

Production et stockage d'oxygène

Juillet 2021

Remerciements

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. Renseignements complémentaires sur oxygen@path.org.

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.

Table des matières

Remerciements	i
Table des matières	ii
Abréviations	1
Conversion des unités	1
Introduction	2
Unité de séparation d'air	3
Résumé technique	3
Spécifications essentielles	3
Considérations d'ordre réglementaire	4
Besoins en infrastructure	4
Délais de livraison	4
Autre matériel requis	5
Entretien	5
Coût	5
Considérations ayant trait à la COVID-19	6
Installation d'adsorption à pression alternée (PSA) / à variation de vide (VSA)	7
Résumé technique	7
Spécifications essentielles	7
Considérations d'ordre réglementaire	8
Besoins en infrastructure	8
Délais de livraison	8
Autre matériel requis	8
Entretien	9
Coût	9
Considérations ayant trait à la COVID-19	9
Système évaporateur isolé sous vide	10
Résumé technique	10
Spécifications essentielles	10
Considérations d'ordre réglementaire	11
Besoins en infrastructure	11
Délais de livraison	11
Autre matériel requis	12
Entretien	12
Coût	12
Considérations ayant trait à la COVID-19	13
Concentrateur d'oxygène	14
Résumé technique	14
Spécifications essentielles	14
Considérations d'ordre réglementaire	14
Besoins en infrastructure	15
Délais de livraison	15
Autre matériel requis	15
Entretien	15
Coût	16
Considérations ayant trait à la COVID-19	16
Bouteilles d'oxygène	17

Résumé technique	17
Spécifications essentielles	17
Considérations d'ordre réglementaire	18
Besoins en infrastructure	18
Délais de livraison	18
Autre matériel requis	19
Entretien	19
Coût	19
Considérations ayant trait à la COVID-19	20
Accessoires d'oxygénothérapie	21
Résumé technique	21
Spécifications essentielles	21
Considérations d'ordre réglementaire	21
Besoins en infrastructure	22
Délais de livraison	22
Entretien	22
Coût	23
Information complémentaire	23
Considérations ayant trait à la COVID-19	23
Interfaces d'oxygénothérapie	24
Résumé technique	24
Spécifications essentielles	24
Considérations d'ordre réglementaire	25
Besoins en infrastructure	25
Délais de livraison	25
Entretien	25
Coût	26
Considérations ayant trait à la COVID-19	26

Abréviations

ASME	American Society of Mechanical Engineers (société américaine des ingénieurs mécaniques)
ASU	unité de séparation d'air
CE	certification européenne
DISS	Diameter Index Safety System (système de sécurité à diamètres indexés)
FDA	Food and Drug Administration (agence américaine des produits alimentaires et médicamenteux)
Hz	hertz
ISO	Organisation internationale de normalisation
kPa	kilopascals
kWh	kilowattheure
l/min	litres par minute
LOX	oxygène liquide
NFPA	National Fire Protection Association (organisation internationale de protection contre l'incendie)
Nm ³	mètres cubes normaux
OMS	Organisation mondiale de la Santé
PSA	Adsorption à pression modulée
psi	livres-force par pouce carré
V	volt
VIE	évaporateur isolé sous vide
VSA	Adsorption à variation de vide

Conversion des unités

Kilopascal (kPa)	Unité de pression, définie comme mille fois l'unité de force de 1 Newton uniformément répartie sur une surface de 1 mètre carré.	1 kPa = 0,145 psi = 0,0099 atmosphère = 0,01 bar
Atmosphère	Unité de pression, définie comme la pression exercée par 760 millimètres de mercure à 0 °C et à la gravité standard.	1 atmosphère = 101,3 kPa = 14,7 psi = 1,013 bar
Livres-force par pouce carré (psi)	Unité de pression, définie comme la force exercée sur un objet exprimée en livres de force par pouce carré de surface.	1 psi = 6,89 kPa = 0,070 atmosphère = 0,069 bar
Livres-force par pouce carré au niveau de la jauge (psig)	Unité de pression, par rapport à la pression ambiante ou atmosphérique.	psig = pression absolue – pression atmosphérique
Litres par minute (l/min)	Unité de débit volumique	1 l/min = 0,06 Nm ³ /h
Mètres cubes normaux par heure (Nm³/h)	Unité de débit volumique, où « normaux » signifie que la mesure est effectuée à température et pression normales (01,325 kPa, 0°C)	1 Nm ³ /h = 16,7 l/min

