

## **Chapitre 4 : Stockage et transport des gaz industriels**

### **Stockage des gaz industriels**

Les bouteilles de gaz sont grandes, lourdes et relativement instables à cause du rapport diamètre de la base / hauteur. Pour la sécurité, il est important de respecter quelques règles de base lors du stockage de vos bouteilles :

- Stocker les bouteilles de façon appropriée.
- Stocker les bouteilles dans un lieu couvert et bien ventilé, de préférence à l'extérieur sur une surface plane, bien sèche et à l'ombre.
- Stocker les bouteilles verticalement et de façon sécurisée pour les empêcher de tomber.
- Stocker les bouteilles pleines et vides séparément, en faisant alterner votre stock de manière à utiliser les bouteilles les plus anciennes en premier.
- Séparer les bouteilles selon leur propriétés (inflammables, inertes, oxydants, et ainsi de suite). Les bouteilles avec un contenu inflammable doivent être stockées séparément des autres bouteilles.
- Des panneaux de sécurité doivent être affichés dans les sites de stockage en conformité avec les exigences légales.

#### **Faire attention**

- Aux propriétés de chacun des gaz.
- Aux exigences spécifiques de certains produits. Les gaz cryogéniques, liquéfiés et comprimés sont plus lourds que l'air et peuvent s'accumuler dans des zones basses telles que les canalisations, les sous-sols et les conduits. Prendre en considération tous ces éléments lors du stockage de ces gaz.
- Les composants électriques dans le lieu de stockage. Si vous stockez des gaz inflammables, l'équipement électrique doit répondre à certaines spécifications.

## Principe du cycle de Claude (Liquéfaction de l'air)

Le cycle de Claude a perfectionné le processus de liquéfaction de l'air en associant l'utilisation d'une machine de détente et d'une vanne à effet Joule- Thomson.

Ce cycle comprend comme illustre la figure suivante:

- un compresseur
- Un premier échangeur de chaleur, à la suite duquel une fraction importante du gaz à haute pression passe dans une machine de détente et est envoyée vers le gaz à basse pression.
- Un deuxième et un troisième échangeur, dans lesquels passe le reste du gaz à haute pression.
- Une vanne de détente.
- Un réservoir de liquide avec séparation du gaz qui retourne au compresseur à travers les trois échangeurs.
- Une entrée du gaz frais au compresseur.
- Une extraction du liquide

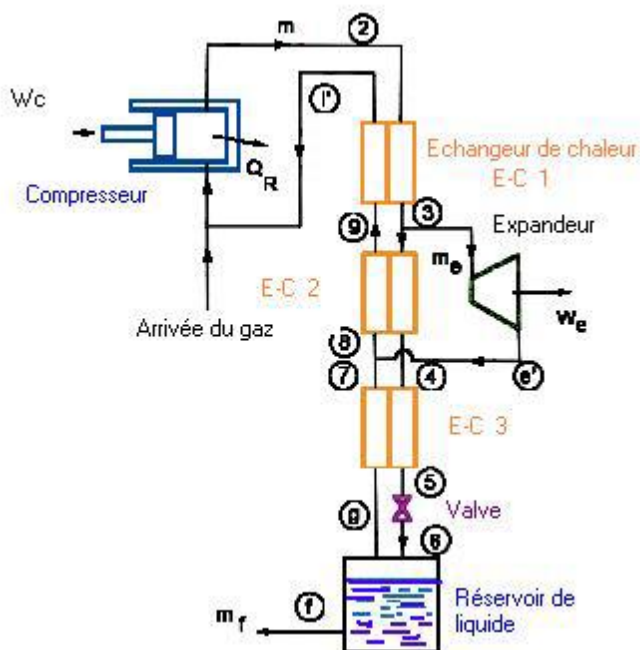


Figure 1 : Schéma de principe de cycle de Claude

Le principe de fonctionnement est comme suit (Figure 2) : le gaz est d'abord

comprimé de P1 à P2 à température constante, il est refroidi de 2 en 3 dans le premier échangeur.

