

Chapitre 2 :

Procédés de séparation et de purification des fluides cryogéniques

1. Introduction : A propos de fluides cryogéniques

Comme on l'a vu dans le chapitre 1, la **cryogénie** recouvre l'ensemble des techniques permettant de refroidir un échantillon (macroscopique) de matière bien en deçà de la température ambiante.

La façon la plus aisée de refroidir et de maintenir aux **basses températures** un objet ou une expérience (atteindre des températures bien plus froides que 0 °C) demeure l'utilisation de **fluides cryogéniques (cryogènes ou cryofluides)**, provenant de gaz liquéfiés par procédés industriels.

Un **refroidissement par fluide cryogénique** :

- est extrêmement simple à mettre en œuvre
- ne comporte aucune pièce mécanique (hormis le container).

Mais, il faut constamment réapprovisionner l'expérience en fluide cryogénique, ce qui devient vite contraignant ...



développer des **machines frigorifiques (cryostat à pulse-tube)**, pouvant fonctionner en continu sans fluide cryogénique, qui sont moins contraignantes mais d'emploi plus compliqué.

➤ Fluides cryogéniques ?

Les **fluides cryogéniques** sont des gaz liquéfiés conservés à l'état liquide à basse température. Le terme **cryogénique** signifie produisant du froid ou en rapport avec les basses températures ; tous les **fluides cryogéniques** sont extrêmement froids.

Les points d'ébullition des **fluides cryogéniques** sont **< -150 °C**.

Tous les **fluides cryogéniques** sont des gaz aux températures et pressions normales. Il faut les refroidir sous la température ambiante avant de pouvoir les liquéfier par compression. Les divers gaz cryogéniques se liquéfient dans différentes conditions de température et de pression, mais tous ont les deux propriétés suivantes :

- Ils sont extrêmement froids
- De petites quantités de liquide peuvent occuper de très grands volumes en passant à l'état gazeux.

➤ Différents types de liquides cryogéniques :

Chacun des fluides cryogéniques est caractérisé par des propriétés spécifiques, mais on peut classer la plupart d'entre eux dans l'une des trois catégories ci-dessous :

- **Gaz inertes** : Ces gaz ne réagissent pas chimiquement de façon appréciable, et ils n'entretiennent pas non plus la combustion. Exemples : l'**azote**, l'**hélium**, le **néon**, l'**argon** et le **krypton**.
- **Gaz inflammables** : Certains liquides cryogéniques libèrent un gaz qui peut brûler dans l'air, comme l'**hydrogène**, le **méthane** et le **gaz naturel** liquides.
- **Oxygène** : De nombreuses matières considérées comme non combustibles peuvent brûler en présence d'oxygène liquide; par exemple, il peut y avoir une réaction explosive entre ce dernier et des matières organiques.

Mais, les **fluides cryogéniques** les plus fréquemment utilisés sont :

l'**azote liquide (N₂)** entre 100 et 65 K,

l'**hydrogène liquide (H₂)** entre 30 et 15 K,

l'**hélium (⁴He) liquide** entre 5 et 1 K,

ainsi que le **néon**, le **xénon** et l'**hélium (³He) liquides**, Fluides présentant des propriétés intéressants pour certaines applications spécifiques.

L'azote est extrait de l'air par un processus cryogénique.

Il est ensuite utilisé :

- soit sous forme gazeuse pour fournir une atmosphère inerte nécessaire aux procédés chimiques, métallurgiques, à l'élaboration de composants électroniques ou pour les emballages en atmosphère neutre. Dans ce cas, il est très souvent stocké sous forme liquide (1 L liquide \approx 650 L de gaz), avant d'être vaporisé ;
- comme réfrigérant, sous forme liquide, par exemple :
 - ➔ dans les équipements électroniques (refroidissement de détecteurs infrarouge, de laser),
 - ➔ dans l'industrie alimentaire (refroidissement très rapide des aliments, surgélation, maintien de la température pendant leur transport),
 - ➔ en génie civil (gel de sols meubles avant excavation).

La température d'ébullition de l'azote liquide saturée (à 1 bar) = 77.3 K.

Dans cet état : la densité du liquide = 808.9 kg/m³

l'enthalpie de vaporisation = 198.3 kJ/kg.

L'azote liquide se solidifie à 63.2 K.

➤ Propriétés des fluides cryogéniques :

Gaz	Point d'ébullition (°C)	Volume d'expansion du gaz
Acétylène	-84	-
Acide chlorhydrique	-85	-
Azote	-195	696 à 1
Argon	-185	847 à 1
Dioxyde de carbone	-78	553 à 1
Hélium 3	-269	757 à 1
Hélium 4	-268	757 à 1
Hydrogène	-252	851 à 1
Méthane	-161	578 à 1
Monoxyde de carbone	-192	
Oxygène	-183	860 à 1
Trifluorure de bore	-100	

(Source : http://www.technobio.fr/pages/Les_fluides_cryogeniques-2051357.html)

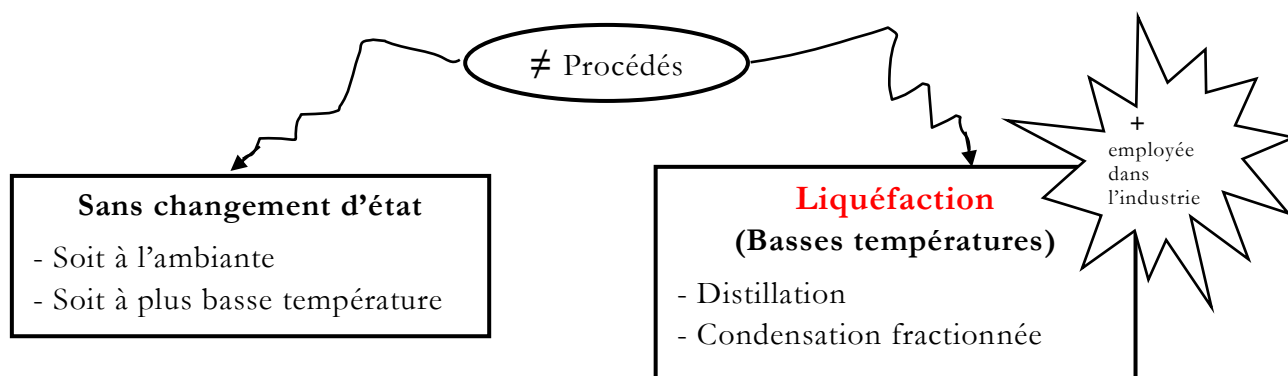
(Source : http://www.technobio.fr/pages/Les_fluides_cryogeniques-2051357.html)

2. Procédés de séparation des fluides cryogéniques

La séparation des mélanges gazeux à l'aide de la cryogénie s'applique à tout un ensemble de molécules dont le point d'ébullition se situe entre -40 °C et -270 °C . Elle peut faire référence à un certain nombre de techniques utilisées pour séparer des gaz entre eux :

- soit pour donner plusieurs produits,
- soit pour purifier un seul produit.

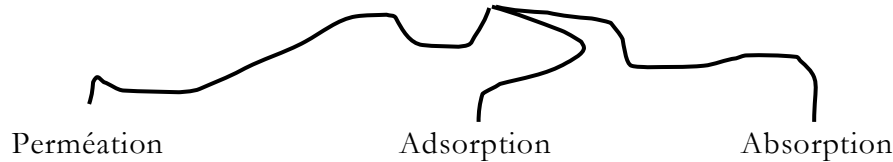
Plusieurs procédés peuvent être utilisés pour la séparation des fluides cryogéniques :



- Une partie des produits de la séparation demandée à l'état liquide
- Combinaison : séparation + liquéfaction



- Les mélanges gazeux les plus concernés sont l'air et le gaz naturel (GN).
- Dans d'autres cas, la liquéfaction est une fin en soi :
 - Cas du gaz naturel (GN) pour son transport par voie maritime.
 - Cas de l'hydrogène pour son utilisation comme carburant de fusées.
- En plus de la distillation et de la condensation fractionnée, autres techniques de séparation, les plus utilisées industriellement, peuvent être utilisées :



2.1. Distillation cryogénique

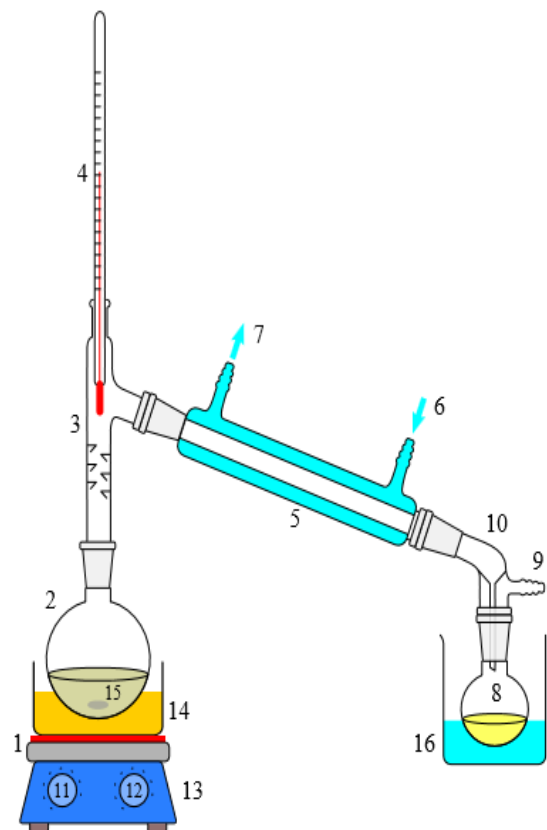
➤ La distillation

La **distillation** est un **procédé de séparation** de mélange de substances liquides dont les températures d'ébullition sont différentes.

