

## Chapitre 2 :

5<sup>ème</sup> Séance

## Procédés de séparation et de purification des fluides cryogéniques

- **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 !

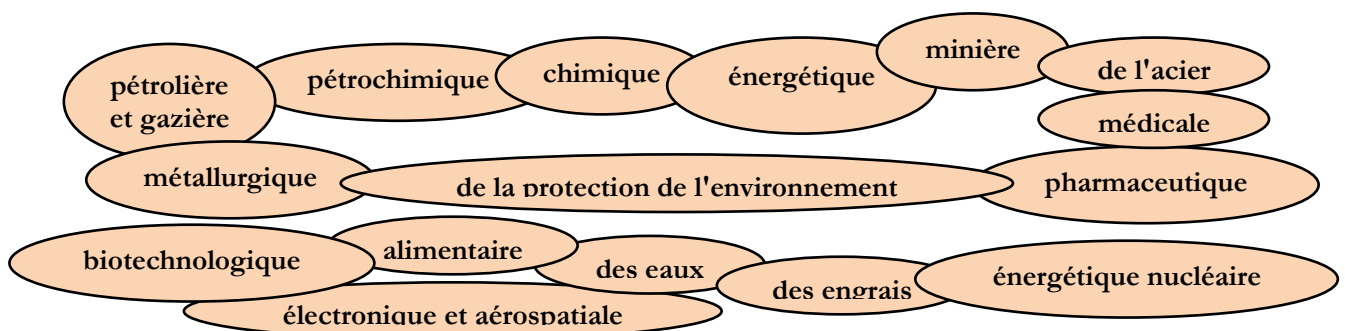
#### 4. Procédés de séparation de l'air

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 (N<sub>2</sub>)** et l'**oxygène (O<sub>2</sub>)**, l'**argon (Ar)** et d'**autres gaz inertes rares**. L'**oxygène (O<sub>2</sub>)** et l'**azote(N<sub>2</sub>)** 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.

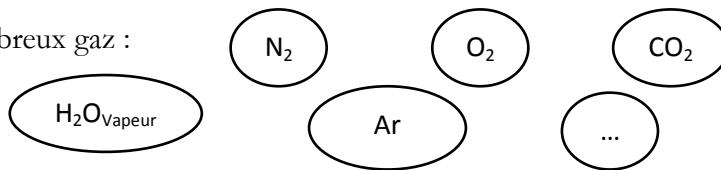
(Source : <https://cryogenics-energy.fivesgroup.com/fr/application/production-de-gaz-industriel/separation-de-lair.html>)