Introduction

L'oxygène médical a été relégué trop longtemps au second plan parmi les priorités concurrentes de la santé mondiale. Il s'agit d'un médicament essentiel reconnu par l'Organisation mondiale de la Santé (OMS), nécessaire au traitement d'affections aiguës aussi bien que chroniques, mais l'accès inéquitable, les pénuries de production, les insuffisances logistiques et une foule d'autres circonstances ont empêché l'adoption généralisée et la disponibilité régulière de cette ressource vitale. La pandémie de SARS-CoV-2/COVID-19 a mis en exergue l'importance de l'oxygène médical et révélé clairement la gravité du manque d'accès. À l'heure où les gouvernements et les systèmes de santé reconnaissent les dures réalités que la pandémie a mises à nu, donnant lieu à la mobilisation d'un engagement politique et social, une excellente occasion se présente de faire échec à l'inégalité observée et de faire en sorte que les patients du monde entier puissent retrouver leur souffle — de plus d'une façon.

Cette série d'informations sur l'approvisionnement, *Production et stockage d'oxygène*, se veut une introduction concise à l'intention des décideurs chargés de gouverner, de diriger, de soutenir et de gérer les systèmes de santé et leurs structures associées. En offrant un aperçu des principaux éléments qui définissent chaque technologie — ainsi que des considérations majeures ayant trait à la COVID-19 —, elle peut servir de point de départ à la compréhension des solutions possibles pour répondre au besoin d'un système de santé concernant l'oxygène médical et sa prestation. Elle doit être parallèle à un ensemble plus large de critères de planification et d'analyse nécessaires à la mise en œuvre de solutions d'oxygène médical. Tandis que les gouvernements, les organisations internationales et autres parties prenantes concentrent leur attention commune sur la question, le moment est venu d'agir pour les décideurs, et de le faire avec discernement, de manière responsable et dans le respect de patients qui souffrent depuis trop longtemps faute d'accès à ce produit indispensable.

RESSOURCES COMPLÉMENTAIRES

Organisation mondiale de la Santé (OMS). *Spécifications techniques pour les concentrateurs d'oxygène*. Genève : OMS ; 2016. <https://www.who.int/fr/publications/i/item/9789241509886>.

Organisation mondiale de la Santé (OMS), Fonds des Nations Unies pour l'Enfance (UNICEF). *WHO-UNICEF Technical Specifications and Guidance for Oxygen Therapy Devices*. Genève : OMS ; 2019 [en anglais]. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/329874>.

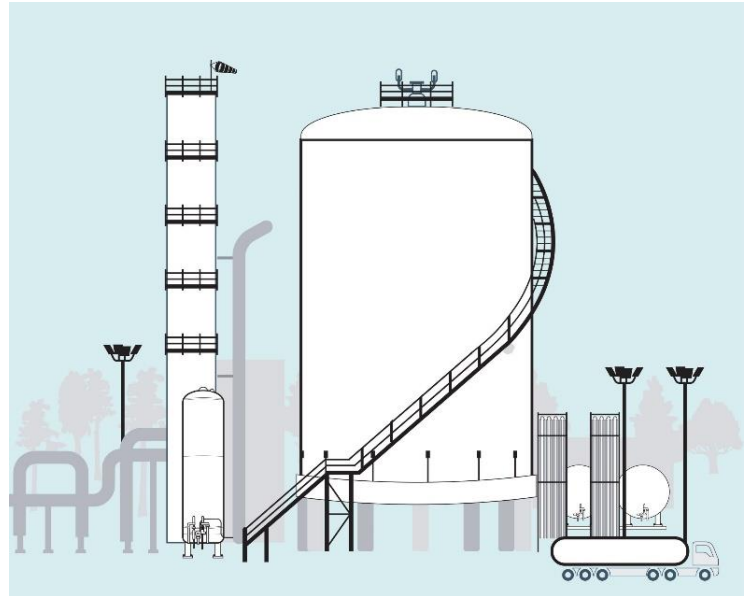
Organisation mondiale de la Santé (OMS). Chapitre 3 : Spécifications techniques pour les appareils d'administration et de mesure de l'oxygène. Dans : *Liste des dispositifs médicaux prioritaires pour la riposte à la COVID-19 et spécifications techniques associées* Genève : OMS ; 2020. <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/341098/WHO-2019-nCoV-MedDev-TS-O2T.V2-fre.pdf?sequence=3&isAllowed=y>.

