ce type de purge est plus efficace que le précédent (rapidité, taux de contamination résiduel); il convient à des systèmes complexes comprenant des volumes morts (détendeurs, manomètres...).

d) *Purge par cycle de compression – mise sous vide*

C'est une variante de la précédente adaptée plus particulièrement à des installations qui ne peuvent être que faiblement pressurisées. Ce type de purge apparaît comme étant le plus efficace; elle n'est réalisable que lorsque l'installation supporte le vide et est pourvue d'une prise de vide. Il n'est pas utile d'atteindre un vide très poussé.

**Remarques:**

$$\text{Facteur de dilution} = \left( \frac{\text{Haute pression absolue}}{\text{Basse pression absolue}} \right)^{\text{nombre de cycles}}$$

exemple: on passe de 100% à 1 ppm grâce à 8 cycles de 6 à 1 bar.

- L'efficacité d'une purge peut encore être améliorée par étuvage simultané des appareils et canalisations: l'étuvage est particulièrement bien adapté aux gaz corrosifs ( $\text{Cl}_2$ , ou  $\text{HCl}$  par exemple) dans lesquels des traces même infimes d'humidité sont gênantes.

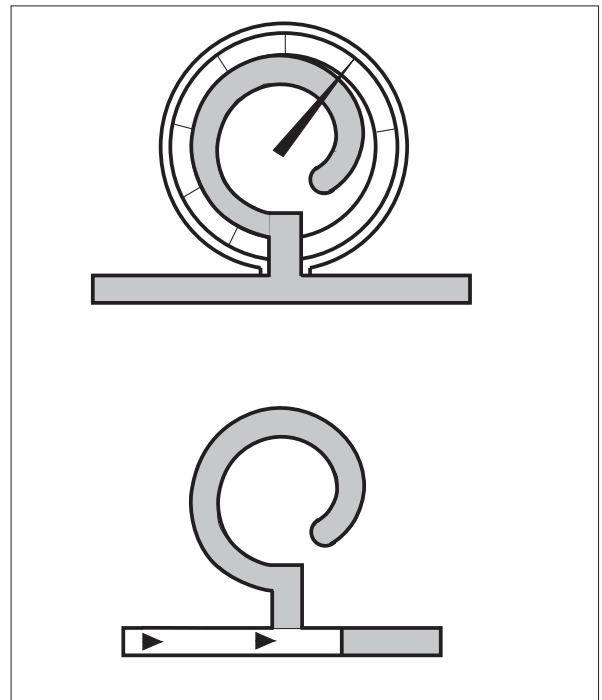


