

Chapitre 2 :

2^{ème} Séance

Procédés de séparation et de purification des fluides cryogéniques

➤ 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	

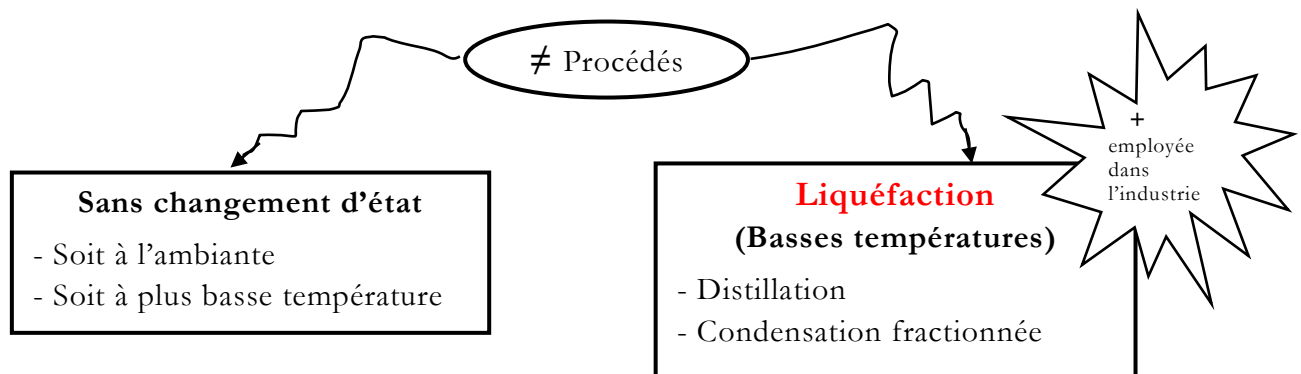
(Source : http://www.technobio.fr/pages/Les_fluides_cryogeniques-2051357.html)

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 :

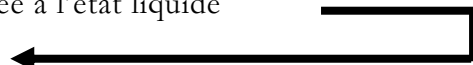
- soit pour donner plusieurs produits,
- soit pour purifier un seul produit.

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

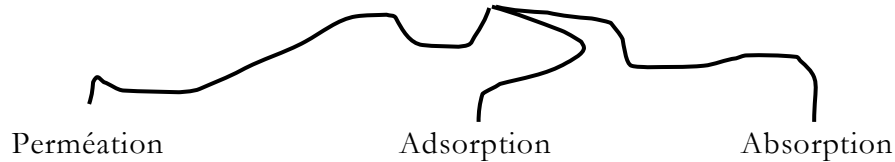


- Une partie des produits de la séparation demandée à l'état liquide

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

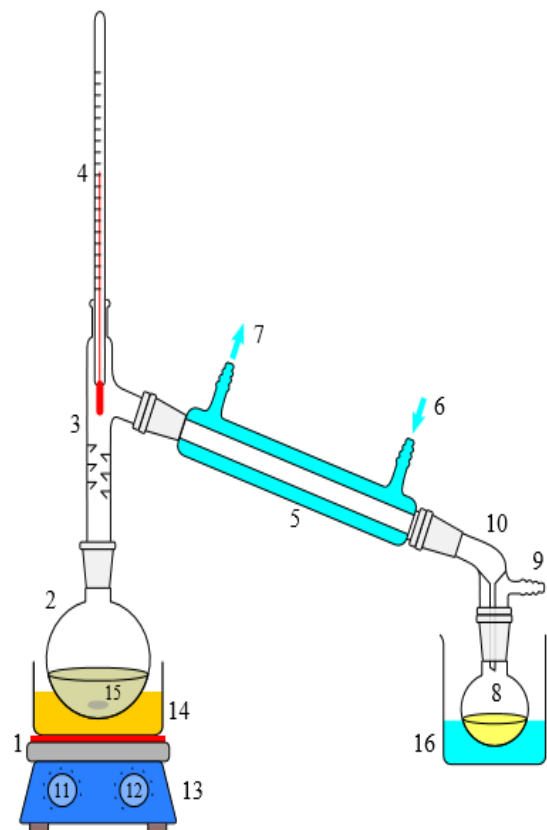
➤ La distillation

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**.