

# Technologie du gaz

*GPP*



Dr. Redjeb

Département de génie de procédés et pétrochimie

Université El Oued

# Table des matières



<b>Objectifs</b>	3
<b>I - Technologie de séparation de l'air</b>	4
1. Généralité .....	4
2. Procédés de séparation de l'air .....	5
2.1. Séparation cryogénique de l'air .....	5
2.2. Séparation de l'air par adsorption .....	7
2.3. Technologie de séparation membranaire .....	8
2.4. Exercice : Exercice 4 .....	10
3. Projet .....	10
<b>Solutions des exercices</b>	11
<b>Références</b>	12

# Objectifs

**Les objectifs de ce cours selon les niveaux cognitifs de Bloom sont :**

**Au niveau des connaissances**, l'étudiant sera en mesure d'identifier les différents types de gaz et leur applicabilité, ainsi que les méthodes utilisées pour leur traitement et leur séparation.

**En termes de compréhension**, l'étudiant sera capable d'expliquer le principe de fonctionnement des différentes technologies utilisées pour le traitement et la séparation des différents gaz industriels.

**En termes d'application**, l'étudiant sera capable de compléter et d'interpréter les courbes thermodynamiques liées au fonctionnement de ces technologies.

**En termes d'analyse**, l'étudiant sera en mesure d'examiner la faisabilité des technologies étudiées pour des applications spécifiques

**En termes de synthèse**, l'étudiant sera capable de construire différents schémas de configuration et schématiques pour ces technologies.

**En termes d'évaluation**, l'étudiant sera évalué afin de confirmer qu'il acquiert les connaissances requises du cours.

# Technologie de séparation de l'air



## 1. Généralité

L'air est défini comme le mélange de gaz qui compose l'atmosphère terrestre, il est constitué principalement d'azote (environ 78%), d'oxygène (environ 21%), de vapeur d'eau (variable), d'argon (environ 0,9%), de dioxyde de carbone (environ 0,04 %), et de nombreuses traces d'autres gaz. L'air est caractérisé par aucune odeur perceptible et aucune couleur.

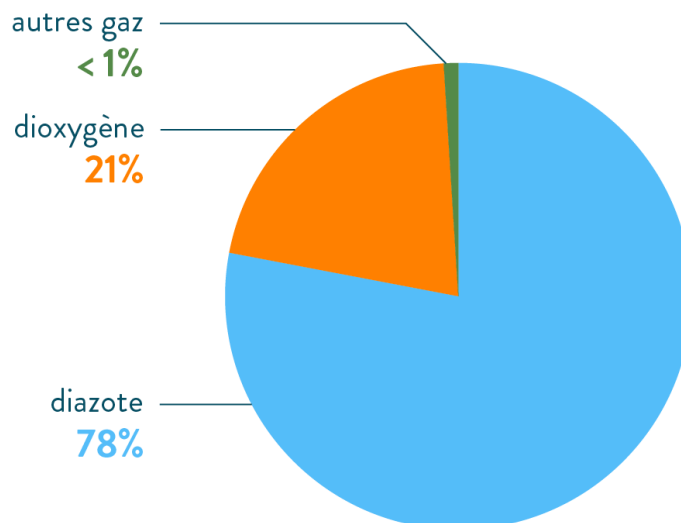


Figure 15. Composition de l'air

Les composants de l'air mentionnés ci-dessus sont vraiment critiques pour de nombreux processus industriels. Par exemple, l'oxygène est important pour de nombreuses industries, telles que la production de métaux et les industries de fabrication de produits chimiques, tandis que l'azote est utilisé pour le broyage cryogénique et le stockage cryogénique de matériaux biologiques et d'autres applications. De plus, l'argon (Ar) est utilisé comme matériau inerte dans le soudage, la sidérurgie, la fabrication électronique et autres. À cette fin, une référence d'une page traite des principales méthodes par lesquelles ces gaz industriels courants peuvent être dérivés de l'air. Par conséquent, en raison de cette forte demande pour les composants spécifiques de l'air pour de nombreuses applications, la réflexion et la recherche sur la séparation de l'air ont depuis longtemps commencé, dans lesquelles de nombreux procédés et installations ont été inventés et installés pour le séparer en ses composants principaux.