### ➤ 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

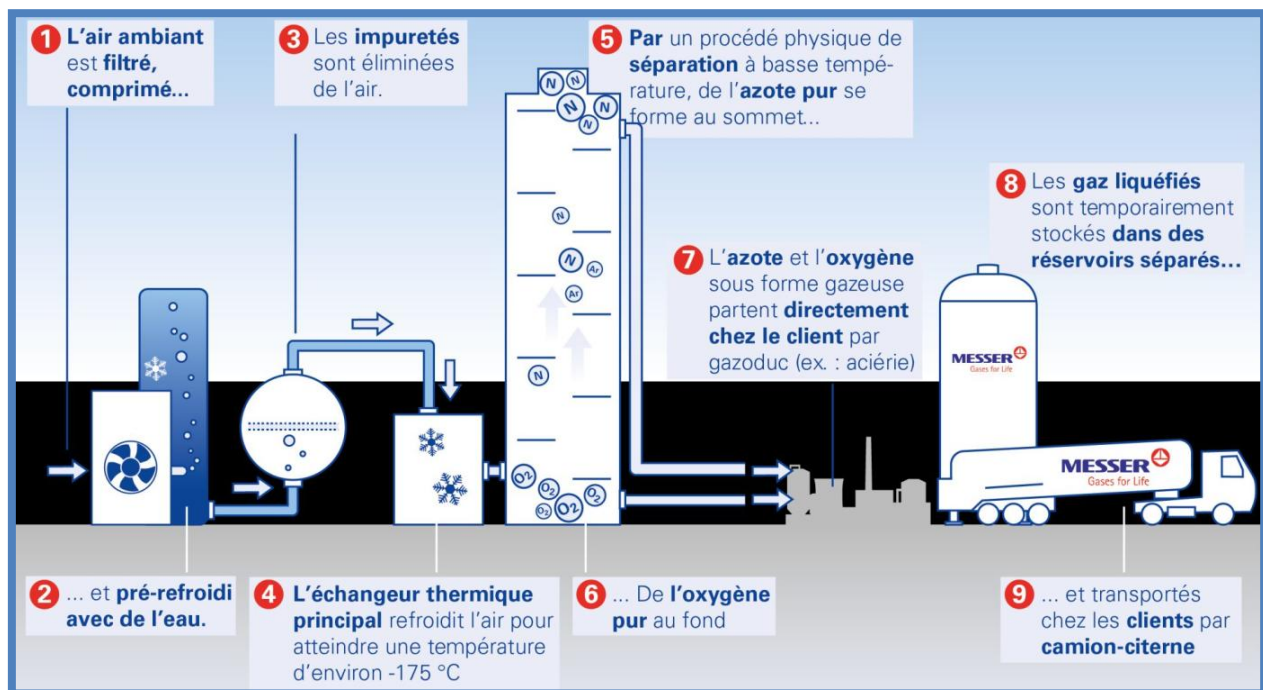
Procédé non-cryogénique

## 1<sup>er</sup> 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](https://www.messer.ch/documents/20563/1586052/Luftzerlegung_FR_1920x1035.jpg/2b431f60-6c70-1060-d0dc-4cac56669109?t=1532349409800))

## 2<sup>ème</sup> 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  $N_2$  ou  $O_2$  d'une pureté allant jusqu'à 99.9 % ( $N_2$ ) ou 93 % ( $O_2$ ).

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 ( $N_2$  ou  $O_2$ ), 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.

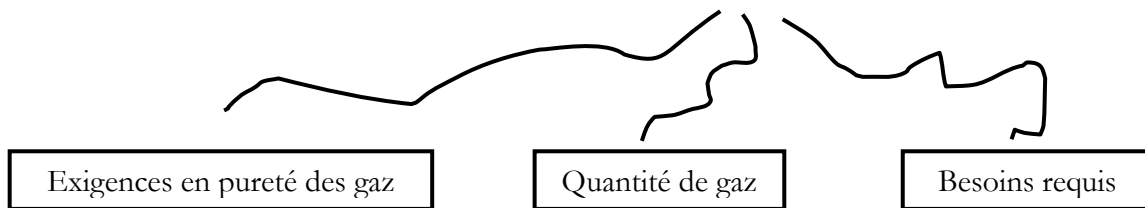
Les installations VPSA fonctionnent avec un ventilateur générant une pression de surcharge d'environ 1.5 bar et d'une pompe à vide utilisée pendant le cycle de régénération.

### Les méthodes de séparation membranaire -----

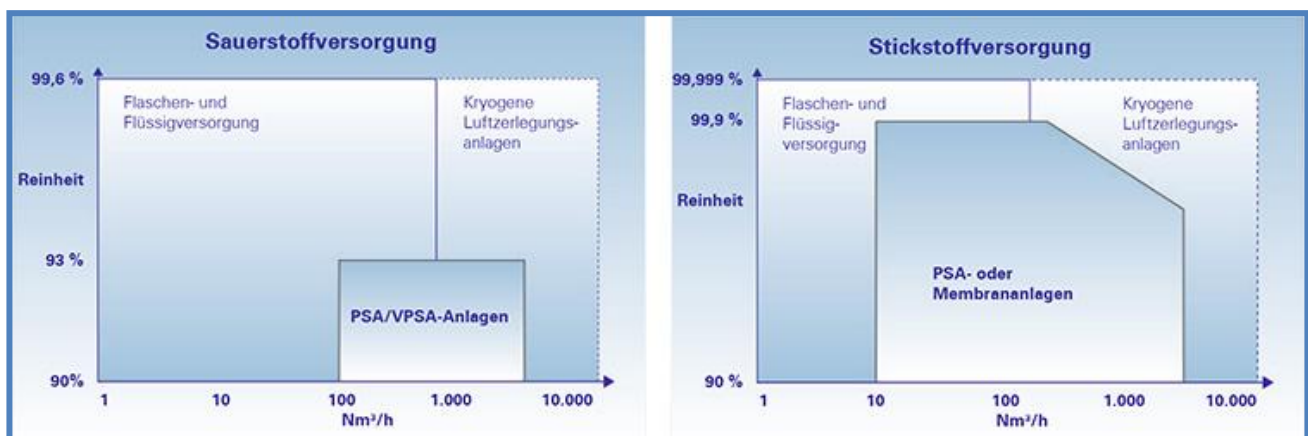
----- utilisent les différentes vitesses de diffusion des gaz à travers une membrane polymère. De l'air ambiant est filtré, comprimé à la pression désirée, séché et passé par un module membranaire. Les particules d'air avec une vitesse de diffusion plus élevée ( $O_2$  &  $CO_2$ ) passent plus rapidement 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)