Figure 4

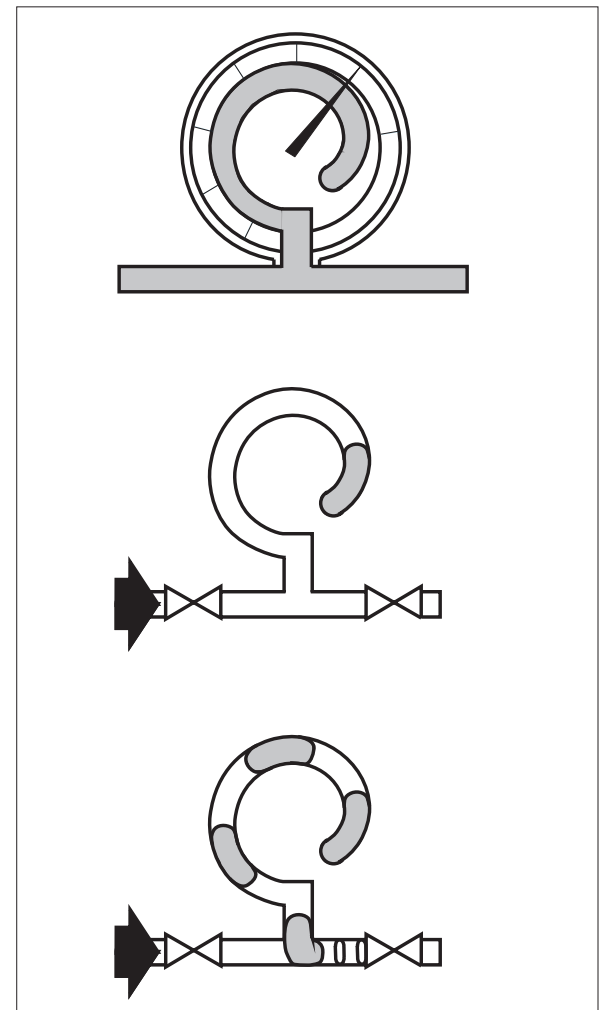


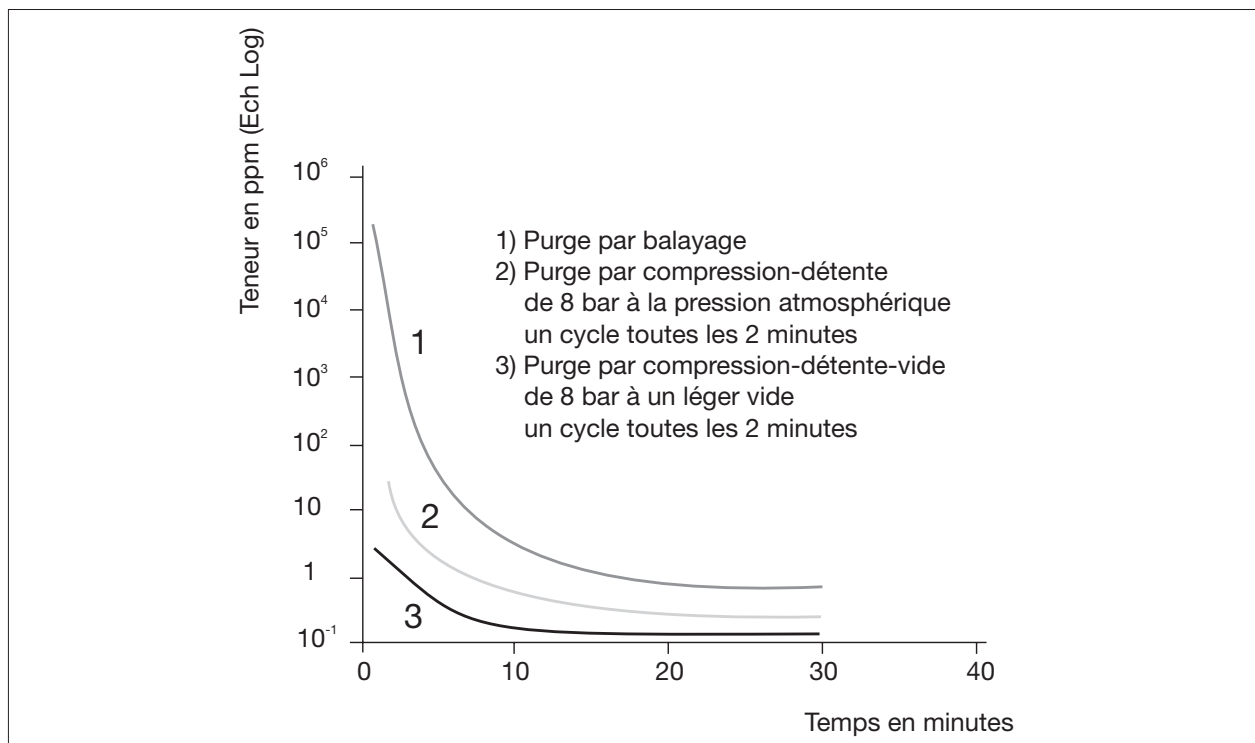
Figure 5

### Comparaison des différentes techniques

Des essais réalisés dans nos centres de recherche permettent de comparer les différentes techniques de purge d'une canalisation.

Le nombre de cycles de compression-détente est fonction du système, du gaz polluant considéré et du degré de contamination accepté. Il se situe souvent au-dessus de 10. Il est indispensable d'utiliser un gaz de purge très sec et de laisser l'équilibre s'établir lors de chaque cycle de mise en pression entre le gaz

de purge et l'eau résiduelle. Si l'on admet un temps d'équilibre de deux minutes et l'on prend pour base 15 cycles de compression-détente, on constate que la purge d'un circuit prendra plus de 30 minutes et que le remplacement d'une bouteille (substitution de gaz actif en gaz neutre puis d'air atmosphérique en gaz actif) durera plus d'une heure; l'on conçoit dans ce cas l'intérêt que peut présenter un automate permettant d'effectuer de façon parfaitement reproductible, cette opération fastidieuse.