En retour, les méthodes de séparation de l'air peuvent être divisées selon leur nature en deux catégories principales : la première se réfère à la séparation cryogénique de l'air tandis que la seconde est les procédés non cryogéniques. La première catégorie est la plus connue et la plus utilisée, notamment lorsqu'une grande pureté et des taux de production élevés sont requis, le principe de travail de cette catégorie consiste à employer une distillation à basse température afin de le séparer en N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> et Ar soit gaz ou liquides, puis, pour les procédés non cryogéniques, ils fonctionnent près de la température ambiante et sont utilisés pour la production d'azote ou d'oxygène sous forme de gaz. Ces procédés peuvent constituer un choix rentable lorsque la demande de gaz est relativement faible et que la très grande pureté des gaz n'est pas requise.

Selon la littérature et les connaissances de fabrication de l'industrie, il existe trois méthodes connues dominantes pour la séparation de l'air, et elles sont répertoriées comme suit :

- Procédé de distillation cryogénique, ou Rectification à basse température,
- Adsorption,
- Séparation membranaire.

Les points suivants présentent ces méthodes qui sont les plus couramment utilisées pour la séparation de l'air.

## 2. Procédés de séparation de l'air

Les unités de séparation d'air sont considérées comme l'une des unités les plus importantes du secteur des gaz industriels. Cette section a donc pour but d'identifier les différentes connaissances sur les procédés de séparation d'air. Dans un premier temps, vous pouvez consulter la vidéo suivante pour un aperçu de le concept de séparation de l'air.

Cf. "Séparation d'air"

Le procédé de séparation de l'air est une combinaison de nombreux autres procédés principalement pour assurer la séparation de nombreux gaz en même temps en raison de leur importance dans de nombreux procédés industriels. A titre d'exemple, l'oxygène est vraiment important dans le secteur médical, et la pandémie du covid 19 est une preuve de cette importance, ceci en plus d'autres procédés industriels tels que le métal, le verre, De plus, l'azote peut être utilisé dans la chimie et industries pétrolières, tandis que l'argon est utilisé comme gaz de protection inerte dans plusieurs produits tels que l'ampoule électrique.

### 2.1. Séparation cryogénique de l'air

Comme mentionné précédemment, la séparation cryogénique de l'air est la technologie la plus couramment utilisée et la plus rentable pour la séparation de composants de très haute pureté.

Par conséquent, ce procédé de séparation est utilisé dans les usines à grande ou moyenne échelle pour séparer les composants de l'air en gaz et/ou produits liquides. Il se caractérise par différentes échelles de consommation, dans lesquelles les besoins énergétiques dépendent directement du mélange de produits et des puretés du produit final. Cependant, il est nécessaire de mentionner que la configuration qui produit du gaz en tant que produits finaux nécessite moins de puissance que ceux où les produits finaux sont liquides.

Par ailleurs, la conception et le dimensionnement des systèmes et cycles cryogéniques utilisés pour la séparation des composants de l'air dépendent également du nombre de produits souhaités en fin de procédé : azote ; oxygène ; à la fois de l'oxygène et de l'azote ; ou azote, oxygène et argon, outre la pureté requise des résultats obtenus, et également si certains produits doivent être sous forme liquide.

En général, tous les configurations de séparation cryogénique basés sur le fait que les différents composants de l'air ont des points d'ébullition différents, et en manipulant les conditions extérieures telles que la pression et la température, l'air peut être séparé. En outre, comme mentionné précédemment, tous les configurations consistent en une série d'étapes similaires, qui peuvent être répertoriées comme suit\* :

- La compression et le filtrage de l'air

Un processus de compression de l'air ambiant est effectué via un compresseur à plusieurs étages avec des refroidisseurs intermédiaires à une pression d'environ 6 bars (pression absolue). Parallèlement, l'utilisation d'un filtre est de mise afin d'éliminer les poussières, généralement les filtres sont situés à l'entrée du compresseur.

- Le refroidissement et la purification de l'air

Après la compression, l'air est ensuite refroidi à l'aide d'eau à une température proche de la température ambiante, après cela, un processus de purification a lieu à l'aide d'un tamis moléculaire absorbant visant à éliminer le dioxyde de carbone et les hydrocarbures.