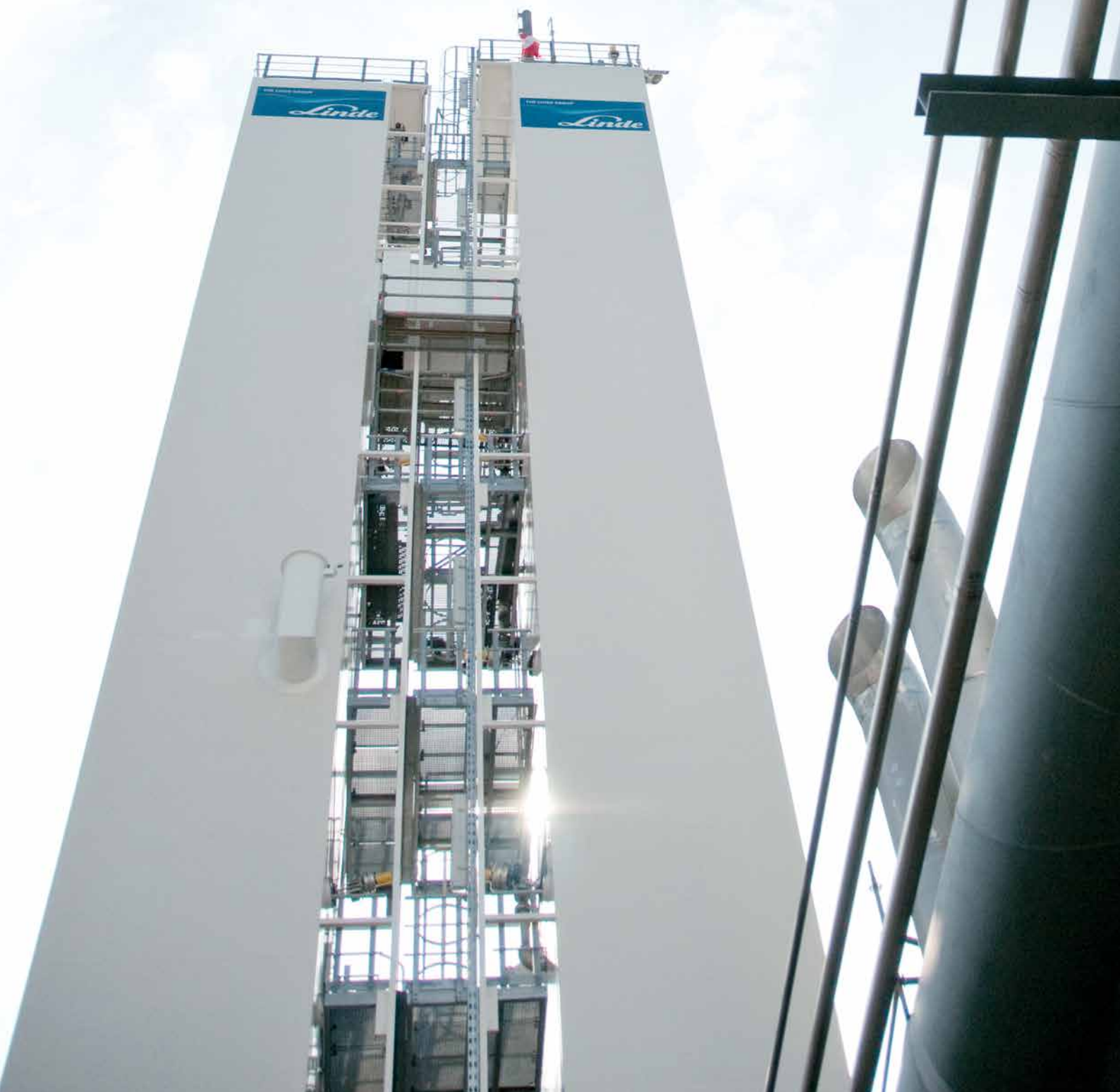
(Source : [https://www.pangas.ch/fr/images/pangas-brochure-unite-de-fractionnement-d-air-a-muttENZ-f\\_tcm557-114523.pdf](https://www.pangas.ch/fr/images/pangas-brochure-unite-de-fractionnement-d-air-a-muttENZ-f_tcm557-114523.pdf))