Une partie me est détendue dans la turbine par une détente isentropique qui l'amène en e, ce gaz s'ajoute ensuite au courant gazeux qui revient du réservoir de liquide. Le reste du gaz traverse les deux autres échangeurs en 4 et 5, il subit une détente isenthalpique dans la vanne et pénètre dans le réservoir. Une partie se liquéfie et est évacuée en f, la partie gazeuse se dégage en g et traverse toute la série des échangeurs, après mélange en e avec la partie me, le courant gazeux est réchauffé à T1 et retourne à l'aspiration du compresseur avec une masse m1 de gaz frais.

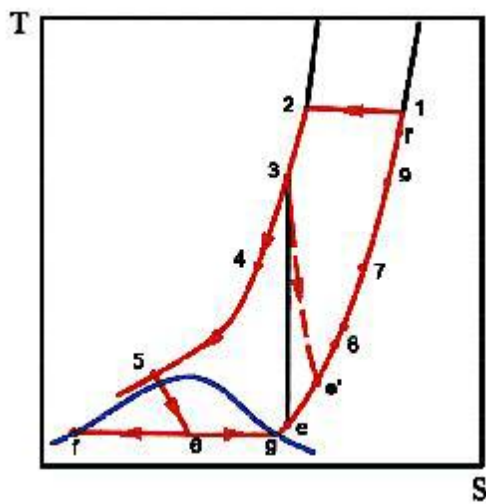


Figure 2 : Le diagramme T-S du cycle de Claude

**La double colonne de distillation** illustrée à la figure 1 comprend une colonne de distillation inférieure ou colonne moyenne pression 1, une colonne de distillation supérieure ou colonne basse pression 2, et, entre ces deux colonnes, un condenseur-vaporiseur 3. L'air à distiller, convenablement épuré, est injecté sous environ 6 bars par une conduite 4 en cuve de la colonne 1 pour donner naissance à un liquide de cuve 5 enrichi en oxygène, dit liquide riche, et à une vapeur de tête constituée presque uniquement d'azote.

Cette vapeur de tête peut être soutirée partiellement par une conduite 6 ; le reste est condensé dans le condenseur 3 et recueilli en tête de la colonne 1 dans une auge 7. Une partie de ce liquide, dit liquide pauvre, remonte par une conduite 8, est détendue à une pression légèrement supérieure à la pression atmosphérique dans une vanne 9 et est injectée sous forme liquide sensiblement au sommet de la colonne 2 pour s'écouler en reflux de cette colonne ; une autre partie du liquide pauvre peut être soutirée par une conduite 10, et le reste de ce liquide pauvre déborde de l'auge 7 et s'écoule en reflux dans la colonne 1.

Une partie du liquide riche remonte par une conduite 11, est détendue dans une vanne 12 équipant cette conduite et est injectée sous forme liquide dans la colonne 2 au-dessous du niveau d'injection du liquide pauvre. Le reste du liquide riche est envoyé par une conduite 11A dans le condenseur de tête d'une colonne non représentée de production d'argon, puis, après vaporisation dans ce condenseur, est renvoyé en 11B dans la colonne 2, quelques plateaux au-dessous du point où débouche la conduite 11.

La colonne 2 comporte encore, à un niveau inférieur à l'injection de liquide riche, deux conduites 13, 14 allant vers la colonne de production d'argon et revenant de celle-ci, respectivement; une conduite 15 de soutirage d'oxygène gazeux et une conduite 16 de soutirage d'oxygène liquide partent du bas de la colonne 2 ; un premier gaz résiduaire, constitué d'azote contenant quelques % d'oxygène (azote impur), peut être évacué par une conduite 17 située sensiblement au même niveau que l'injection de liquide pauvre.