- Le procédé de réfrigération/liquéfaction

À l'aide d'échangeurs de chaleur et de processus de réfrigération, l'air comprimé est refroidi à l'aide de la « boîte froide », où il atteint une température cryogénique d'environ -180°C. Ensuite, un refroidissement final a lieu à travers un processus d'expansion de l'alimentation utilisant une machine d'expansion. Après cela, le mélange résultant est séparé et introduit dans la colonne de séparation.

- Le procédé de séparation

Habituellement, la colonne de séparation est divisée en deux parties selon la pression, une partie haute pression et une partie basse pression. Le mélange résultant s'écoule à travers la partie haute pression, dans laquelle il se sépare en azote en haut et en air enrichi en oxygène en bas.

Après cela, l'air enrichi en oxygène du haut de la partie haute pression s'écoule dans la partie basse pression, où il est encore purifié, dans lequel l'azote pur est finalement retiré du haut des colonnes haute et basse pression et l'oxygène pur est soutiré en cuve de la colonne basse pression.

De plus, l'Argon est enrichi dans la partie médiane de la partie basse pression, dans laquelle il peut être soutiré et envoyé vers un traitement complémentaire de production.

Dans les processus typiques, l'alimentation de la partie basse pression est envoyée à la colonne d'argon brut, dans laquelle le produit de celle-ci est passé à travers un convertisseur catalytique pour éliminer l'oxygène restant avant qu'il ne passe à travers la colonne d'argon pur où tout azote restant est supprimé.

La figure suivante montre un diagramme schématique d'un procédé typique de séparation d'air

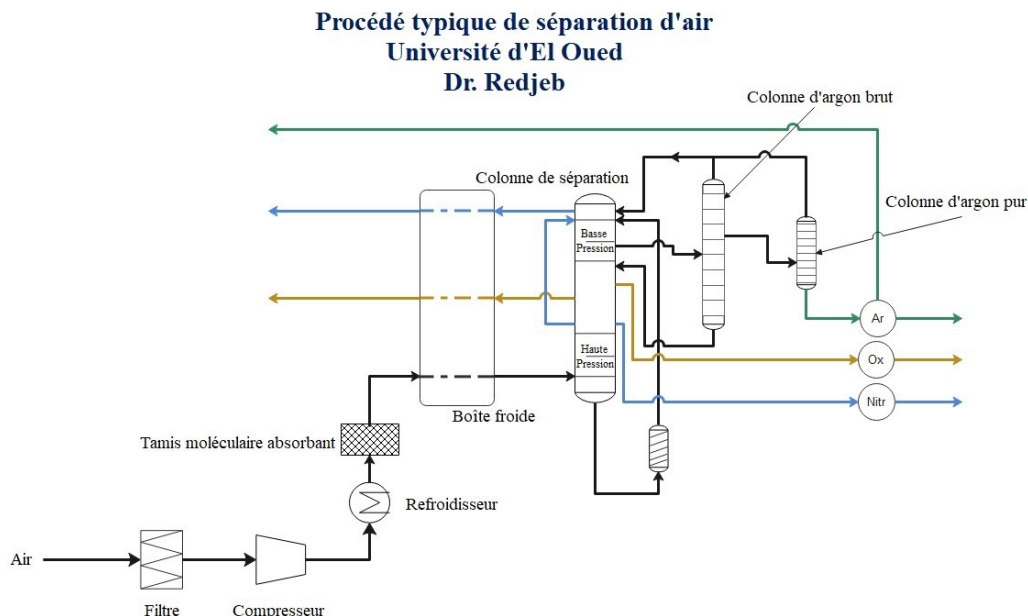


Figure 16. Diagramme schématique d'un procédé typique de séparation d'air

## 2.2. Séparation de l'air par adsorption

Le procédé d'adsorption est un processus non cryogénique<sup>\*</sup>, ce processus basé sur la capacité de certains matériaux naturels et synthétiques à adsorber préférentiellement soit l'azote soit l'oxygène. En général, cette technologie est principalement utilisée pour produire soit de l'azote, soit de l'oxygène. De manière simple, une compression de l'air a lieu puis il traverse une cuve qui contient des matériaux adsorbants dans lesquels ils adsorbent le composant souhaité.