Elle permet de séparer les constituants d'un mélange homogène. Sous l'effet de la chaleur ou d'une faible pression (loi des gaz parfaits), les substances se vaporisent successivement, et la vapeur obtenue est liquéfiée pour donner le distillat.

Dès le **XVIII^e siècle**, des opérations de distillation sont réalisées dans l'industrie pour obtenir entre autres du coke à partir de la houille, ou des gaz manufacturés.

Ces opérations doivent être plus justement appelées pyrolyse : le terme **pyrolyse** est apparu probablement au **XIX^e siècle** pour distinguer les **opérations de décomposition** ou **thermolyse**, d'un composé organique par la chaleur pour obtenir d'autres produits (gaz et matière) qu'il ne contenait pas : dans la pyrolyse, le matériau est détruit.



Distillation simple

1. Source de chaleur (ici, un bec Bunsen).
2. Ballon à distiller
3. Tête de distillation
4. Thermomètre
5. Réfrigérant à eau
6. Entrée d'eau de refroidissement
7. Sortie d'eau de refroidissement
8. Ballon de réception des gouttes de distillat
9. Vers une pompe à vide éventuelle
10. Adaptateur pour la pompe à vide

(Source :

https://fr.wikipedia.org/wiki/Distillation#/media/Fichier:Simple_distillation_apparatus.svg)

- **La distillation cryogénique** est réalisée sur un gaz liquéfié. Le gaz est comprimé puis décomprimé rapidement, ce qui le refroidit et le liquéfie. En réchauffant progressivement ce gaz devenu liquide et en jouant sur les températures d'ébullition différentes, ses différents composants sont séparés.

Distillation cryogénique de l'O₂ :

L'air est composé de :

(Voir Cours Pollution : Air, Eau, Sol' (L3_GP_Semestre 5))

78% (N₂) (78%)

+ 21% (O₂) 1% (gaz en faibles proportions : CO₂, Ar, Ne, He...)

+ Vapeur d'eau.

Température de liquéfaction de l'O₂ = - 183°C ➡ > + 13 °C à celle de l'N₂ liquide (= - 196 °C) ➡ possibilité d'isoler l'O₂ sous sa forme liquide par une **distillation cryogénique** !

Liquéfaction du GN :



Pour transformer du GN (gaz naturel) en GNL (gaz naturel liquéfié), il faut le refroidir à une température d'environ - 160 °C.



Des gazoducs l'acheminent du site d'extraction vers une usine de liquéfaction proche, où il passe par plusieurs étapes :

Traitement, Refroidissement & Stockage

Train de liquéfaction de gaz naturel à l'usine de Balhaf, au Yémen.

(Source :

https://www.planete-energies.com/sites/default/files/styles/media_full_width_940px/public/thumbnails/image/36958_0_0.jpg?itok=sbulvAsh)

- Le traitement :

Après son extraction, le gaz naturel contient des composés (eau, mercure, ..) qu'il faut éliminer pour respecter les conditions de commercialisation et préparer l'étape de liquéfaction.

Certains composés présents risquent de corroder ou d'altérer les installations et de provoquer des dépôts lors de la liquéfaction à très basse température.

- Le refroidissement :

Après un premier refroidissement du gaz, une distillation sépare les hydrocarbures (propane, butane, gaz de pétrole liquéfié, ..);

Propane & Butane ➡ rejoignent la filière du **GPL**.

Gaz de pétrole liquéfié ➡ peut être utilisé comme carburant.

Le gaz passe ensuite dans une succession d'échangeurs thermiques qui, suite à plusieurs étapes de refroidissement, abaissent sa température jusqu'à -160 °C et l'amènent à l'état liquide.

Ces refroidissements sont obtenus par échange thermique avec un ou plusieurs fluides hydrocarbures tournant en circuit fermé.

- **Le stockage :**

Le gaz naturel liquide est environ 600 fois moins volumineux que sous forme gazeuse aux conditions ambiantes, tout en conservant les mêmes propriétés il est :

- incolore,
- non toxique,
- ininflammable en absence d'oxygène.

Le **stockage** se fait à pression atmosphérique dans de **grands réservoirs**, dans l'attente de son chargement à bord des **méthaniers**.

Les **usines de liquéfaction** sont situées au plus près des zones de production.

Lorsque le gaz est produit en mer, il est souvent amené à terre par **gazoduc**.

Mais récemment, des systèmes de liquéfaction **offshore** font l'objet de développement.

Les équipements qui permettent de produire le GNL sont appelés **trains de liquéfaction**.

➤ **Condensation fractionnée :** Lors d'une **séparation par condensation fractionnée**, le mélange gazeux est refroidi en plusieurs étapes au cours desquelles les fractions condensées sont retirées. Pour des molécules dont la phase liquide n'est pas stable à pression atmosphérique comme le CO_2 , la condensation peut être directement sous forme solide et nécessite un grattage régulier du support.

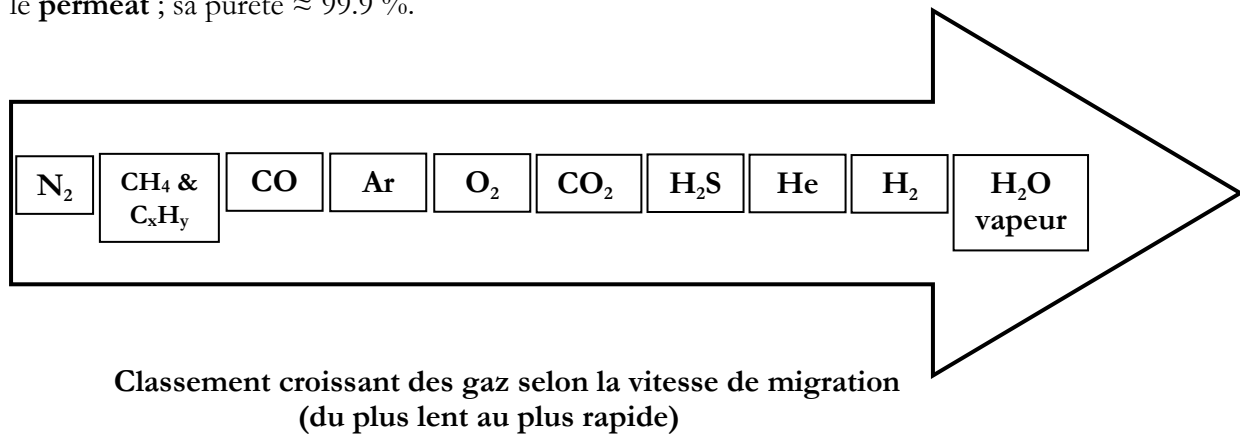
2.2. Perméation

La **séparation par perméation** est une technique de **séparation** de gaz **par membrane** dites **semi-perméables** avec la propriété d'être traversées plus facilement par certaines molécules que par d'autres : il s'agit de ce que l'on appelle **perméation sélective**.

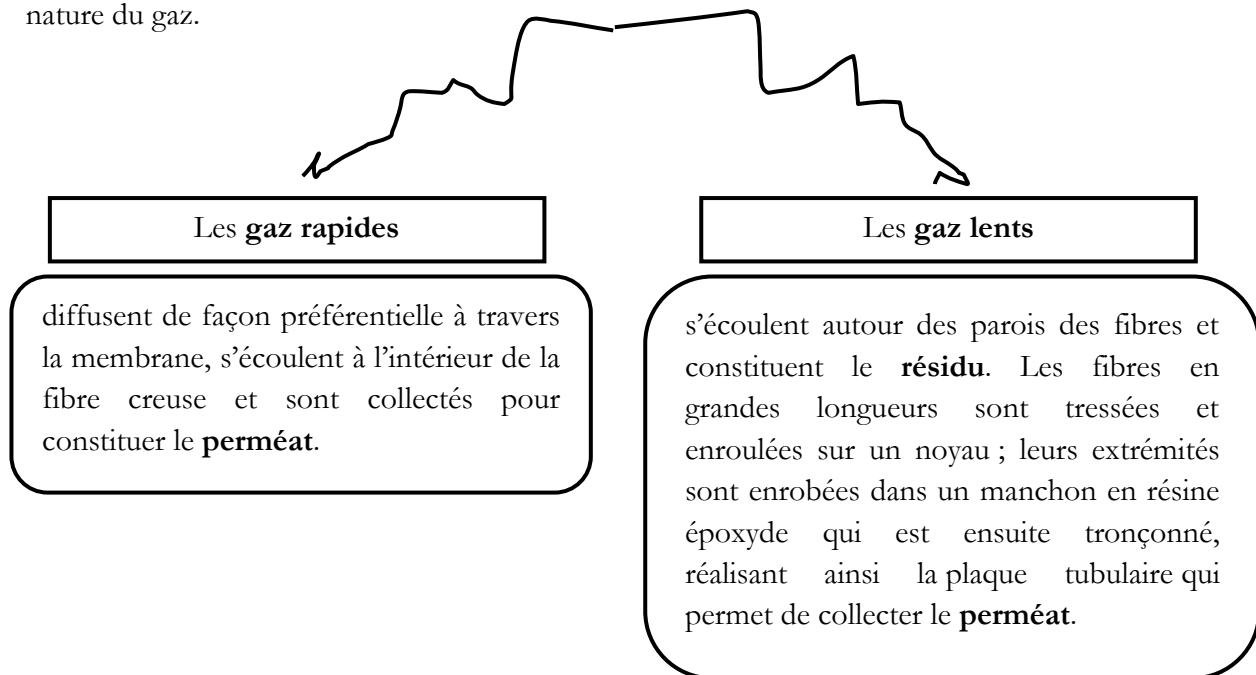
La **sélectivité de la membrane** est assurée par une peau très fine supportée par une sous couche de même nature mais plus poreuse, ou de nature différente (membrane composite) qui assure la résistance mécanique de l'ensemble.