Purge de canalisation par de l'azote. Débit 0,2 l/min – pression 8 bar absolus – température 20°C.

### Sélection de matériels non polluants

Certaines solutions techniques permettent d'obtenir des matériels performants et de réduire au minimum les contaminations particulières et gazeuses:

- soufflets et membranes métalliques (fig. 6)
- joints soudés bout à bout non polluants (butt welding et non socket welding) ou joints démontables de type VCR
- traitements de surface, mécaniques, chimiques ou électrochimiques appropriés

Les traitements de surface visent à améliorer la planéité de la surface à l'échelle microscopique, et à minimiser sa réactivité, c'est-à-dire le nombre de sites acifs.

- choix de matériaux non polluants: éviter en particulier certains plastiques
- espaces morts réduits (les manomètres de type électronique par exemple, sont très supérieurs aux tubes de Bourdon)
- rotation des pièces à proscrire (cas de vannes)
- contrôle d'étanchéité poussé ( $10^{-9}$  mbar.l/s d'hélium)
- présentation soignée des matériels (importance de la qualité de l'emballage)
- isolation des matériels de l'air ambiant
- assemblage et montage en salle propre (classe 100) des matériels haut gamme.

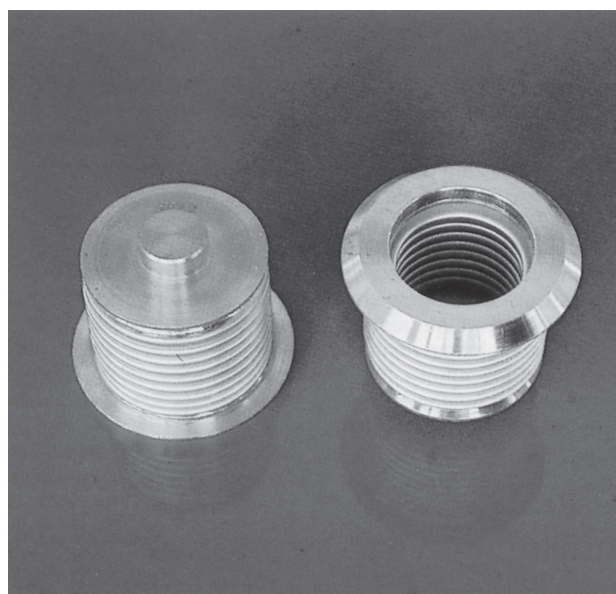


Figure 6

## Conception et réalisation soignées des lignes de mise en œuvre

Une ligne «haute pureté» ne peut être mise en œuvre que par des spécialistes, tant pour sa conception que pour sa réalisation.

*Quelques conseils de base:*

- Importance de la nature, de la qualité et du traitement des tubes, en fonction de l'application visée (passivation, électropolissage...)
- Réduction au maximum des joints démontables
- Importance primordiale de la qualité des soudures impliquant des soudeurs compétents et des techniques de soudure performantes (soudures orbitales sous gaz inerte)
- Espaces morts réduits
- Diamètre des canalisations: le plus faible possible si l'on veut minimiser la pollution gazeuse; plus important en revanche si l'on veut minimiser la pollution particulaire
- Tests d'étanchéités poussés avant la mise en service. Ces tests sont faits sous pression d'hélium et, le cas échéant, sous vide à l'aide d'un spectro-mètre de masse. Le taux de fuite en chacun des points contrôlés (soudure, raccords...) doit être inférieur à  $10^{-8}$  mbar • l/s d'hélium pour que l'on puisse parler d'installation «haute pureté»
- Montage d'ensembles en salle propre (classe 100).