Dans ce procédé, le choix de l'adsorbant approprié repose directement sur ses caractéristiques d'adsorption et les produits finaux souhaités, dans lesquels ses caractéristiques doivent garantir que seuls quelques composants (souhaités) de l'air sont capturés par l'adsorbant.

Habituellement, les usines de production d'oxygène qui utilisent la technologie d'adsorption utilisent des tamis moléculaires de zéolite comme moyen d'adsorber l'azote, le dioxyde de carbone et la vapeur d'eau résiduelle en plus d'autres gaz, par conséquent, ce processus garantit l'obtention d'oxygène avec une pureté dans la gamme de 93 % à 95 %, ce pourcentage varie en fonction de la teneur en argon, qui est généralement de l'ordre de 4,5 % à 5 %.

En revanche, les usines de production d'azote qui utilisent la technologie d'adsorption utilisent un matériau de tamis moléculaire à charbon actif qui agit sur l'élimination de l'oxygène et d'autres composants indésirables par adsorption.

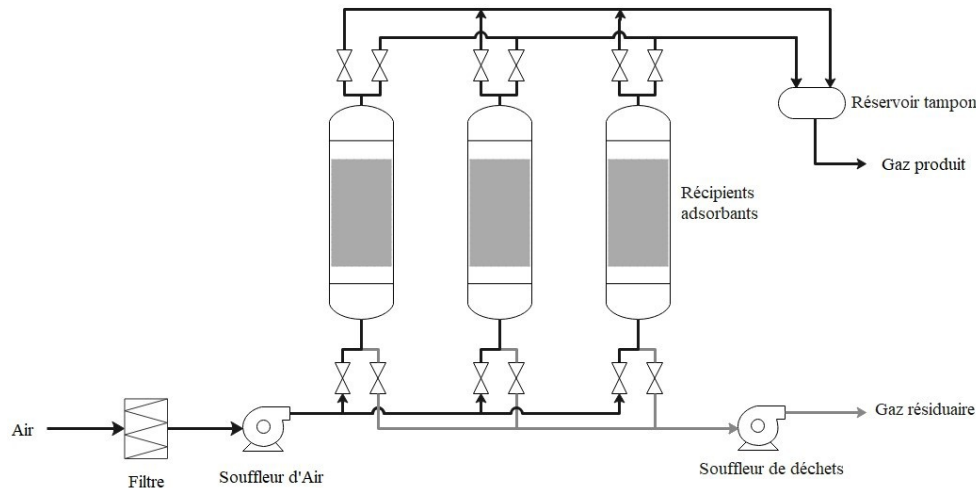
Certaines usines utilisent une unité "de-oxo", cette unité combine catalytiquement l'hydrogène avec l'oxygène comme moyen de produire de l'eau dans le "produit" d'azote après le processus d'adsorption. Après cela, l'eau est éliminée par refroidissement et adsorption supplémentaire.

Habituellement, l'azote produit a une pureté qui varie entre 95 % et 99,5 %, cette pureté dépend de la taille de l'équipement et du rapport entre l'alimentation en air et le produit.

Pour le principe de fonctionnement de ce procédé, de manière simple, l'air sous pression circule dans une cuve qui contient le lit d'adsorbant. A travers la cuve, l'azote/oxygène est adsorbé et un flux d'effluent riche en oxygène/azote est produit jusqu'à ce que le lit d'adsorbant soit saturé en azote/oxygène.

À ce stade, l'alimentation en air est commutée vers le récipient frais suivant et le procédé de régénération du lit d'adsorbant dans le premier récipient démarre. Le procédé de régénération peut être accompli en chauffant le lit d'adsorbant ou en réduisant la pression dans le lit d'adsorbant, ce qui réduit la capacité de rétention d'azote /oxygène à l'équilibre de l'adsorbant, le premier processus étant communément appelé adsorption modulée en température « temperature swing adsorption » (TSA), tandis que le second celle basée sur la réduction de pression est communément connue sous le nom : d'adsorption modulée en pression ou sous vide « pressure or vacuum swing adsorption » (PSA ou VSA). La figure suivante montre un diagramme schématique d'un processus d'adsorption typique.