La colonne 2, que l'on peut considérer comme limitée supérieure met au niveau de la conduite 17, est prolongée vers le haut par un tronçon de colonne additionnel 18 de plus petit diamètre qui communique par sa base avec la colonne 2 et qui comporte des plateaux ou un garnissage du même type que ceux utilisés en distillation et correspondant à un petit nombre de plateaux théoriques, par exemple à six plateaux théoriques. Une conduite 19 pourvue d'une pompe de relevage 20 part du bas de la colonne 2 et aboutit au sommet de ce tronçon 18. Le sommet du tronçon 18 est équipé d'une conduite 21 servant à l'évacuation de la vapeur de tête de ce tronçon, qui constitue un deuxième gaz résiduaire de l'installation.

En fonctionnement normal, la pompe 20 est à l'arrêt. Les débits voulus de gaz et de liquides sont soutirés par les conduites 6, 10, 15 et 16, et l'azote impur est évacué par la conduite 17 et/ou par la conduite 21, ce par un réglage approprié des vannes (non représentées) dont sont munies ces conduites. En tête de la colonne 2, le reflux est assuré uniquement par la remontée de liquide pauvre.

Il peut arriver que, pendant une période de temps limité, l'oxygène gazeux devienne excédentaire, par exemple du fait de l'arrêt temporaire d'une usine consommatrice directement reliée par une canalisation à la conduite 15. Dans ce cas, on met en marche la pompe 20 de façon à remonter par la conduite 19 un débit d'oxygène liquide égal au débit d'oxygène excédentaire, on ferme de façon correspondante la vanne de la conduite 15, et l'on manoeuvre les vannes des conduites 17 et 21 de façon à faire passer un débit approprié d'azote impur à travers le tronçon 18.

Par conséquent, de l'oxygène liquide à environ  $-180^{\circ}\text{C}$  est déversé sur le plateau supérieur du tronçon additionnel 18 et subit un échange à contre-courant avec l'azote impur arrivant à environ  $-196^{\circ}\text{C}$  au plateau inférieur de ce tronçon 18. Ceci conduit à l'évacuation d'azote chargé en oxygène par la conduite 21 à environ  $-190^{\circ}\text{C}$ , et à la chute au-dessous du tronçon 18 d'un liquide à environ  $-196^{\circ}\text{C}$

constitué d'azote contenant quelques % à quelques % d'oxygène. On peut aisément calculer le débit minimal d'azote impur permettant d'obtenir la teneur de ce liquide en oxygène qui convient pour que l'équilibre soit réalisé au niveau de l'injection de liquide pauvre.

- Au total :
  - - en cuve de la colonne 2, on a remplacé un soutirage gazeux par un soutirage liquide, ce qui revient à augmenter le chauffage de cette colonne ;
  - - au niveau de l'injection de liquide pauvre, on a superposé à ce liquide un débit supplémentaire de liquide de reflux, de sorte que les moyens assurant le reflux en tête de la colonne 2 sont constitués par la remontée de liquide pauvre et par le tronçon additionnel 18.
- En d'autres termes, on a augmenté à la fois le reflux  $R = L/V$  en tête de la colonne 2 et l'inverse de ce rapport en cuve de la même colonne. L'efficacité de la distillation dans la colonne 2 est donc améliorée, et l'on peut utiliser cette amélioration pour augmenter le rendement d'extraction en argon. Par exemple, ce rendement peut passer de 70 % à 88 % en recyclant 85 % de l'oxygène séparé par la conduite 19.

D'autre part, si l'on considère la section de la colonne 2 située au niveau de la conduite 17, c'est-à-dire juste au-dessous du tronçon additionnel 18, on constate que ce dernier a globalement pour effet de liquéfier à  $-196^{\circ}\text{C}$  environ un débit d'azote impur égal au débit d'oxygène liquide recyclé, ce au moyen d'oxygène liquide à environ  $-180^{\circ}\text{C}$ . Ainsi, le tronçon 18 assure un transfert frigorifique du type pompe à chaleur, qui résulte de l'énergie libérée par mélange dans ce tronçon, dans des conditions proches de la réversibilité, de l'oxygène et de l'azote.