PATH, Clinton Health Access Initiative. *Rapport sur le marché des équipements destinés à la prise en charge des affections respiratoires*. Seattle : PATH ; 2020. https://path.azureedge.net/media/documents/MarketReport_French_L1.pdf.

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.

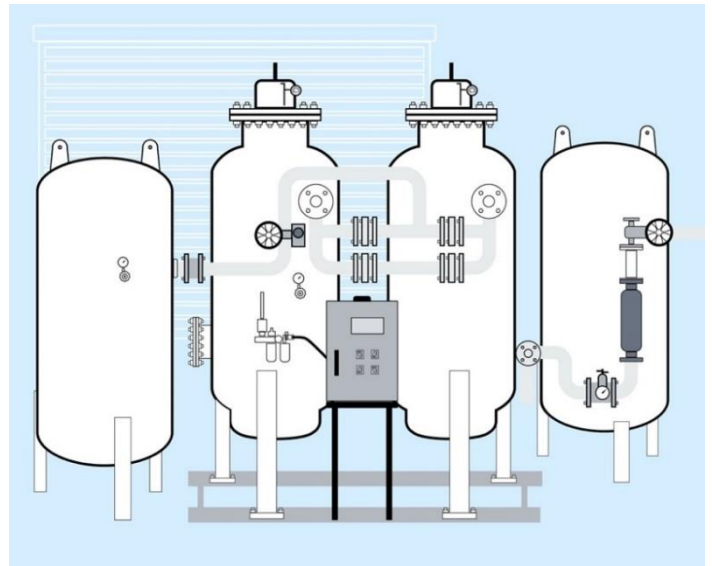
Considérations ayant trait à la COVID-19

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 »).

Installation d'adsorption à pression alternée (PSA) / à variation de vide (VSA)

Résumé technique

La technologie d'adsorption à pression alternée (PSA) permet de produire de l'oxygène, par concentration à partir de l'air ambiant. Dans ce processus, l'air est séché et ses impuretés, comme le dioxyde de carbone, les hydrocarbures et l'eau, sont éliminées. L'air passe dans des cuves d'adsorption sous pression dotées de valves d'interconnexion qui abritent la zéolithe — un minéral poreux contenant des composés d'aluminium et de silicium —, qui adsorbe préférentiellement l'azote et laisse passer l'oxygène. Une fois la zéolithe saturée et l'oxygène recueilli, la pression est réduite dans chaque cuve d'adsorption (passant de haute à basse) et l'azote est libéré pour permettre le traitement d'air supplémentaire et la production d'oxygène à travers le même tamis. Une installation PSA sur site peut fournir de l'oxygène à haute pression à tout un hôpital à travers un système de canalisation central ou par bouteilles remplies sur place.



La technologie d'adsorption à variation de vide (VSA) fait aussi appel à un tamis moléculaire zéolithe pour la séparation de l'oxygène et de l'azote, mais elle utilise un ventilateur à vide plutôt qu'un compresseur d'air et un plus petit nombre de cuves d'adsorption et de vannes. Ces systèmes consomment moins d'énergie, coûtent moins cher à l'emploi et peuvent fonctionner à plus haute altitude sans perte de performance, mais ils représentent généralement un coût d'investissement initial supérieur à celui d'une installation PSA comparable. L'oxygène produit l'est aussi à pression fortement inférieure à celle d'une installation PSA et il est souvent nécessaire d'ajouter un surpresseur d'oxygène à haute pression pour satisfaire aux besoins des réseaux de canalisation des établissements de santé. Indépendamment de la technologie, lors de la sélection d'un système PSA ou VSA, il est fondamental d'inclure dans l'appel d'offres de solides exigences techniques et de performance basées sur l'utilisation et l'emplacement prévus.