**Procédé de séparation de l'air basé sur la technologie d'adsorption**  
**Université d'El Oued**  
**Dr. Redjeb**



*Figure 17. Procédé de séparation de l'air basé sur la technologie d'adsorption*

### 2.3. Technologie de séparation membranaire

La technologie de séparation membranaire est un procédé basé dans son principe sur les différentes vitesses de diffusion d'un composant gazeux à travers une membrane polymère\*.

Cette technologie de séparation utilise des faisceaux de tubes fabriqués à partir de polymères spéciaux, avec une configuration similaire à un échangeur de chaleur à calandre et tube.

Par conséquent, pour l'Air, on peut dire que les procédés membranaires utilisant des matériaux polymères pour la séparation de l'air sont basés sur la différence des taux de diffusion de l'oxygène et de l'azote à travers une membrane. Le processus de séparation de l'air utilisant cette technologie repose sur le fait que ses différents composants ont des taux de pénétration différents à travers le film polymère.

Comme mentionné précédemment, les composants de l'air ont des taux de pénétration différents à travers le film polymère, dans lequel l'oxygène ainsi que la vapeur d'eau et le dioxyde de carbone sont considérés comme des « gaz rapides » qui diffusent plus rapidement à travers les parois du tube que les « gaz lents » qui sont représentés dans l'argon et l'azote.

Ces caractéristiques permettent la conversion de l'air en un produit qui est un mélange inerte composé principalement d'azote gazeux et d'argon, et de gaz résiduels riches en oxygène, vapeur d'eau et dioxyde de carbone est évacué de la coque (Voir Figure 18).



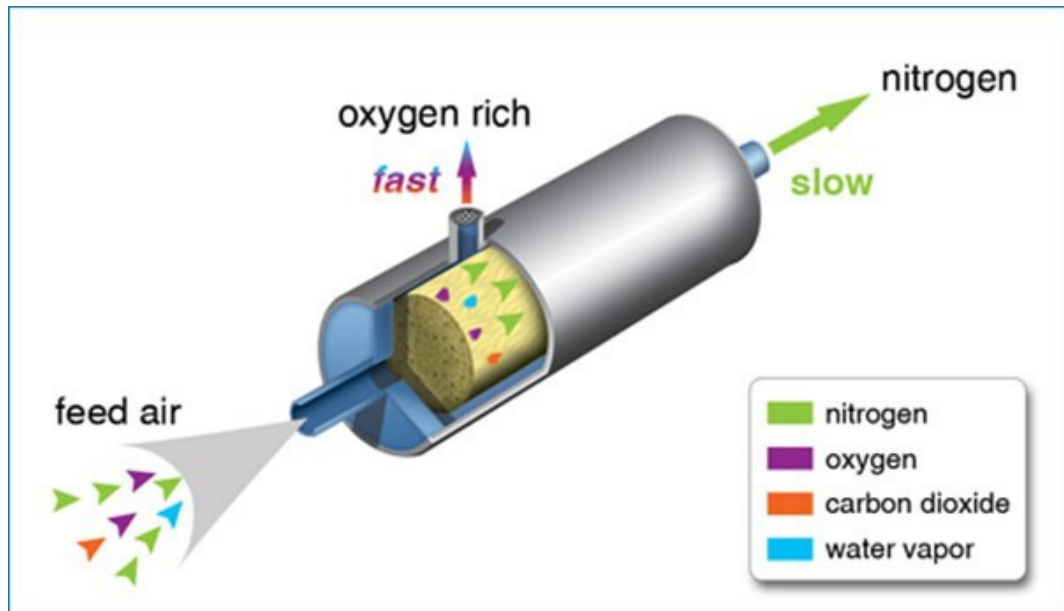


Figure 18. Cartouche à membrane pour séparation d'air

Pour le principe de fonctionnement de ce procédé, l'air est d'abord filtré, puis comprimé à la pression requise, séché puis s'écoule à travers un module à membrane, dans lequel pénètrent les composants de l'air à plus haut taux de diffusion (tels que O<sub>2</sub> et CO<sub>2</sub>). Les fibres de la membrane polymère plus rapidement, d'où un flux riche en azote. Habituellement, la pureté du gaz N<sub>2</sub> varie entre 93 % et 99,5 %, cette valeur dépend du débit à travers le module membranaire.