### En conclusion:

|                             | Principales causes de contamination des installations                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Solutions CARBAGAS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|-----------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Contamination occasionnelle | Présence de l'air atmosphérique et de ses impuretés dans les installations; <ul style="list-style-type: none"><li>• avant mise en service,</li><li>• lors de chaque changement de source de gaz.</li></ul>                                                                                                                                                                                                                              | Techniques de purge efficaces des installations par: <ul style="list-style-type: none"><li>• une bonne conception des lignes (espaces morts réduits, tés ou croix de purge...)</li><li>• des procédures spéciales de purge (intérêt de l'automatisation)</li><li>• du personnel compétent et entraîné.</li></ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Contamination permanente    | Manque d'étanchéité par rétrodiffusion du fait de: <ul style="list-style-type: none"><li>• matériaux poreux,</li><li>• matériels et raccords non étanches.</li></ul> Défaut de propreté ou matériaux mal adaptés pouvant provoquer: <ul style="list-style-type: none"><li>• adsorption et désorption gazeuse physique ou chimique,</li><li>• contamination particulaire lors du montage du matériel ou de son fonctionnement.</li></ul> | Sélection de matériels de mise en œuvre étanches et non polluants: soufflets ou membranes métalliques. Montage en salle blanche, emballage hermétique...<br><br>Choix de la nature et de la qualité des matériaux en contact avec le gaz, afin de minimiser tous risques de désorption.<br><br>Conception et réalisation soignées des lignes de mise en œuvre: soudures orbitales bout à bout (butt welding) sous balayage d'argon. Test d'étanchéité sous pression d'hélium.<br><br>Raccords démontables étanches à joints métalliques, entretien soigné (changement filtres...)<br><br>Traitements de surfaces internes appropriés du matériel et des canalisations: passivation électropolissage... |



### Quelques règles de mise en oeuvre

#### Principaux gaz

HF - SO<sub>2</sub> - NH<sub>3</sub> - HBr - Cl<sub>2</sub> - HCl - SiH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub> - BCl<sub>3</sub> - SiF<sub>4</sub> - BF<sub>3</sub> - F<sub>2</sub> - NO - NO<sub>2</sub>

Ces gaz ont une aptitude à attaquer chimiquement beaucoup de produits: métaux, matières synthétiques... Souvent non corrosifs quand ils sont secs et à température ambiante, une présence très faible d'humidité (quelques ppm) les rend extrêmement corrosifs. Ils sont également toxiques.

Afin d'augmenter la durée de vie des matériels de mise en oeuvre et de garantir la sécurité de l'environnement (fuites éventuelles) toute installation de gaz corrosifs doit respecter impérativement deux conditions:

1. Elle doit être exempte de toute trace d'humidité (teneur en eau < 5 ppm): ce qui implique des opérations de purges avant mise en service ainsi qu'avant et après chaque changement de bouteille.
2. Elle doit être parfaitement étanche (1 à 3 x 10<sup>-9</sup> mbar.l/s d'hélium) ce qui implique une conception très soignée des installations.

#### Purge

##### Utilisation d'un système de purge (ex. Té de purge)

*Gaz de purge:* argon, azote ou mélanges azote-hélium, argon-hélium très secs (teneur en eau < 2 ppm).

*Techniques de purge:*

par dilution ou par cycles de compression-détente.

##### Conception des lignes de mise en oeuvre

*Armoires ventilées:* Nous recommandons de placer bouteilles et tableau de distribution dans des armoires ventilées, chaque fois que la VME (valeur moyenne d'exposition) du produit est inférieure à 5 ppm. Lorsque la VME est supérieure à 5 ppm nous recommandons l'utilisation d'une hotte d'aspiration.

#### Choix des matériels (vannes, détendeurs):

Utiliser des matériels munis de membranes ou d'un soufflet en acier inoxydable; en cas de rupture il faut prévoir d'évacuer les gaz vers l'extérieur ou au mieux vers un système de neutralisation par l'intermédiaire d'un orifice approprié canalisable ou le raccordement des cloches de détendeur à des réseaux de purge. Certains matériels comportent une double barrière d'étanchéité

*Choix de matériaux:* n'utiliser que des matériaux compatibles avec les gaz concernés.

Choisir des nuances d'acier adéquates de type 316 L par exemple, qui facilite les soudures et réduit les risques de dépôts carbonés.