L'épaisseur de la peau = $1/100\text{ }\mu\text{m} \div 1\text{ }\mu\text{m}$, pour une épaisseur totale de la membrane = $25 \div 250\text{ }\mu\text{m}$.

La **sélectivité** n'est pas uniquement fonction de la taille des molécules, qui joue cependant un rôle majeur quand les tailles sont très différentes : cas de l'obtention d'hydrogène pur à partir de mélanges contenant N_2 , CH_4 , CO , Ar , etc. L'hydrogène qui a traversé la membrane constitue le **perméat** ; sa pureté $\approx 99.9\%$.



Les **gaz** ont la tendance à migrer au travers des membranes avec une vitesse qui dépend de la nature du gaz.



Les **membranes de perméation** sont denses et exclusivement polymériques* (élastomères, plastomères vitreux, polymères semi-cristallins ou polymères semi rigides).

La **perméation gazeuse** est une bonne technique pour concentrer un produit mais elle est moins adaptée à l'obtention de puretés importantes.



* Les **polymères** constituent une classe de matériaux. D'un point de vue chimique, un **polymère** est un ensemble constitué de plusieurs macromolécules (molécule constituée de la répétition de nombreuses sous-unités). Les polymères les plus connus sont : les fibres naturelles, les matières plastiques, les caoutchoucs naturels (latex) et artificiels, les colles, les peintures, les résines, ...

(Ref : <https://fr.wikipedia.org/wiki/Polym%C3%A8re>)

Les principales applications industrielles sont :

- La récupération d'hydrogène de gaz de purge de production d'ammoniac ou de raffinage.
- La déshydratation de l'air.
- La déshydratation d'hydrocarbures.
- La purification de gaz naturel (GN).
- La préparation d'air enrichi en oxygène.

La perméation gazeuse présente :

- Une faible consommation énergétique.
- Un appareillage compact  facile à installer.
- Une automatisation facile  installation de petites unités décentralisées.
- Une grande sécurité de fonctionnement.

(Ref : <http://processs.free.fr/Pages/VersionWeb.php?page=3110#menuright>)

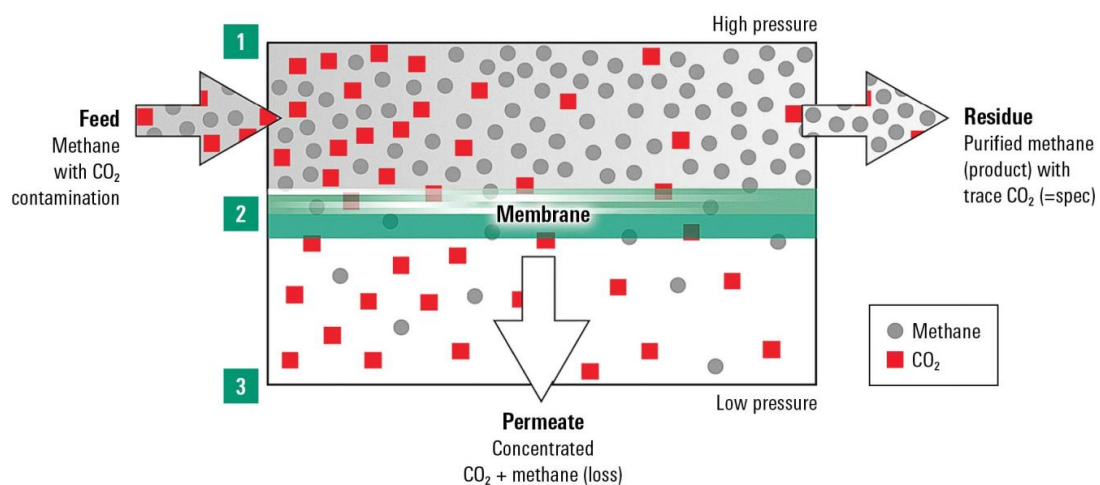
Sur la figure ci-dessous :

Le gaz d'alimentation (ex : CH₄) pénètre par le côté de la membrane enroulée en spirale, permettant aux plus petites molécules (ex : CO₂) de traverser les multiples couches de manière transversale.

Elles pénètrent ensuite dans le tube central perforé à plus basse pression.

Le flux de gaz à haute pression (High pressure) non perméable, riche en hydrocarbures et épuisé en CO₂, s'écoule vers la section suivante des modules à membranes pour répéter ce processus jusqu'à ce que les spécifications nécessaires du gaz produit soient respectées.

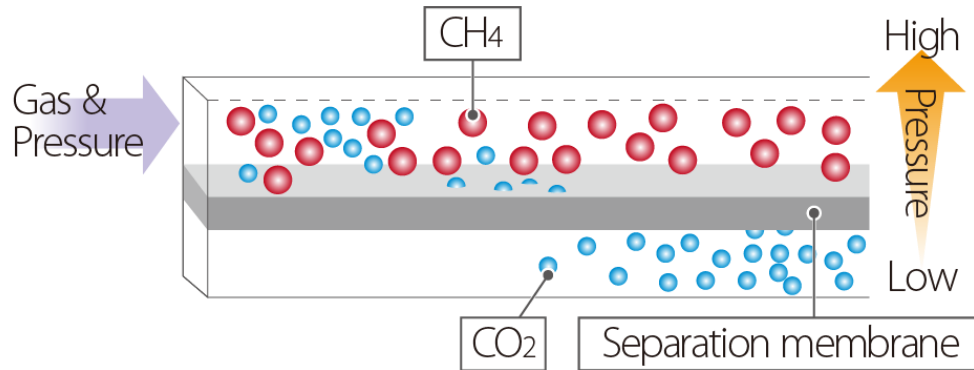
Le flux de perméat riche en CO₂ à basse pression (Low pressure) est collecté dans le tube perforé central et acheminé vers l'emplacement souhaité en tant que flux de déchets.



(Source : https://www.slb.com/-/media/images/osf/gas-treatment/apura_max.ashx?h=958&w=2068&la=en&hash=F83D251BEACE69B124E28B6B5A6F432D)

Sur la figure ci-dessous :

Lors d'une **purification des gaz** à l'aide d'une membrane de séparation, la différence de pression partielle à travers la membrane provoque une **perméation** du gaz tout en ne laissant passer que le gaz cible.



(Source : http://fujifilm.in/Documents/Innovation/Landing/Technology/separation_of_gases/img/index/1/pic_02.png)

3. Vanne de Joule Thomson

En parlant toujours de cryogénie mais, cette fois-ci, de quelques grandes dates historiques :

En 1783 et 1784, **Gaspard Monge & Jean François Cluot** inventent la liquéfaction de l'anhydride sulfureux (SO₂) par refroidissement (à - 8 °C).

➡ Liquéfaction par refroidissement

En 1792, **Martin van Marum** réalise la première liquéfaction de l'ammoniac (NH₃) à température ordinaire par simple compression (à 5 °C et 7.3 bars).

➡ Liquéfaction par compression

En effet, la façon la plus simple de liquéfier un gaz est d'augmenter sa pression à température ambiante jusqu'à atteindre les conditions où l'état stable est l'état liquide.

La température critique de l'ammoniac est de 132 °C, sa pression de condensation = 10 atm (à 26 °C). Il suffit donc d'augmenter la pression de l'ammoniac au delà de 10 atm sans dépasser 26 °C de température pour l'obtenir dans l'état liquide.

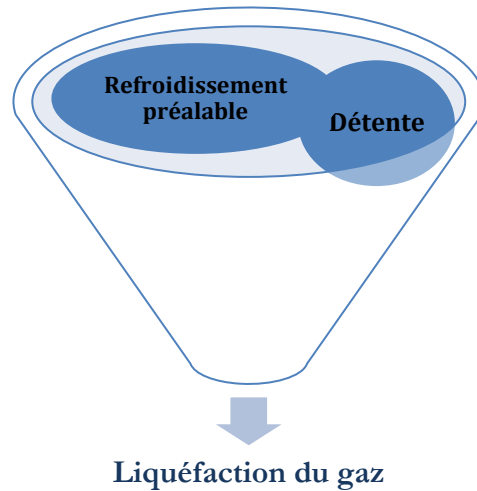
Par contre il en va autrement pour de nombreux autres gaz dont la température critique est inférieure à l'ambiante. Par exemple, la température critique de l'air = -140.6 °C. Aucune condensation ne sera donc possible sans abaisser sa température en dessous de cette valeur.