THE LINDE GROUP

PanGas

# Unité de fractionnement d'air à Basel.

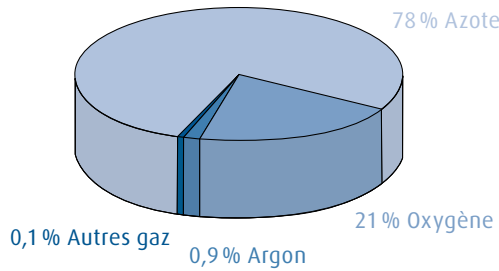
Votre source d'oxygène, d'azote et d'argon.





# 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.

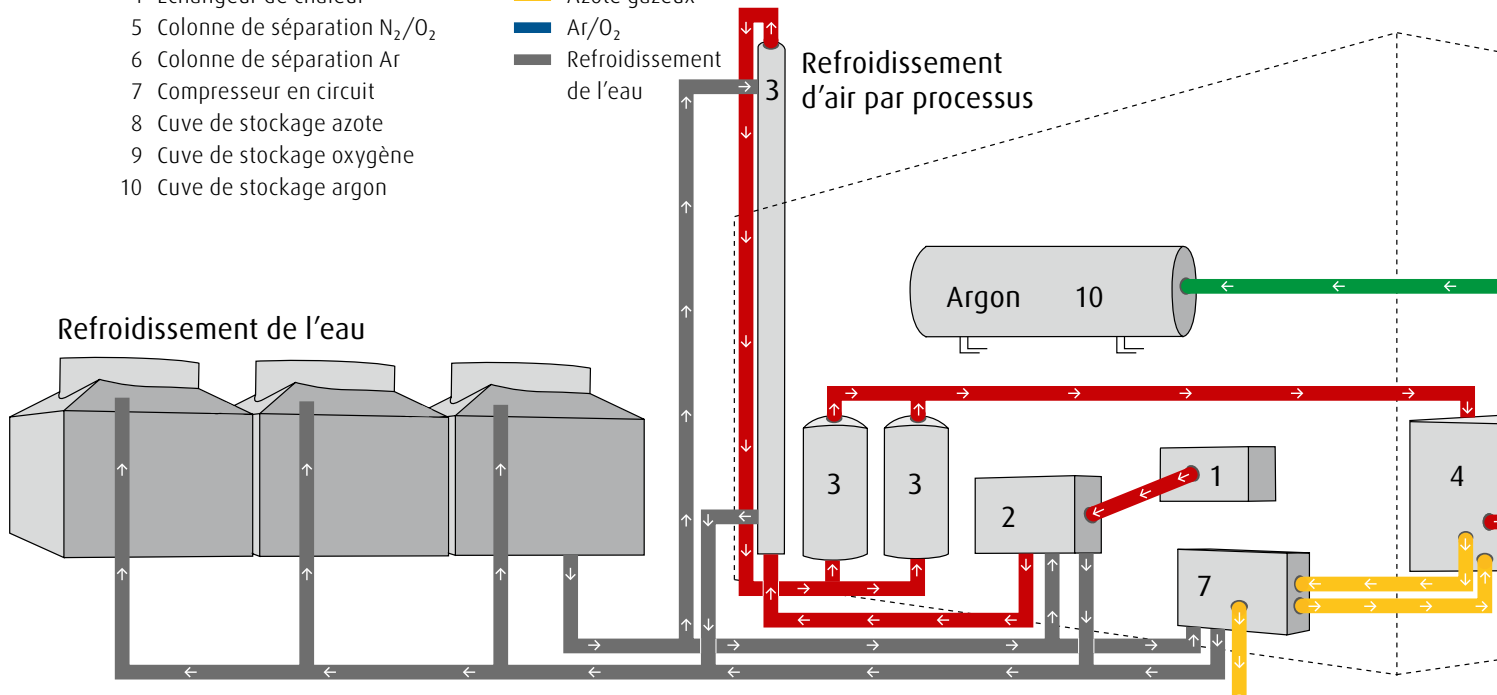


# Comment fonctionne une unité de fractionnement d'air?

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 N<sub>2</sub>/O<sub>2</sub>