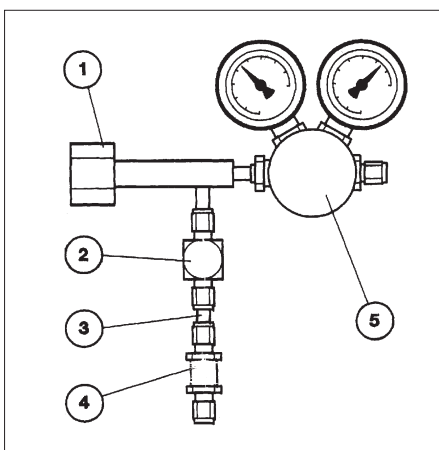
*Soudures:* les gaz corrosifs peuvent attaquer les soudures ou les zones ayant subi une chauffe importante (corrosions fissurantes); c'est pourquoi les soudures doivent être réalisées avec un soin extrême.

*Raccords démontables:* Les raccords métalliques à joint plat sont à préconiser (type VCR par exemple); ils peuvent être de natures diverses (nickel, inco-nel...).

*Etuvage:* l'intérêt du balayage en température par un gaz inerte d'une installation lors de la mise en service ou au redémarrage est démontré: le temps de purge est réduit et l'efficacité est augmentée.

#### Remarque:

Avec les gaz corrosifs haute pression (HCl par exemple) il ne faut jamais faire jouer au régulateur de pression le rôle d'une vanne de fermeture; il faut fermer la source de gaz (bouteille en général).



Détendeur DIM  
monté sur té de  
purge  
1. Raccord bouteille  
2. Vanne d'arrêt  
gaz de purge  
3. Tuyauterie de  
raccordement  
4. Clapet anti-retour  
5. Détendeur



### Rappels utiles sur l'équivalences

Pour transformer rapidement les mesures les plus couramment utilisées et pour passer du système anglo-saxon au système métrique:

|                    |                                                                                                                                                                                                                                           |
|--------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>longueur</b>    | 1 pied (ft) = 0,3048 m<br>1 pouce (in) = 2,540 cm<br>1 mile (mi) = 1,6093 km<br><br>1 Å = $10^{-10}$ m<br>1 μ = $10^{-6}$ m                                                                                                               |
| <b>surface</b>     | 1 pied carré (ft²) = 9,2903 dm²<br>1 pouce carré (in²) = 6,4516 cm²                                                                                                                                                                       |
| <b>volume</b>      | 1 pied cube (ft³) = 28,3166 litres<br>1 pouce cube (in³) = 16,3871 cm³<br>1 US gallon = 3,7854 litres                                                                                                                                     |
| <b>masse</b>       | 1 livre (Lb) = 0,4536 kg                                                                                                                                                                                                                  |
| <b>pression</b>    | 1 bar = 0,986923 atm = 750,08 mm de Hg ou torr<br>1 bar = 100 kPa = 14,504 PSI<br>1 kg/cm² = 0,981 bar = 0,987 atm = 736 mm de Hg<br>1 Atm = 1,013 bar = 1,033 kg/cm² = 760 mm de Hg<br>1 livre par pouce² (psi ou Lb/in²) = 70,306 g/cm³ |
| <b>énergie</b>     | 1 cal = 4,18 J<br>1 Fg = -1 kcal<br>1 Btu = 1005 J                                                                                                                                                                                        |
| <b>température</b> | $^{\circ}\text{C} = \frac{(\text{F} - 32)}{1,8} = \text{K} - 273,15$                                                                                                                                                                      |