Pour ces gaz, il faudra donc faire appel à des machines frigorifiques pour abaisser la température en dessous de l'ambiante.

En 1852, **James Prescott Joule & William Thomson (Lord Kelvin)** découvrent que la détente d'un gaz réel à travers **une vanne** provoque un refroidissement brusque, ce qu'on appelle l'**effet Joule-Thomson** ou encore **détente Joule-Thomson** (ou bien **détente Joule-Kelvin**).

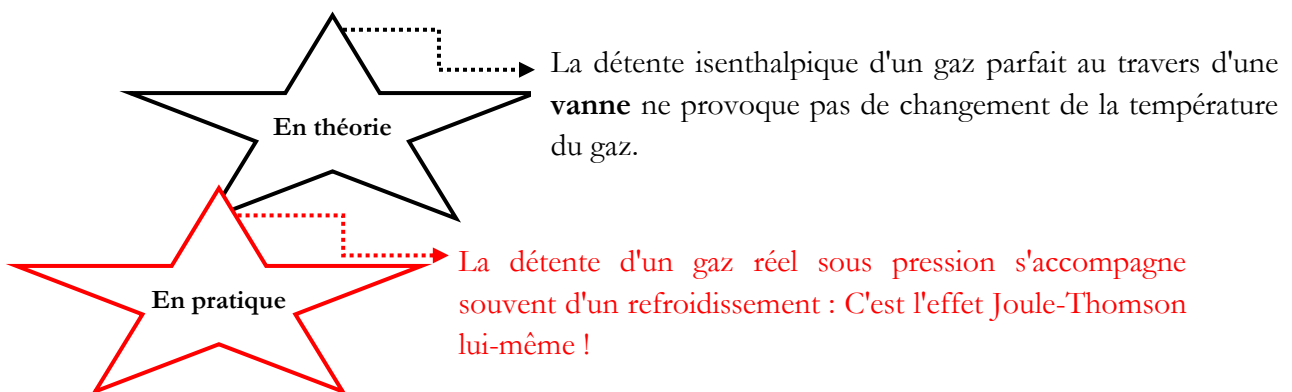
➡ Liquéfaction par détente

En 1869, **Thomas Andrews** découvre l'existence de la **température critique** et reconnaît la continuité des états liquide et gazeux. Il montre qu'il est impossible de liquéfier un gaz au-dessous de sa température critique (**point de liquéfaction**), même en augmentant sa pression infiniment.



➤ Principe de l'effet Joule-Thomson

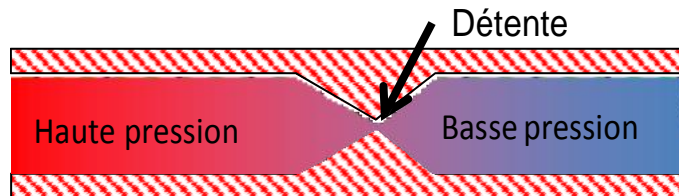
Joule & Thomson ont mis en évidence qu'un gaz réel soumis à une détente isenthalpique pouvait sous certaines conditions de pression et de température voir leur température baisser. Ce phénomène n'était pas prédit par la théorie des gaz parfaits, puisque l'enthalpie d'un gaz parfait ne dépend que de la température et donc, à enthalpie constante, la température d'un gaz parfait est constante.



L'effet Joule-Thomson est largement utilisé pour refroidir de nombreux gaz à de très basses températures, tels que leur liquéfaction devient possible !

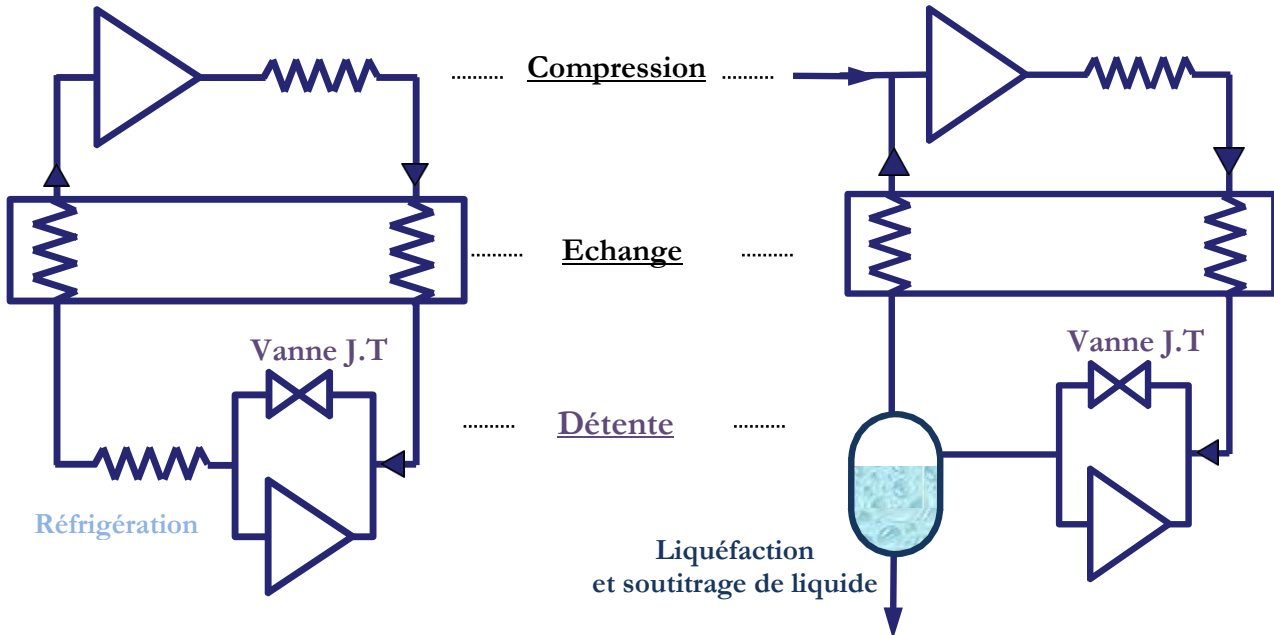
Alors :

- Parler de la détente Joule-Thomson c'est parler d'une détente à travers une vanne dite **vanne de Joule Thomson** (ou encore **vanne J.T**)!
- La détente de **Joule Thomson** est une brusque chute de pression lors du passage du fluide à travers un orifice.



(Source : http://formation.in2p3.fr/accélérateurs16/Introduction_cryogenie_2016.pdf)

- On retrouve **une vanne J.T** dans les deux cycles suivants :



Cycle de réfrigération

Cycle de liquéfaction

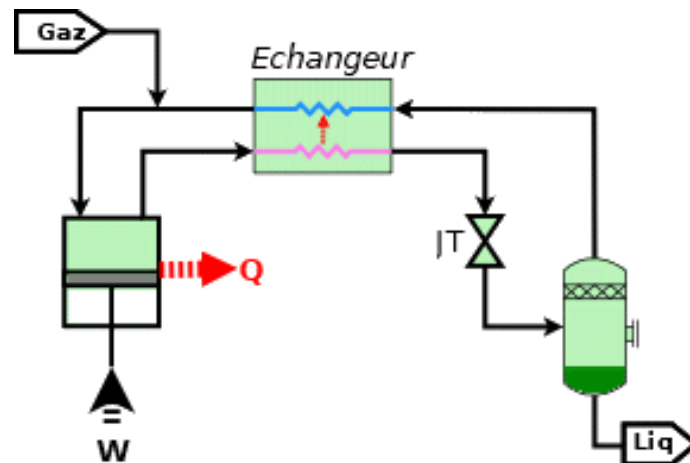
(Source : http://formation.in2p3.fr/accélérateurs16/Introduction_cryogenie_2016.pdf)

Outre, le phénomène en question a été mis à profit par **Carl von Linde** en 1895 pour liquéfier l'air. Ce cycle frigorifique est depuis appelé **Cycle de Linde** (voir le dernier titre de ce chapitre & le Chapitre 3, également).

Dans ce procédé, le gaz est comprimé à haute pression et est refroidi à température ambiante. Puis il est refroidi aussi près que possible de la température du gaz liquéfié dans un échangeur à contre-courant avec le gaz non liquéfié à basse pression.

Le gaz haute pression froid est détendu dans **une vanne** où l'abaissement de température supplémentaire est suffisant pour le liquéfier partiellement.

Le liquide est séparé et le gaz est retourné au compresseur après avoir assuré le refroidissement du gaz haut pression.



Cycle à détente isenthalpique de Joule-Thomson

(Source : <http://processs.free.fr/Mementos/images/DetenteJT-pcf.png>)

➤ Diagrammes enthalpiques :

Le comportement d'un gaz réel lors d'une détente se déduit des diagrammes enthalpiques.