Spécifications essentielles

Les installations PSA et VSA peuvent varier en taille et en capacité, mais les spécifications de base comprennent une pureté de production d'oxygène de 93 % \pm 3 % et une pression de sortie continue de 50 à 55 livres par pouce carré au niveau de la jauge (psig) (US NFPA 99 : Health Care Facilities Code) ou de 400 à 500 kilopascals (kPa) (ISO ; tuyauterie seulement). Elles sont conçues pour une durée de vie minimale de 10 ans et doivent être capables de fournir la concentration d'oxygène spécifiée en continu à températures ambiantes de 10 °C à 40 °C, humidité relative de 15 % à 95 % et altitude de 0 à au moins 2 000 mètres. Une installation PSA/VSA doit être dotée d'alarmes sonores et visuelles en cas de panne de courant, de panne du système ou lorsque la concentration en oxygène tombe à moins de 90 % de pureté. Pour un système PSA classique, le débit nominal varie entre 8 et 2 500 litres par minute (l/min) (0,5 à 150 mètres cubes normaux par heure [Nm³/h]) à 50 psi. Les systèmes VSA peuvent atteindre des débits nominaux de 52 à 3 155 Nm³/h à 5 psig (34,5 kPa).

Considérations d'ordre réglementaire

Les installations PSA et VSA doivent avoir obtenu la certification européenne (marquage CE) ou l'approbation d'une autre autorité réglementaire rigoureuse. Les directives pertinentes comprennent les normes ISO 7396-1 et/ou de conformité à la pharmacopée des États-Unis/de l'Union européenne concernant l'oxygène à pureté de production de 93 %. L'enregistrement auprès des autorités sanitaires locales peut être requis en cas de distribution de bouteilles en dehors de l'établissement.

Besoins en infrastructure

Les systèmes PSA/VSA exigent tous une source d'électricité et un débit d'air ambiant suffisant. En ce qui concerne l'électricité, une source continue et fiable, idéalement de 230 V monophasé (VSA et vanes) et de 380 V–400 V triphasé 50 Hz (PSA et compresseur/sécheur), est nécessaire. Malgré de notables variations possibles, une installation PSA classique requiert environ 1,2 kilowattheure (kWh) par Nm³ produit à 65 psig, suivant l'efficacité du système et la pression de service de l'oxygène. Pour une installation VSA, environ 0,39 kWh par Nm³ de débit total à 2,7 psig est nécessaire, suivant l'efficacité du système. La consommation d'énergie augmente pour les pressions de service plus élevées et si le remplissage de bouteilles est requis.

Sur le plan opérationnel, certaines conditions environnementales doivent être remplies, concernant notamment la climatisation, la toiture et un système de ventilation adéquat qui assure l'admission d'air pur propre à la respiration ; aucun produit inflammable ne doit par ailleurs être présent dans la zone désignée. L'équipement génère une chaleur considérable et nécessite une climatisation adéquate pour le refroidissement. Monté sur patin (skid), un système PSA doit être installé dans une enceinte bien ventilée, à l'abri des intempéries.

On notera que les installations PSA/VSA sont aussi souvent configurées avec des conduites d'oxygène médical. Les systèmes de canalisation des hôpitaux délivrent généralement l'oxygène à pression plus élevée aux équipements tels que les appareils d'anesthésie et les ventilateurs. Ces systèmes éliminent la nécessité de transporter de lourdes bouteilles entre les différents services de l'hôpital ; ils doivent répondre à la norme de tubes en cuivre de type L et raccords en cuivre brasés. Un approvisionnement d'appoint (en bouteilles, par exemple) doit être prévu pour maintenir le débit d'oxygène en cas de panne de courant ou de problème mécanique. Plutôt que de recourir à la canalisation, certains hôpitaux utilisent un compresseur et remplissent leurs propres bouteilles pour usage local.