### Table de correspondance Masse–Volume liquide–Volume gaz

|                           | kg                  | litre              | m³                 |
|---------------------------|---------------------|--------------------|--------------------|
| <b>Argon</b>              | 1<br>1,393<br>1,691 | 0,72<br>1<br>1,20  | 0,59<br>0,83<br>1  |
| <b>Hydrogène</b>          | 1<br>0,071<br>0,085 | 14,1<br>1<br>1,20  | 11,74<br>0,83<br>1 |
| <b>Azote</b>              | 1<br>0,808<br>1,185 | 1,24<br>1<br>1,47  | 0,84<br>0,68<br>1  |
| <b>Hélium</b>             | 1<br>0,125<br>0,169 | 8<br>1<br>1,35     | 5,92<br>0,74<br>1  |
| <b>Oxygène</b>            | 1<br>1,141<br>1,354 | 0,88<br>1<br>1,176 | 0,74<br>0,85<br>1  |
| <b>Néon</b>               | 1<br>1,21<br>0,85   | 0,83<br>1<br>0,70  | 1,17<br>1,42<br>1  |
| <b>Dioxyde de carbone</b> | 1<br>1,178<br>1,874 | 0,85<br>1<br>0,628 | 0,53<br>1,590<br>1 |
| <b>Propane</b>            | 1<br>0,505<br>1,830 | 1,98<br>1<br>3,624 | 0,55<br>0,276<br>1 |
| <b>Ammoniac</b>           | 1<br>0,678<br>0,731 | 1,47<br>1<br>1,078 | 1,37<br>0,927<br>1 |