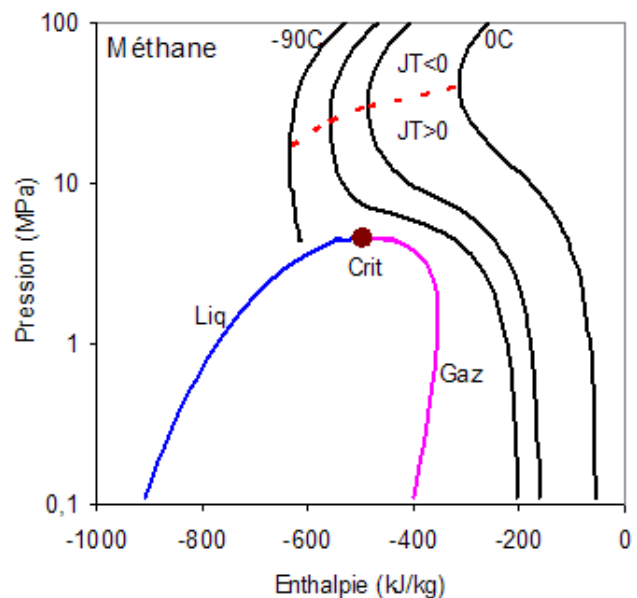
Le diagramme P-h (Pression-Enthalpie) montre l'évolution de l'enthalpie d'un gaz en fonction de sa pression et de sa température.

En effet :

- Pour les faibles pressions et les températures très éloignées de la température critique du gaz : l'enthalpie dépend peu de la pression et dépend surtout de la température (la courbe isotherme est quasiment verticale dans le diagramme).



La température ne changera donc pratiquement pas lors d'une détente isenthalpique. Le gaz se comporte quasiment comme un gaz parfait.



(Source : http://processs.free.fr/Mementos/images/PH-JT_methane.GIF)

- **Pour les pressions élevées ou les températures proches du point critique :**

L'enthalpie varie avec la pression même si la température est constante (la courbe isotherme n'est plus verticale dans le diagramme).

➡ Une détente isenthalpique provoquera une variation de température du gaz.

- **Pour les pressions les plus élevées :**

La détente isenthalpique provoquera une augmentation de la température, tandis que **pour les pressions plus proches du point critique**, elle provoquera une diminution de la température.

Le phénomène s'inverse à une certaine pression : C'est le point d'inversion du coefficient de Joule-Thomson. Il dépend bien sûr de la nature du gaz mais aussi de la température.

Le point d'inversion du phénomène est intéressant à connaître car si l'objectif de la détente est de refroidir le gaz, il sera inutile de le porter à une pression supérieure à ce point d'inversion. On obtiendrait l'inverse du but recherché !

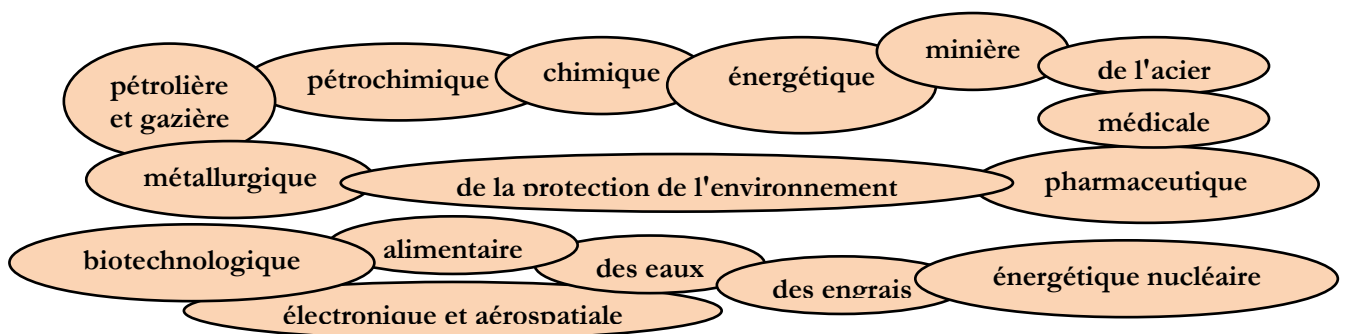
4. Procédés de séparation de l'air

La séparation des mélanges gazeux peut faire référence à un certain nombre de techniques utilisées pour séparer des gaz entre eux (Voir début de ce chapitre 2). Parmi les mélanges gazeux les plus concernés, on retrouve l'air.

La **distillation cryogénique** (Voir début de ce chapitre 2) n'est généralement utilisée que pour des volumes très élevés en raison de sa relation non linéaire coûts-échelle, ce qui rend le procédé plus économique à plus grande échelle. Pour cette raison, elle est généralement utilisée uniquement pour la **séparation des composants de l'air**.

Les gaz de l'air sont fréquemment utilisés dans le secteur industriel. Ces gaz (principalement l'oxygène et l'azote) peuvent être traités et séparés grâce à des **pompes cryogéniques** et des **échangeurs de chaleur brasés** ultra performants.

Toutes les principales sociétés de gaz industriels produisent et commercialisent des gaz et liquides variés produits dans des usines de séparation de l'air. Ces usines, à l'aide d'une méthode de **distillation cryogénique** (Voir début de ce chapitre), divisent l'air atmosphérique en ses différents composants : l'**azote (N₂)** et l'**oxygène (O₂)**, l'**argon (Ar)** et d'**autres gaz inertes rares**. L'**oxygène (O₂)** et l'**azote (N₂)** sont employés pour de nombreux usages et pour un large éventail de différents secteurs industriels dont les industries :



- Production de carburant liquide de synthèse à partir de charbon (CTL) ou de gaz naturel (GTL).
- Production d'acier.
- Liquéfaction d'azote pour la distribution.
- Industries papetière et du verre.
- Extraction de cuivre et d'or à partir du minerai.
- Production d'engrais.
- Production de puces électroniques.

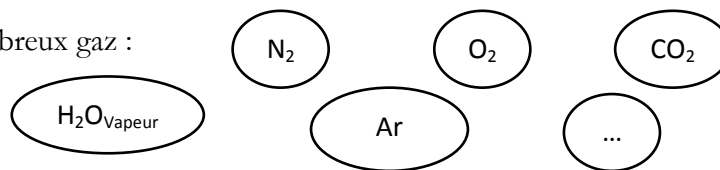
(Source : <https://cryogenics-energy.fivesgroup.com/fr/application/production-de-gaz-industriel/separation-de-lair.html>)

➤ Équipements :

Les échangeurs de chaleur brasés et les pompes cryogéniques font partie intégrale des procédés cryogéniques de séparation des gaz de l'air.

Les échangeurs de chaleur brasés, dont certains sont reliés aux colonnes de distillation, sont intégrés dans des coffrages métalliques, habituellement appelés boîtes froides, et peuvent contenir la tuyauterie et le revêtement isolant et protègent l'équipement des éléments externes comme la pluie etc.

- L'air est composé de nombreux gaz :



- On peut liquéfier l'air en abaissant sa température ...

...  Son stockage est plus facilement

- L'industrie sépare les constituants de l'air par distillation (voir début de ce chapitre 2).
- Chaque gaz est récupéré quand sa température d'ébullition est atteinte. Pur, le gaz isolé peut alors être à nouveau liquéfié si nécessaire.

➤ Deux procédés principaux pour la séparation de l'air :

En réalité, il y a deux procédés principaux pour la séparation de l'air :