- Ce transfert frigorifique peut aussi être utilisé pour augmenter les autres productions de l'installation :
  - - On peut augmenter le soutirage d'azote gazeux en moyenne pression par la conduite 6. En effet, ceci diminue la quantité d'azote condensée et donc le chauffage de l'oxygène liquide, ce qui a pour conséquence une diminution simultanée de la vaporisation en cuve de la colonne 2 et du reflux de liquide pauvre en tête de cette même colonne, mais ce phénomène défavorable peut être compensé par l'effet expliqué plus haut du tronçon 18 ;
  - - L'azote gazeux ainsi soutiré peut soit être utilisé en tant que tel, soit détendu, par exemple dans une turbine (non représentée) dont est pourvue l'installation, afin de produire du froid. Ce froid permet alors d'augmenter la production de liquide (azote ou oxygène) de l'installation ;
  - - L'augmentation de la production de liquide de l'installation peut être obtenue d'une autre manière, dans les installations à insufflation d'air dans la colonne basse pression, en augmentant le débit d'air turbiné, car, comme précédemment, la réduction consécutive du chauffage et du reflux de la colonne basse pression peut être compensée par l'effet du tronçon 18.

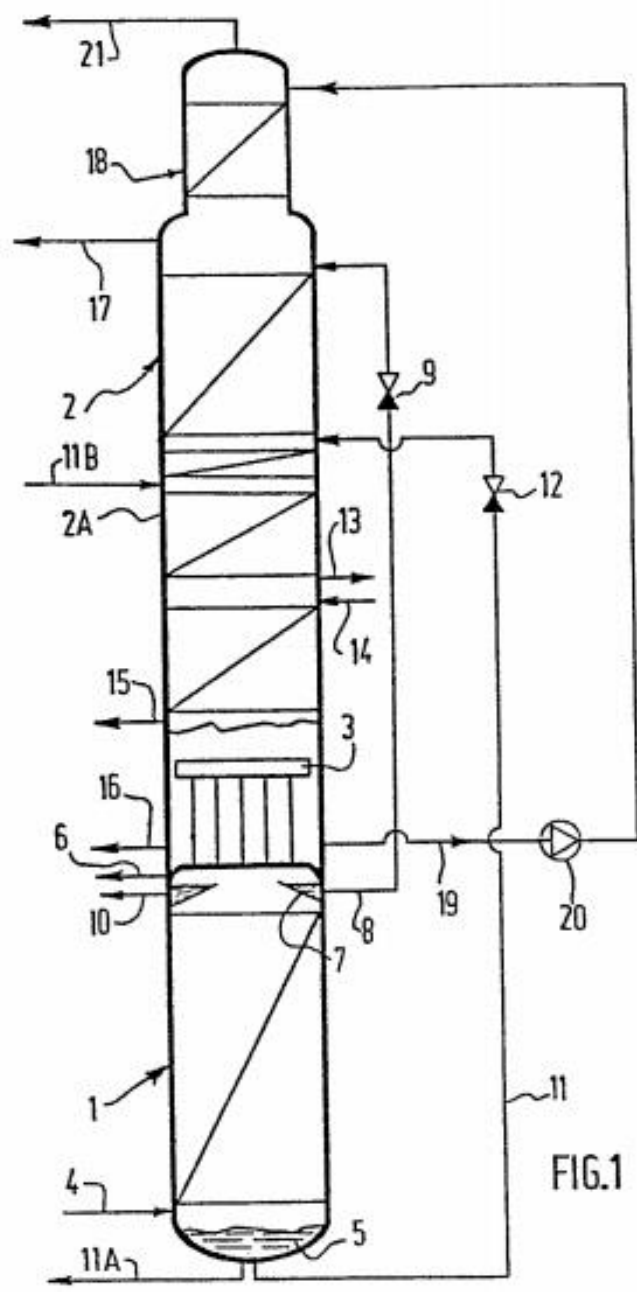


FIG.1