|                           | Cuivre | Latron | Aluminium | Acier | Acier inoxydable | Hastelloy | Monel | Kel F | Neoprène | Nylon | Viton | Teflon | Ethylène-propylène | Silicone |
|---------------------------|--------|--------|-----------|-------|------------------|-----------|-------|-------|----------|-------|-------|--------|--------------------|----------|
| Acétylène                 | *      | ⊞      | •         | •     | •                | •         | •     | ⊞     | *        | •     | ⊞     | •      | •                  | •        |
| Ammoniac                  | *      | *      | ⊞         | ⊞     | •                | •         | •     | •     | ⊞        | *     | •     | •      | •                  | ⊞        |
| Argon                     | •      | •      | •         | •     | •                | •         | •     | •     | •        | •     | •     | •      | •                  | ⊞        |
| Arsine                    | *      | ⊞      | *         | •     | •                | •         | •     | •     | •        | •     | •     | •      | •                  | ⊞        |
| Azote                     | •      | •      | •         | •     | •                | •         | •     | •     | •        | •     | •     | •      | •                  | ⊞        |
| Bromure d'hydrogène       | *      | *      | ⊞         | •     | •                | •         | •     | •     | *        | ⊞     | •     | •      | •                  | •        |
| 1,3-Butadiène             | •      | •      | •         | •     | •                | •         | •     | •     | ⊞        | •     | ⊞     | •      | •                  | •        |
| n-Butane                  | •      | •      | •         | •     | •                | •         | •     | •     | •        | •     | •     | •      | •                  | •        |
| Butène-1                  | •      | •      | •         | •     | •                | •         | •     | •     | ⊞        | •     | •     | •      | •                  | •        |
| Butène 2-cis              | •      | •      | •         | •     | •                | •         | •     | •     | ⊞        | •     | •     | •      | •                  | •        |
| Butène 2-trans            | •      | •      | •         | •     | •                | •         | •     | •     | ⊞        | •     | •     | •      | •                  | •        |
| 1-Butyne                  | •      | •      | •         | •     | •                | •         | •     | •     | ⊞        | •     | •     | •      | •                  | •        |
| Chlore                    | *      | *      | *         | ⊞     | ⊞                | •         | •     | •     | *        | •     | •     | •      | •                  | •        |
| Chlorure d'hydrogène      | *      | *      | *         | ⊞     | ⊞                | •         | •     | •     | •        | ⊞     | ⊞     | •      | •                  | •        |
| Deutérium                 | •      | •      | •         | •     | •                | •         | •     | •     | •        | •     | •     | •      | •                  | ⊞        |
| Diborane                  | •      | •      | ⊞         | •     | •                | •         | •     | •     | •        | •     | •     | •      | •                  | •        |
| Dichlorosilane            | *      | *      | *         | ⊞     | ⊞                | •         | •     | •     | *        | •     | •     | •      | •                  | •        |
| Dioxyde d'azote           | •      | •      | •         | •     | •                | •         | •     | •     | •        | *     | •     | •      | •                  | •        |
| Dioxyde de carbone        | ⊞      | ⊞      | •         | ⊞     | •                | •         | •     | •     | •        | *     | •     | •      | •                  | ⊞        |
| Dioxyde de soufre         | *      | *      | ⊞         | ⊞     | •                | •         | •     | •     | •        | •     | •     | •      | •                  | •        |
| Ethane                    | •      | •      | •         | •     | •                | •         | •     | •     | •        | •     | •     | •      | •                  | •        |
| Ethylène                  | •      | •      | •         | •     | •                | •         | •     | •     | •        | •     | •     | •      | •                  | •        |
| Hélium                    | •      | •      | •         | •     | •                | •         | •     | •     | •        | •     | •     | •      | •                  | ⊞        |
| Hexafluorure de soufre    | •      | •      | •         | •     | •                | •         | •     | •     | •        | •     | •     | •      | •                  | •        |
| Hexafluorure de tungstène | ⊞      | •      | •         | ⊞     | ⊞                | •         | •     | •     | •        | •     | •     | •      | •                  | •        |
| Hydrogène                 | •      | •      | •         | •     | •                | •         | •     | ⊞     | •        | •     | •     | ⊞      | •                  | ⊞        |
| iso-Butane                | •      | •      | •         | •     | •                | •         | •     | •     | •        | •     | •     | •      | •                  | •        |
| iso-Butène                | •      | •      | •         | •     | •                | •         | •     | •     | •        | •     | •     | •      | •                  | •        |
| Krypton                   | •      | •      | •         | •     | •                | •         | •     | •     | •        | •     | •     | •      | •                  | •        |
| Méthane                   | •      | •      | •         | •     | •                | •         | •     | •     | •        | •     | •     | •      | •                  | •        |
| Monoxyde d'azote          | *      | *      | *         | ⊞     | ⊞                | •         | •     | •     | ⊞        | •     | •     | •      | •                  | •        |
| Monoxyde de carbone       | •      | •      | •         | ⊞     | •                | •         | •     | •     | *        | •     | •     | •      | •                  | •        |
| Néon                      | •      | •      | •         | •     | •                | •         | •     | •     | •        | •     | •     | •      | •                  | •        |
| Oxyde d'éthylène          | *      | *      | •         | •     | •                | •         | •     | •     | •        | •     | •     | •      | •                  | •        |
| Oxygène                   | •      | •      | •         | •     | •                | •         | •     | •     | *        | ⊞     | ⊞     | •      | •                  | •        |
| Phosphine                 | *      | ⊞      | *         | •     | •                | •         | •     | •     | •        | •     | •     | •      | •                  | •        |
| Propadiène                | •      | •      | •         | •     | •                | •         | •     | ⊞     | ⊞        | ⊞     | •     | •      | •                  | •        |
| Propane                   | •      | •      | •         | •     | •                | •         | •     | •     | •        | •     | •     | •      | •                  | •        |
| Propène                   | •      | •      | •         | •     | •                | •         | •     | •     | ⊞        | •     | •     | •      | •                  | •        |
| Protoxyde d'azote         | •      | •      | •         | •     | •                | •         | •     | •     | •        | *     | •     | •      | •                  | •        |
| Silane                    | •      | •      | •         | •     | •                | •         | •     | •     | •        | •     | •     | •      | •                  | •        |
| Sulfure de carbonyle      | •      | •      | •         | •     | •                | •         | •     | •     | •        | •     | •     | •      | •                  | •        |
| Sulfure d'hydrogène       | *      | *      | •         | •     | •                | •         | •     | •     | •        | •     | •     | •      | •                  | •        |
| Tétrafluorométhane        | •      | •      | •         | •     | •                | •         | •     | •     | •        | •     | •     | •      | •                  | •        |
| Trichlorure de bore       | •      | *      | •         | •     | •                | •         | •     | ⊞     | •        | •     | •     | •      | •                  | •        |
| Trifluorure d'azote       | ⊞      | •      | •         | ⊞     | •                | •         | •     | •     | •        | •     | •     | •      | •                  | •        |
| Trifluorure de bore       | ⊞      | ⊞      | ⊞         | ⊞     | •                | •         | •     | ⊞     | •        | •     | •     | •      | •                  | •        |
| Xénon                     | •      | •      | •         | •     | •                | •         | •     | •     | •        | •     | •     | •      | •                  | •        |

• compatible

⊞ compatible dans certaines conditions

\* à proscrire