Procédé cryogénique

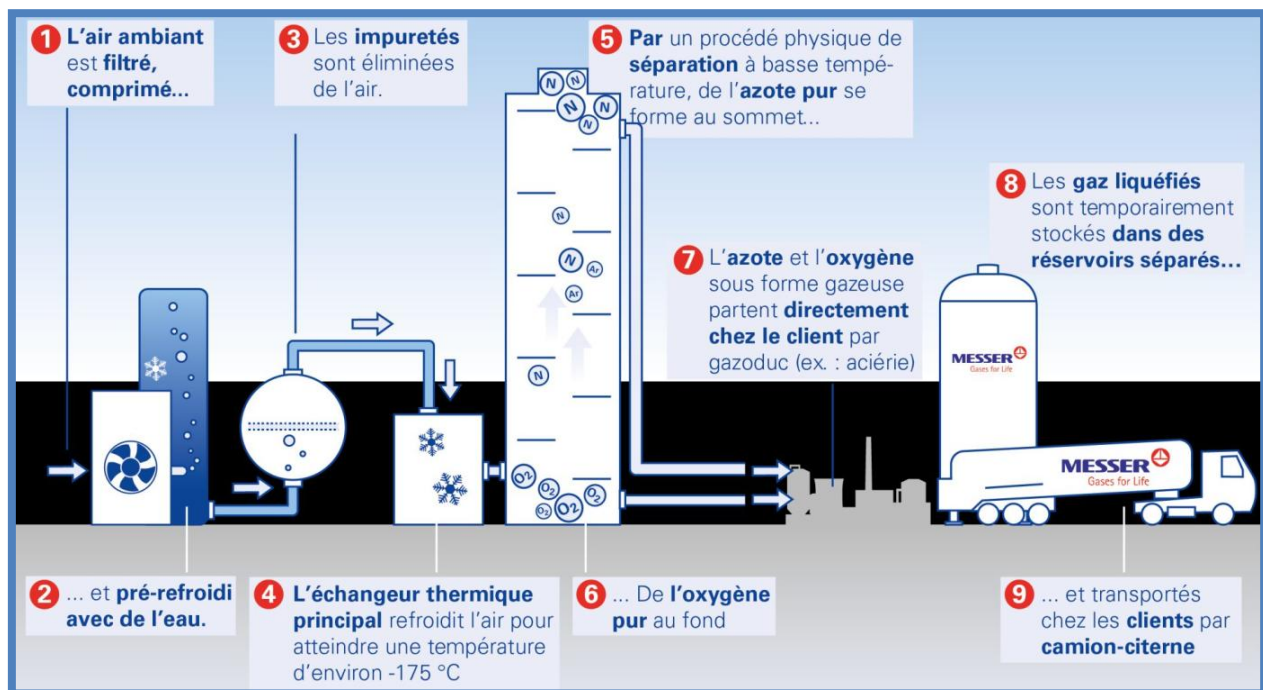
Procédé non-cryogénique

1^{er} procédé principal : Séparation cryogénique de l'air

Dans une installation de **séparation cryogénique de l'air**, les gaz contenus dans l'air ambiant sont séparés selon le principe de la rectification à basse température, en utilisant leurs différents points d'ébullition.

Sur la figure ci-dessous, le principe de séparation cryogénique est appliqué pour les types d'installations suivants :

- Installation d'un unité de séparation d'air à grosses capacités et liquéfaction facultative.
- Générateurs d'azote.
- Générateurs d'oxygène.



(Source : https://www.messer.ch/documents/20563/1586052/Luftzerlegung_FR_1920x1035.jpg/2b431f60-6c70-1060-d0dc-4cac56669109?t=1532349409800)

2^{ème} procédé principal : Séparation non cryogénique de l'air

Les **procédés non-cryogéniques** pour la **séparation de l'air** fonctionnent par l'adsorption par inversion de pression ou opèrent la séparation au moyen de membranes semi-perméables.

Les types d'installations qui peuvent être utilisées lors d'un fonctionnement par adsorption -
----- sont :

- L'**adsorption par inversion de pression**, appelée aussi **adsorption à pression modulée (APM)** ou **PSA** (acronyme de l'anglais **Pressure Swing Adsorption**).
Swing Adsorption de Pression (PSA) est un procédé reposant sur les qualités d'adsorption physiques de tamis moléculaires spécialement traités. Afin d'assurer une production rentable de N₂ ou O₂ d'une pureté allant jusqu'à 99.9 % (N₂) ou 93 % (O₂).
Cet air sera comprimé jusqu'à 10 bar, nettoyé et soufflé à travers un récipient rempli avec un tamis moléculaire. Selon le type de gaz désiré (N₂ ou O₂), ce récipient sera rempli soit de

tamis moléculaires en carbone pour la production de N_2 ou de pastilles zéolitiques (O_2). Alors que la pression est construite dans un récipient, le second récipient est régénéré par une diminution de pression. Les gaz indésirés seront évacués par le système.

- **Adsorption aidée par le vide (VPSA : Vacuum Pressure Swing Adsorption):** Il s'agit en fait d'un procédé PSA modifié.

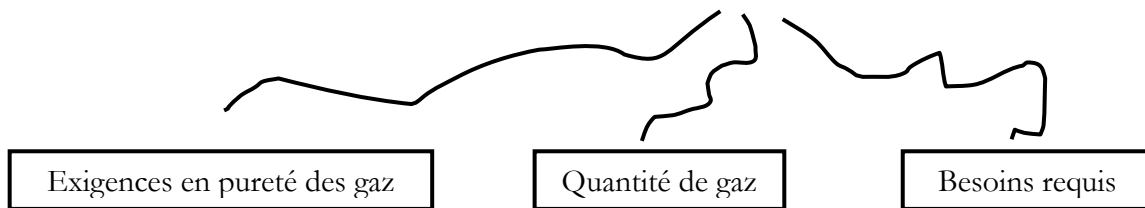
Les installations VPSA fonctionnent avec un ventilateur générant une pression de surcharge d'environ 1.5 bar et d'une pompe à vide utilisée pendant le cycle de régénération.

Les méthodes de séparation membranaire -----

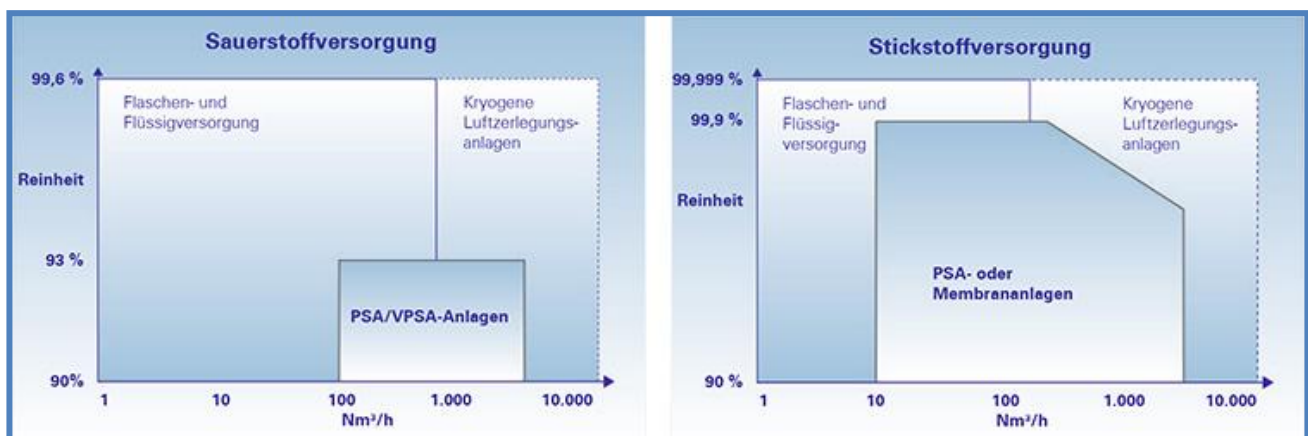
----- utilisent les différentes vitesses de diffusion des gaz à travers une membrane polymère. De l'air ambiant est filtré, comprimé à la pression désirée, séché et passé par un module membranaire. Les particules d'air avec une vitesse de diffusion plus élevée (O_2 & CO_2) passent plus rapidement à travers les fibres des membranes polymères, résultant dans un premier courant riche en azote. La pureté de ce courant gazeux de N_2 ∈ [93.0 ; 99.5 %].

Enfin : quel est le meilleur type d'installation ?

Il n'existe pas de réponse universelle à cette question. Mais il s'agira de vérifier :



Sur la base des diagrammes suivants, un premier choix du type d'installation approprié pourra se faire :



(Source : <https://www.messer.ch/documents/20563/1586052/Diagramm+On+Site/80c553f1-2508-c71d-8bbf-375f72e709c8?t=1508924551677>)

➤ Exemple d'unité de fractionnement d'air : (Annexe)