Ce procédé est couramment utilisé pour la production d'azote, mais dans le cas où le produit souhaité est l'oxygène, les systèmes à membrane sont normalement limités à la production d'air enrichi en oxygène (généralement entre 25 % et 50 % d'oxygène), dans lequel l'utilisation des membranes incorporent un agent complexant l'oxygène pour augmenter la sélectivité de l'oxygène, comme moyen d'augmenter la pureté de l'oxygène.

La figure suivante montre un diagramme schématique du procédé membranaire pour la séparation de l'air.

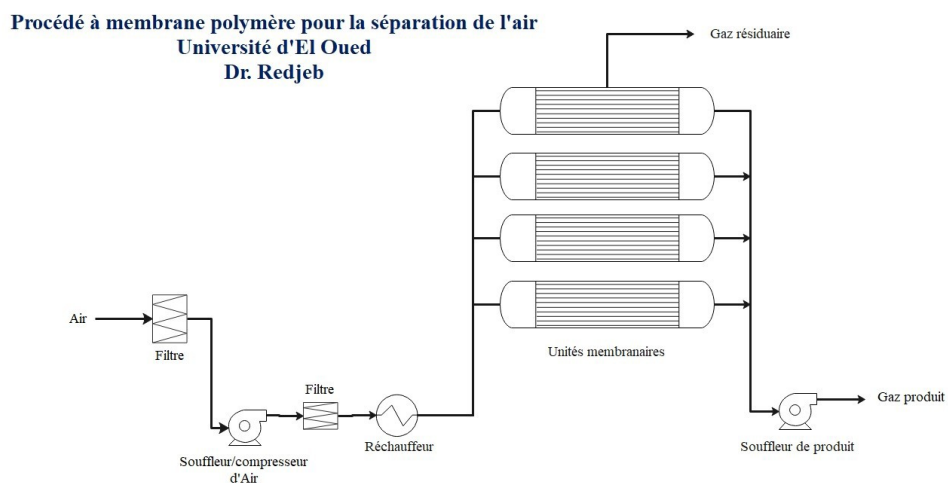


Figure 19. Procédé membranaire pour la séparation de l'air

Cependant, ces procédés présentés sont les plus connus et utilisés dans la séparation des composants de l'air, mais il existe encore de nombreuses autres technologies qui s'appliquent dans le même but, et présentent une bonne efficacité, parmi elles ; La technologie des membranes de transport d'ions (ITM), les technologies de procédés chimiques.

Ces technologies sont également des alternatives à celles largement utilisées, et peuvent être utiles dans certaines conditions et selon les produits recherchés.

Pour plus d'informations sur ce processus, vous pouvez consulter la vidéo suivante dans laquelle il décrit ce processus de production d'azote :

Cf. "Production d'azote à l'aide de la technologie membranaire"

## 2.4. Exercice : Exercice 4

[solution n°1 p.11]

Mentionner les 3 méthodes connues de séparation d'air

## 3. Projet

Effectuez une recherche sur les deux dernières technologies mentionnées pour la séparation de l'air et citez la différence entre elles et celles présentées dans ce chapitre.

Technologie	Description	Principe de travail
Technologie des membranes de transport d'ions	...	...
Technologies de procédés chimiques	...	...

Tableau 2. Liste des technologies requises pour ce projet

# Solutions des exercices



> **Solution n°1**

Exercice p. 10

Mentionner les 3 méthodes connues de séparation d'air  
séparation membranaires, adsorption, distillation cryogénique



# Références



7  
Servomex Group Limited, Servomex Total Solution for Gas Analysis on Cryogenic Air Separation Plants, Crowborough, East Sussex, UK

8  
Smith AR, Klosek J. A review of air separation technologies and their integration with energy conversion processes. *Fuel Process Technol* 2001;70(2):115–34.