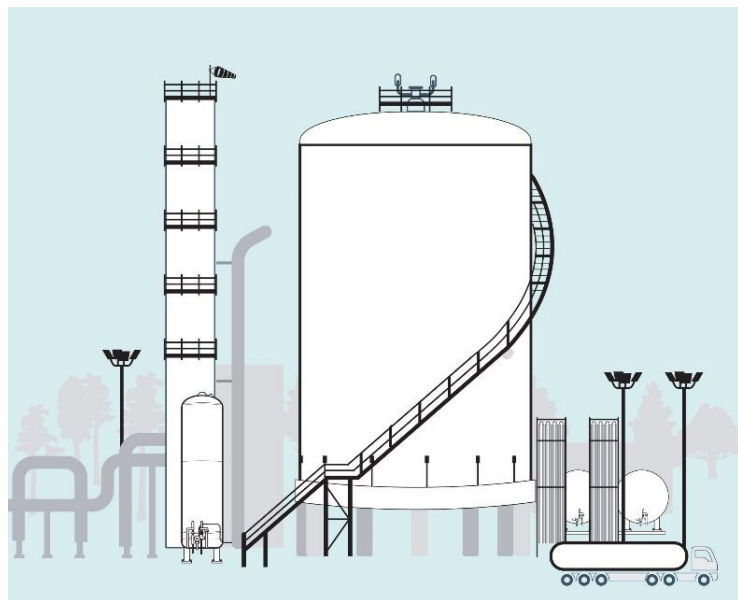


Production et stockage d'oxygène : Unité de séparation d'air

Résumé technique

Une unité cryogénique de séparation d'air (ASU) est une usine qui utilise les propriétés distinctes des principaux composants de l'air pour produire de l'oxygène de haute pureté, de l'azote, et parfois aussi d'autres gaz tels que l'argon. La technologie ASU repose sur un procédé de distillation fractionnée cryogénique, dans lequel les composants de l'air sont séparés par compression du gaz jusqu'à ce qu'il se liquéfie à températures extrêmement basses (-173°C à -193°C), puis par distillation sélective de ces composants à leurs différentes températures d'ébullition. Parce qu'il s'agit d'un processus particulièrement énergivore, la technologie ASU est généralement réservée aux contextes de production de moyenne à grande échelle. Une unité ASU peut être conçue en fonction de la pureté d'oxygène et des pressions de livraison requises. Des techniciens qualifiés doivent être présents en permanence pour assurer le bon fonctionnement de l'usine.



Spécifications essentielles

Une unité ASU peut produire 100 à plus de 5 000 tonnes d'oxygène par jour à niveaux de pureté de 95 à 99,5 % ou mieux. Le processus de séparation de l'air se déroule selon les grandes étapes suivantes :

- La **filtration**, pour éliminer la poussière et les autres impuretés.
- La **compression**, où l'air est comprimé à pression comprise entre 72 et 144 psig et l'eau est condensée dans des refroidisseurs intermédiaires.
- L'**élimination des contaminants**, au moyen d'un lit de tamis moléculaires constamment régénéré pour éliminer toute vapeur d'eau restante, les hydrocarbures et le dioxyde de carbone, qui gèleraient et boucheraient sinon l'équipement cryogénique.
- L'**échange de chaleur**, où l'air passe à travers des échangeurs de chaleur intégrés et est refroidi contre les flux cryogéniques de produits et de déchets pour former un liquide enrichi en oxygène et en azote, dans des colonnes de distillation distinctes à basse et haute pression par réfrigération.

- La **compression du produit**, où l'oxygène est comprimé à la pression fixe prescrite.
- Le **stockage**, où l'oxygène liquide obtenu de l'unité ASU est stocké dans des réservoirs isolés cryogéniques.

La construction d'une usine ASU varie suivant la capacité de production, la pureté et la pression requises pour l'application. Ces facteurs peuvent aussi influencer les matériaux utilisés. Pour l'oxygène, l'acier au carbone reçoit généralement la préférence du fait de son coût et de son efficacité aux températures extrêmes subies durant l'opération ASU.

Considérations d'ordre réglementaire

Si le produit est destiné à une application médicale, l'unité ASU doit être certifiée pour la production d'oxygène médical et tous les réservoirs d'oxygène liquide (LOx) doivent être certifiés sur le site de l'usine ASU et à la structure médicale. Un équipement analytique doté d'analyseurs d'oxygène de haute pureté doit assurer, durant le processus ASU, la production d'oxygène de qualité médicale conforme aux directives de la pharmacopée européenne et américaine. Un contrôle de qualité ou un processus de validation régulier est requis pour assurer la conformité de l'oxygène produit aux normes internationales sur les gaz médicaux. Les réfrigérants utilisés pour faciliter les basses températures requises pour une usine ASU (hydrochlorofluorocarbones et certains halocarbones) peuvent être soumis à réglementation locale. Une évaluation des réglementations et directives environnementales locales peut être nécessaire et la fabrication des réservoirs sous pression peut être soumise aux codes locaux.