- 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/O<sub>2</sub>
- █ 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

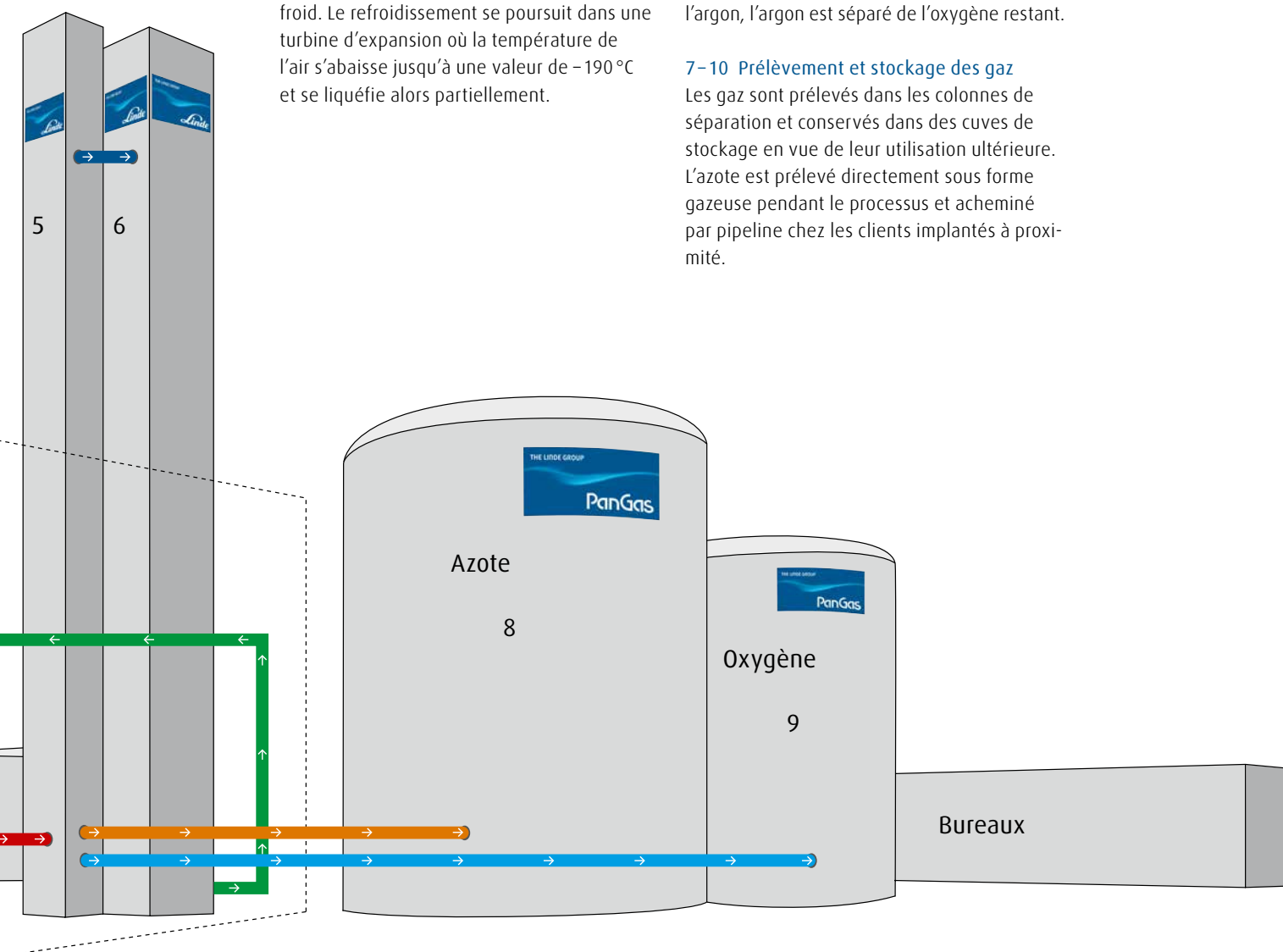
L'air est refroidi jusqu'à  $-160^{\circ}\text{C}$  dans un échangeur de chaleur, par du produit déjà froid. Le refroidissement se poursuit dans une turbine d'expansion où la température de l'air s'abaisse jusqu'à une valeur de  $-190^{\circ}\text{C}$  et se liquéfie alors partiellement.