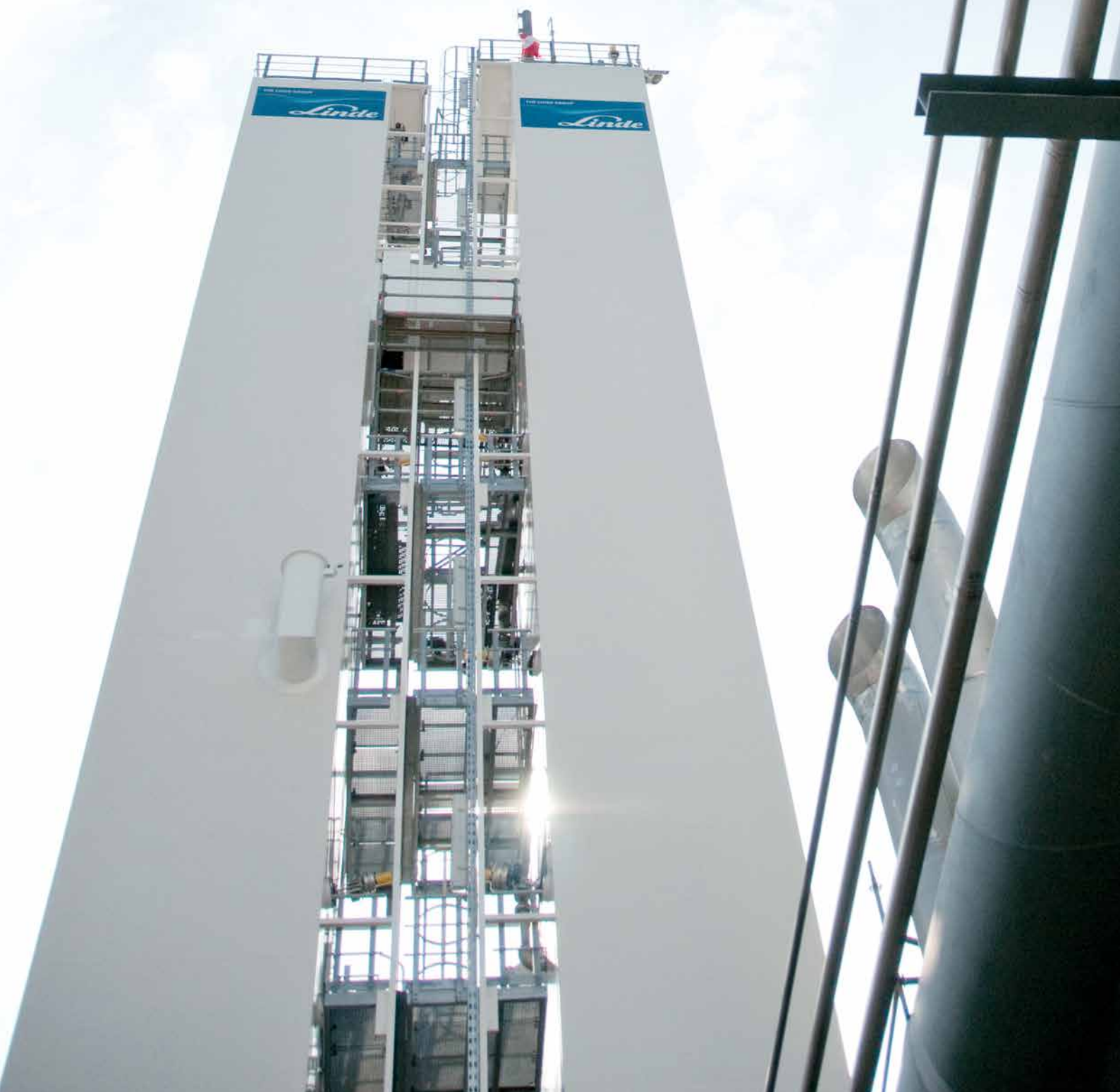
(Source : https://www.pangas.ch/fr/images/pangas-brochure-unite-de-fractionnement-d-air-a-muttENZ-f_tcm557-114523.pdf)

THE LINDE GROUP

PanGas

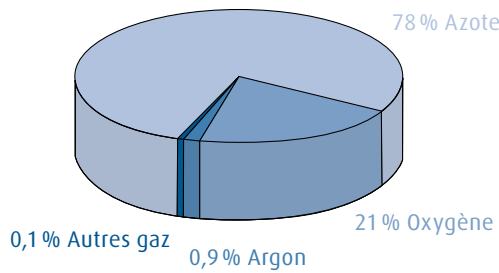
Unité de fractionnement d'air à Basel.

Votre source d'oxygène, d'azote et d'argon.



Qu'est-ce que l'air?

L'air que nous respirons est un mélange gazeux constitué de 78 % d'azote, 21 % d'oxygène et 0,9 % d'argon. Les 0,1 % restants se composent essentiellement de dioxyde de carbone, d'hydrogène et de gaz rares.

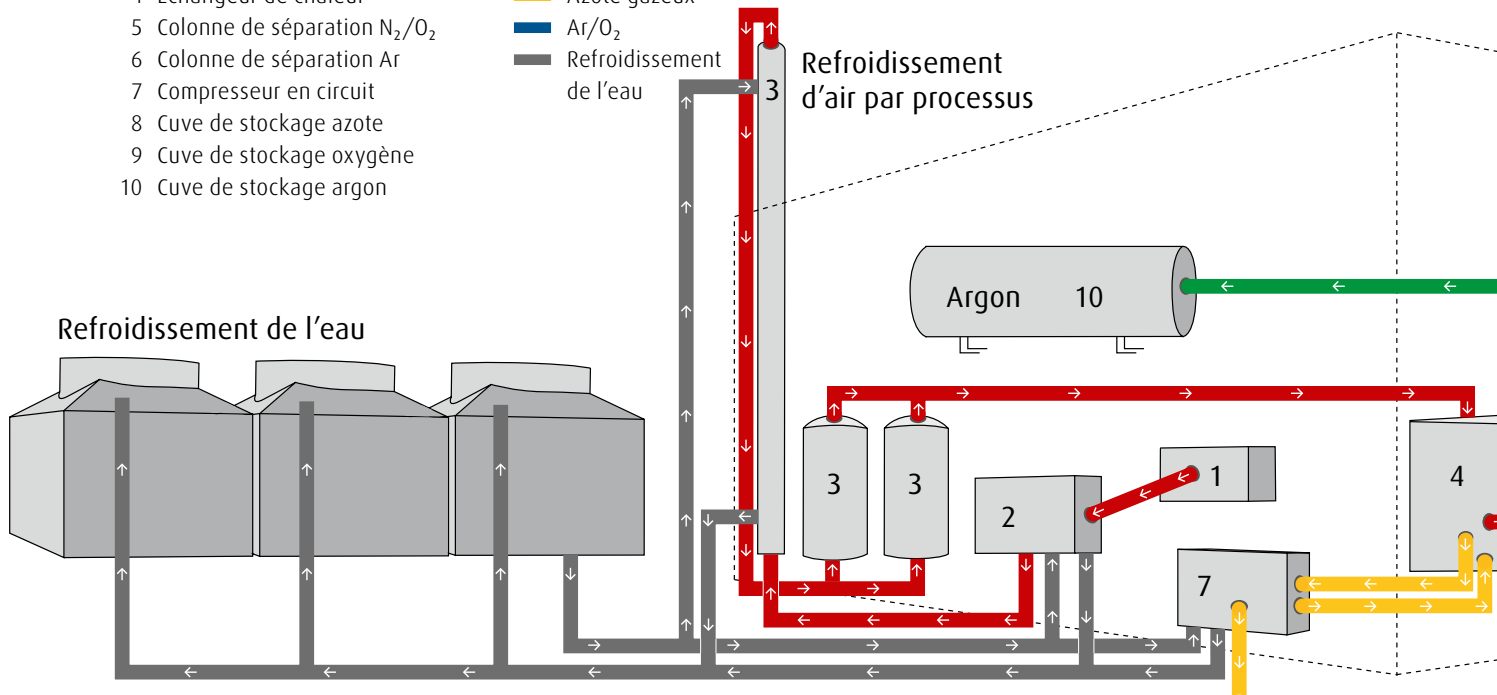


Comment fonctionne une unité de fractionnement d'air?

Dans l'installation de fractionnement d'air, les différents constituants de l'air sont séparés par un procédé physique – on parle aussi de distillation/rectification à basse température – ce qui permet d'obtenir de l'azote, de l'oxygène et de l'argon de haute pureté sous forme liquide et gazeuse.

- 1 Aspiration de l'air/Filtre
- 2 Compresseur d'air
- 3 Refroidissement d'air par processus/Tamis moléculaire
- 4 Echangeur de chaleur
- 5 Colonne de séparation N₂/O₂
- 6 Colonne de séparation Ar
- 7 Compresseur en circuit
- 8 Cuve de stockage azote
- 9 Cuve de stockage oxygène
- 10 Cuve de stockage argon

- █ Air
- █ Azote liquide
- █ Oxygène liquide
- █ Argon liquide
- █ Azote gazeux
- █ Ar/O₂
- █ Refroidissement de l'eau



De l'air ambiant aux cuves de stockage. Les étapes du fractionnement d'air.

1 Aspiration

L'air aspiré est prépurifié avec un filtre.

2 Compression

L'air est comprimé à 6 bar.

3 Purification

L'air comprimé est prérefroidi par de l'eau et passe ensuite dans un tamis moléculaire pour être débarrassé des impuretés qu'il contient (dioxyde de carbone, vapeur d'eau et hydrocarbures).