Besoins en infrastructure

La technologie ASU exige électricité et eau de refroidissement.

- **Électricité** : La technologie ASU exige de grandes quantités d'énergie (électricité ou autres sources de carburant) pour maintenir les températures cryogéniques nécessaires au procédé. Par exemple, une usine ASU de 1 200 tonnes métriques par jour consomme plus de 16 mégawatts d'électricité et exige l'installation d'une alimentation électrique dédiée.
- **Eau de refroidissement** : Un système de refroidissement par évaporation (ouvert ou fermé) est requis pour refroidir les compresseurs et l'air de traitement pendant la production.

Délais de livraison

Concernant l'usine : Suivant la taille et l'emplacement de l'usine, la durée — du lancement du projet à la première livraison d'oxygène — peut dépasser 18 à 24 mois. Outre l'équipement mécanique fourni par un fabricant d'unités ASU, la construction de l'usine peut dépendre des services de nombreux entrepreneurs, pour l'excavation, la pose de béton, l'installation de la tuyauterie, l'installation électrique et celle des instruments, le montage des colonnes et le soudage de l'aluminium, le nettoyage de l'oxygène et le rinçage de l'huile de lubrification, notamment, chaque service pouvant dépendre en outre de l'accomplissement d'un autre. De plus, la construction peut être retardée du fait de la saison des pluies dans certaines régions, parfois jusqu'à plus de 45 jours par an. Une planification minutieuse du projet, en collaboration étroite avec le partenaire de construction, peut favoriser des délais de construction optimaux.

Concernant l'oxygène produit : Étant donné l'échelle de la production, les besoins énergétiques et les risques associés, l'oxygène liquide est toujours produit hors site. L'application médicale de l'oxygène liquide impose d'autres besoins d'équipement encore, pour le transport, le stockage et l'utilisation. Les options d'approvisionnement et de distribution varient d'une entreprise à l'autre. La structure du réseau d'une entreprise peut déterminer les délais de livraison d'un fournisseur et les coûts du transport. Les délais de livraison anticipés d'un fournisseur d'oxygène liquide doivent être pris en compte lors de la planification de la fréquence d'approvisionnement afin d'assurer la continuité.

Pour une consommation importante, il convient de considérer l'installation d'un réservoir évaporateur isolé sous vide (VIE) sur les lieux de la structure de santé, dimensionné en fonction de la fréquence de remplissage, et d'un évaporateur dimensionné pour répondre à la demande. Pour les besoins de moindre importance, ou pour les considérations d'appoint, des bouteilles de

gaz à haute pression sont utilisées. Il y a aussi l'option des bouteilles de liquide à vaporiseur intégré, qui se raccordent à une rampe de distribution. Étant donné le volume potentiel utilisable, elles offrent cependant rarement la solution la plus efficace. Tous les récipients de stockage doivent être certifiés pour l'utilisation d'oxygène médical. Pour les livraisons, des camions-citernes cryogéniques servent au transport de l'oxygène liquide et doivent être certifiés pour usage médical. Les camions utilisés pour le transport de bouteilles d'oxygène doivent être conformes aux protocoles de transport de gaz comprimés.

Autre matériel requis

La technologie ASU requiert en outre des cuves de stockage statiques isolées sous vide pour le stockage de l'oxygène liquide, un vaporiseur au site de production, des installations de remplissage à haute pression pour le remplissage des bouteilles et des camions pour le transport de l'oxygène liquide et des bouteilles. Pour la livraison, les camions cryogéniques et les cuves de stockage doivent être validés pour oxygène médical et des réservoirs de stockage cryogéniques isolés sous vide doivent être présents sur les lieux de la structure médicale ou à proximité.

Entretien

Les interventions d'entretien majeures exigent la mise hors service de l'usine pendant plusieurs heures ou même plusieurs jours. Les chaînes d'approvisionnement doivent être planifiées en conséquence pour compenser l'arrêt de production. Les principaux critères d'entretien/maintenance appropriés de la technologie ASU comprennent :

- **Main-d'œuvre** : Des opérateurs bien formés (généralement trois opérateurs couvrant trois postes de huit heures chacun) et un personnel de soutien de maintenance technique (responsables des opérations, mécaniciens et techniciens d'instruments) sont requis pour l'exploitation et la maintenance des installations de production 24/7.
- **Transport d'oxygène liquide** : L'oxygène liquide est un produit dangereux et les pays ont généralement une réglementation spécifique en place concernant la sécurité du transport. L'oxygène liquide destiné à de grandes structures médicales est généralement transporté par des camions-citernes spécialisés et décanté dans un réservoir de stockage cryogénique isolé sous vide installé sur les lieux de la structure médicale. Pour les grands utilisateurs de gaz industriel, l'oxygène gazeux peut être fourni par pipeline directement au point d'utilisation.
- **Remplissage de bouteilles** : Suivant le type d'installation, l'oxygène liquide peut être vaporisé pour remplissage, sous forme gazeuse, de bouteilles au moyen de compresseurs à haute pression, ou par pompe cryogénique et vaporiseur, pour être ensuite transporté en camion-citerne ou par camion-plateau modifié pour le transport sûr de bouteilles de gaz à haute pression.