## 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:  $-183^{\circ}\text{C}$ , azote:  $-196^{\circ}\text{C}$ ), 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

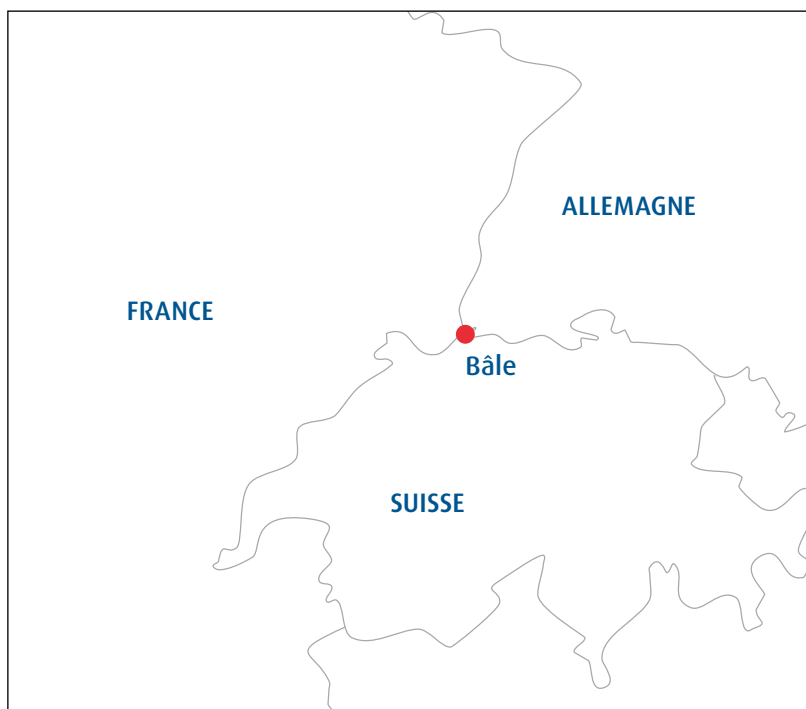


# La performance au plus près de nos clients. Unité de fractionnement d'air PanGas.

|  |  |
|--|--|
| 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<br>Oxygène liquide 2 millions de litres<br>Argon liquide 100 000 litres |
| Hauteur des colonnes<br>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](http://www.pangas.ch)

## PanGas AG

Siège principal, Industriepark 10, CH-6252 Dagmersellen  
Téléphone 0844 800 300, Fax 0844 800 301, [www.pangas.ch](http://www.pangas.ch)

## Chapitre 2 :

5<sup>ème</sup> Séance

## Procédés de séparation et de purification des fluides cryogéniques

---

.  
. .  
.

---

Fin du chapitre 2