4 Refroidissement

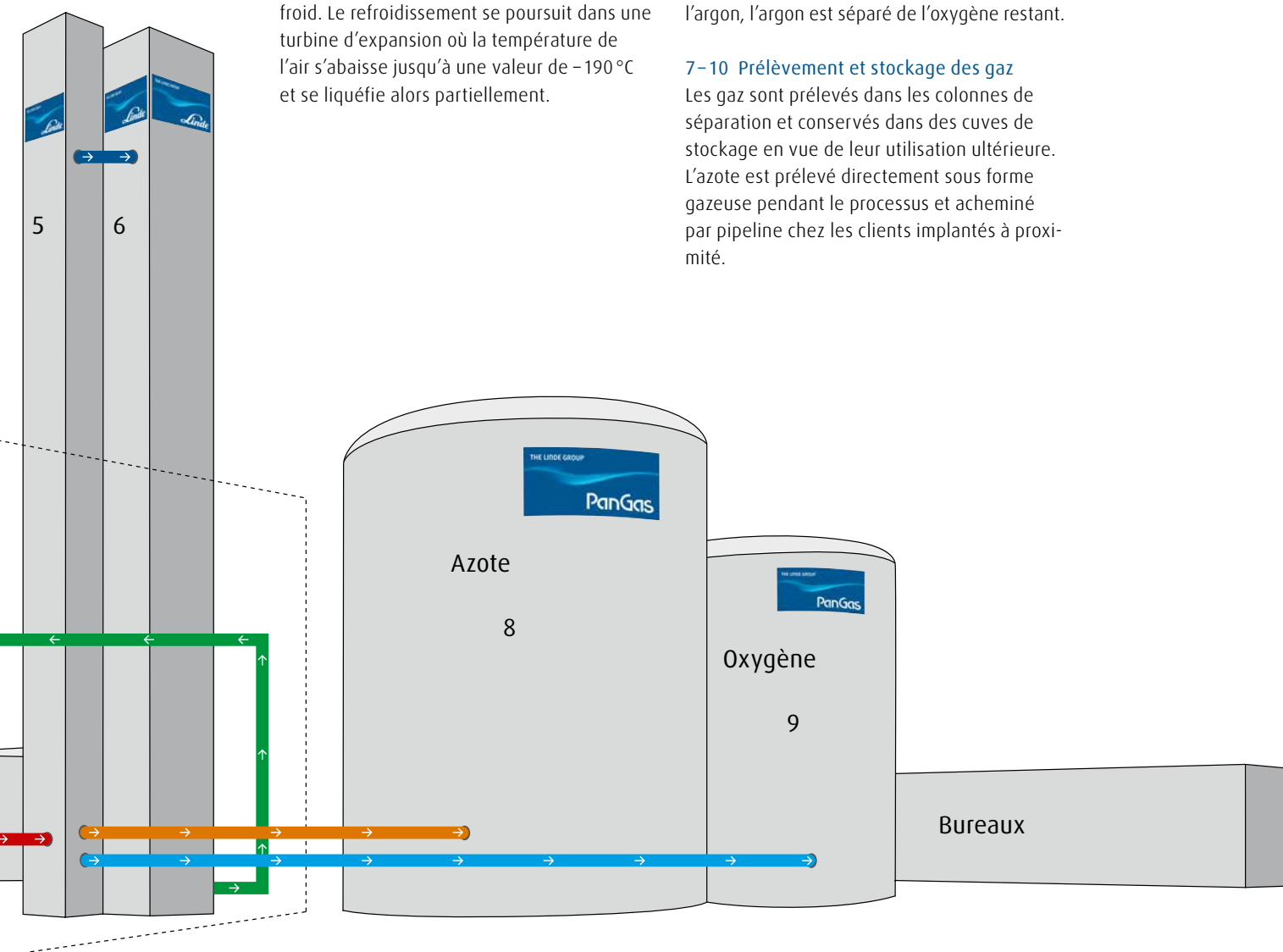
L'air est refroidi jusqu'à -160°C dans un échangeur de chaleur, par du produit déjà froid. Le refroidissement se poursuit dans une turbine d'expansion où la température de l'air s'abaisse jusqu'à une valeur de -190°C et se liquéfie alors partiellement.

5/6 Fractionnement d'air

Pour fractionner l'air liquéfié, on met à profit le fait que ses constituants ont des points d'ébullition différents. Le principe du procédé est comparable à celui de la distillation de l'alcool. Comme les températures d'ébullition des composants de l'air sont relativement proches (oxygène: -183°C , azote: -196°C), la séparation doit avoir lieu en plusieurs étapes dans des colonnes de distillation. Celles-ci contiennent des tamis et des garnissages dont la structure assure une grande surface de contact. Pendant le déplacement à contre-courant, le gaz ascendant s'enrichit en azote et le liquide qui ruisselle vers le bas en oxygène et en argon. Dans la colonne de séparation de l'argon, l'argon est séparé de l'oxygène restant.

7-10 Prélèvement et stockage des gaz

Les gaz sont prélevés dans les colonnes de séparation et conservés dans des cuves de stockage en vue de leur utilisation ultérieure. L'azote est prélevé directement sous forme gazeuse pendant le processus et acheminé par pipeline chez les clients implantés à proximité.



Au service de nos clients: exemples d'utilisation des gaz obtenus.



Oxygène

- Médecine: facilite la vie des patients traités à domicile et l'un des produits pharmaceutiques les plus utilisés dans les hôpitaux
- Industrie: soudage et oxycoupage, fusion du verre et des métaux
- Technologies de l'environnement: injection d'oxygène dans les installations de traitement des eaux usées et dans les lacs menacés d'eutrophisation pour les revivifier
- Industrie pharmaceutique: utilisation comme réactif dans la fabrication des médicaments.



Azote

- Industrie chimique et pharmaceutique: gaz protecteur servant à l'inertage et à la réfrigération
- Industrie agroalimentaire: surgélation rapide et conditionnement sous atmosphère modifiée
- Industrie: congélation des sols et nettoyage des conduites sensibles



Argon

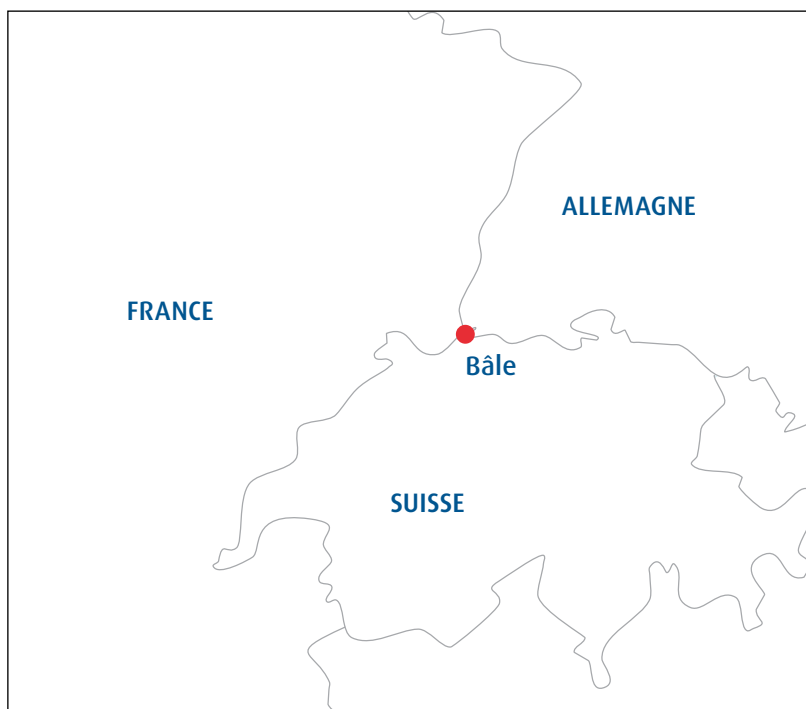
- Soudage et découpage: un des principaux constituants des atmosphères protectrices garantissant l'obtention de cordons de soudure de haute qualité
- Industrie agroalimentaire: inertage des bouteilles de vin et des produits sensibles à l'oxygène
- Industrie pharmaceutique: protection des produits de haute valeur

La performance au plus près de nos clients. Unité de fractionnement d'air PanGas.

Année de construction:	2010
Produits:	Gaz industriels, médicaux et pharmaceutiques
Rendement:	500 t de produit/jour
Capacités de stockage:	Azote liquide 4 millions de litres Oxygène liquide 2 millions de litres Argon liquide 100 000 litres
Hauteur des colonnes de séparation:	38 m
Situation:	Site de Schweizerhalle – Rheinfelderstrasse 971, 4132 Muttenz

Une situation géographique optimale.

Au cœur du triangle Suisse-Allemagne-France.



A la pointe de l'innovation, partout dans le monde.

Filiale du Linde Group, l'un des chefs de file mondiaux du secteur gaz, PanGas joue un rôle de pionnier sur le marché grâce à ses concepts innovants de production et d'approvisionnement. Leadership technologique oblige, nous nous devons de placer la barre toujours plus haut. C'est donc dans un esprit d'entreprise et de progrès que nous oeuvrons sans cesse à développer des produits de pointe et des procédés résolument novateurs.

Au-delà, PanGas apporte à sa clientèle une réelle valeur ajoutée, des avantages concurrentiels significatifs et une optimisation de la rentabilité. Chaque solution constitue une réponse pertinente aux exigences spécifiques d'un client. Elle est unique et personnalisée. Cette approche individualisée s'applique à toutes les entreprises, grandes ou petites, et à tous les secteurs d'activité.

Pour faire face à la concurrence de demain, vous avez besoin d'un partenaire averti qui maîtrise parfaitement les enjeux du futur en termes de qualité, d'efficacité et de productivité. A nos yeux, un partenariat ne signifie pas simplement présence ou assistance, mais une véritable collaboration avec vous. La réussite commerciale n'est-elle pas le fruit d'une activité conjointe?

PanGas – ideas become solutions.

Centres de compétences

Industriepark 10
CH-6252 Dagmersellen

Rte du Bois 14
CH-1024 Ecublens

Via Centro Sportivo 4
CH-6573 Magadino

Rheinfelderstrasse 971
CH-4132 Muttenz

Industriestrasse 40
CH-8404 Winterthur

Contact Center

Pour tous renseignements:
Téléphone 0844 800 300, Fax 0844 800 301
contact@pangas.ch

Marchés spécialisés et dépôts

Vous trouverez toutes les adresses ainsi que les plans d'accès sur le site www.pangas.ch

PanGas AG

Siège principal, Industriepark 10, CH-6252 Dagmersellen
Téléphone 0844 800 300, Fax 0844 800 301, www.pangas.ch