Coût

Une usine ASU représente un coût d'investissement considérable et plusieurs facteurs fondamentaux doivent être pris en compte. En premier, il faut déterminer la taille de l'unité, d'après la demande et son taux de croissance anticipé, notamment. Si la croissance de la demande est de 8 %, par exemple, la taille de l'usine doit prévoir une charge initiale de 50 % de la capacité pour permettre l'accès à la pleine capacité à échéance approximative de 9,5 ans. En deuxième lieu, il faut tenir compte de la distance à la base d'utilisateurs, car les coûts de transport affectent le coût du produit et, en fin de compte, le rendement de l'usine ASU. Troisièmement, le coût de l'énergie déterminera s'il convient de construire une usine plus efficace au prix d'une mise de fonds plus importante. En moyenne, 75 % des coûts totaux sur la durée de vie d'une usine ASU de 200 tonnes métriques par jour représentent les coûts de l'énergie. Dans leur ensemble, les coûts d'investissement peuvent aller d'environ 25 millions de dollars américains pour une usine produisant 200 tonnes métriques par jour à 125 millions de dollars pour une usine produisant 3 000 tonnes par jour.

Du point de vue d'un fournisseur de gaz, un niveau d'investissement en capital élevé est courant pour une usine ASU étant donné les équipements requis au soutien des installations de production. Pour assurer le fonctionnement optimisé de l'usine, le fournisseur conclut avec les structures médicales ainsi qu'avec de gros utilisateurs de gaz industriel des contrats à long terme prévoyant le paiement de services à fréquence mensuelle, trimestrielle ou autre. L'infrastructure d'accompagnement

— réservoirs de stockage cryogéniques isolés sous vide, générateurs, appareillages, centrale de remplissage de bouteilles, camions et bureaux — exigent aussi des dépenses d'investissement considérables. Pour que l'usine atteigne une production rentable, l'utilisation des capacités doit être optimisée. Pour le fournisseur, les principaux coûts d'exploitation sont l'électricité, la main-d'œuvre et l'entretien.

Considérations ayant trait à la COVID-19

Dans le contexte d'une pandémie mondiale telle que la COVID-19, d'autres considérations doivent être prises en compte. L'oxygène liquide offre, en termes de coût par litre, la solution de livraison d'oxygène la plus abordable aux structures à forte demande. Il convient aux grands hôpitaux de référence à charges de patients élevées du fait de la COVID-19 ou du syndrome de détresse respiratoire aiguë. Cet avantage de coût est réalisé lorsque les structures se trouvent à proximité d'une usine de production ou d'un centre de stockage en gros d'oxygène liquide existant, suivant le modèle de distribution. Cela dit, bien qu'une usine ASU puisse fournir une grande quantité d'oxygène à prix abordable, le temps nécessaire à la construction et au lancement de la production est plus long que celui d'autres modalités, et la construction exige des ressources importantes. (Voir aussi, pour d'autres considérations, le dossier consacré au « système évaporateur isolé sous vide »).

Remerciements

Ce document fait partie d'une plus large série sur les technologies et les équipements de *Production et stockage d'oxygène*. Cette série se veut une introduction concise, à l'intention des décideurs chargés de gouverner, de diriger, de soutenir et de gérer les systèmes de santé. Elle leur offre un point de départ qui les aide à comprendre les solutions possibles à leur besoin d'oxygène médical et à son acheminement.

Cette série repose sur les données d'une recherche financée par la Fondation Bill et Melinda Gates. Les observations et les conclusions exprimées sont celles des auteurs. Elles ne reflètent pas nécessairement les positions ni les politiques de la Fondation Bill et Melinda Gates.

La série a été élaborée par PATH et la Clinton Health Access Initiative (CHAI) dans le cadre du projet COVID-19 Respiratory Care Response Coordination — un partenariat entre les organisations PATH, CHAI et Every Breath Counts Coalition formé pour soutenir les décideurs nationaux dans la mise au point et l'exécution d'un plan de soins respiratoires complet apte à faire face aux défis de la COVID-19. Le projet poursuit par ailleurs des stratégies qui aident à prioriser et améliorer l'accès à l'oxygénothérapie et aux autres équipements essentiels entrant en jeu dans les soins respiratoires, en tant que partie intégrante du renforcement des systèmes de santé, au-delà de la riposte à la pandémie.

Scott Knackstedt, Alex Rothkopf, Stassney Obregon et Alec Wollen, chez PATH, ont assuré la rédaction de la série avec l'aide de Jason Houdek, de Martha Gartley et de Tayo Olaleye, chez CHAI. Les auteurs tiennent à remercier, pour leur précieux retour, Lisa Smith, Andy Gouws, Evan Spark-DePass, Elena Pantjushenko, Carrie Hemminger et Conner House.

Renseignements complémentaires

path.org/programs/market-dynamics/covid-19-and-oxygen-resource-library