Délais de livraison

Suivant la taille, la personnalisation du système et la capacité du fournisseur, les délais de production varient de deux à 24 semaines. Selon le port d'origine et la destination finale, il faut en outre ajouter deux à 12 semaines de délai d'expédition. L'installation exige une approche logistique complexe, devant assurer l'expédition de plusieurs conteneurs du port d'entrée à la destination finale, sans compter le temps nécessaire à la préparation du site d'installation (qui peut être effectuée en parallèle). Les systèmes peuvent être assemblés sur place ou sont disponibles préassemblés, sur skid ou en conteneur d'expédition. Il faut aussi prévoir, pour l'entretien ordinaire et les réparations, un approvisionnement en pièces de rechange. Il est souvent conseillé de constituer un stock de pièces recommandées par le fabricant pour éviter les interruptions prolongées.

Autre matériel requis

Suivant les recommandations du fabricant, un réservoir d'air comprimé et/ou un réservoir d'oxygène, un compresseur d'air et un filtre/assécheur pour le compresseur d'air peuvent être requis. Dans ce cas, il n'est pas rare que les fabricants de PSA/VSA proposent les modèles ou spécifications recommandés, avec équipements supplémentaires sous forme de « package ». Pour les canalisations, des débitmètres et des régulateurs sont nécessaires. Un compresseur d'oxygène à haute pression peut aussi être requis, dans le cas des systèmes PSA/VSA également destinés au remplissage de bouteilles.

Entretien

Pour l'entretien **préventif** (planifié), un acheteur/propriétaire peut conclure avec le fabricant un contrat couvrant les opérations qui nécessitent l'intervention de techniciens et d'ingénieurs hautement qualifiés. Par exemple : le nettoyage ou le remplacement des filtres, la vidange des pièges à eau ou à huile, le remplacement des lubrifiants et l'étalonnage des capteurs de pression et d'oxygène. Une ventilation et un refroidissement adéquats doivent aussi être maintenus dans l'environnement de fonctionnement du système. Bien que courant, ce type de contrat d'entretien n'est pas toujours faisable, auquel cas les acheteurs doivent évaluer la disponibilité de techniciens formés ou de tiers qualifiés aptes à assurer l'entretien du système.

Pour l'entretien **correctif**, il peut être nécessaire de reconstruire une vanne ou un compresseur défaillant. Les tamis doivent aussi être rechargés périodiquement en cas de réduction de la capacité de production d'oxygène ou de la pureté.

Coût

Les coûts d'investissement dans un système PSA ou VSA dépendent de la taille, de la fonctionnalité, de l'équipement, de l'achat éventuel d'accessoires (ou d'autres produits) et de la conteneurisation du produit (qui réduit les coûts d'enceinte du système). Les systèmes PSA requièrent généralement des dépenses d'investissement inférieures à celles des systèmes VSA, dont les coûts initiaux peuvent être de 10 % à 20 % supérieurs, et qui peuvent nécessiter un compresseur pour l'alimentation d'un système canalisé. La plus grande efficacité des systèmes VSA peut cependant donner lieu à des coûts de fonctionnement nettement inférieurs, susceptibles d'amortir rapidement les coûts initiaux. À titre de référence, pour un grand hôpital (plus de 1 000 lits) d'Afrique de l'Est nécessitant une capacité totale d'oxygène pur à 93 % de 4 114 kg par jour, on estime à 800 000 dollars américains le coût d'une solution PSA, plus frais de fonctionnement (électricité, service et entretien) mensuels prévus à 1 900 dollars. Pour ce même hôpital, à volume journalier et pureté égaux, le coût d'un système VSA est estimé à environ 880 000 dollars, plus frais de fonctionnement mensuels prévus de 1 000 dollars. Pour les structures sanitaires de moindre envergure (150 à 200 lits), un système produisant des volumes adéquats coûterait plus près de 100 000 à 110 000 dollars. Les prix peuvent varier considérablement suivant le fabricant, le volume de production, le niveau de pureté et d'autres facteurs. En général, le marquage CE ou l'indication d'une autre homologation réglementaire rigoureuse majorent d'environ 5 % le prix d'un système neuf. Il importe d'étudier la demande de production locale et de bien comprendre les exigences fonctionnelles et les coûts associés de l'équipement envisagé.

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.

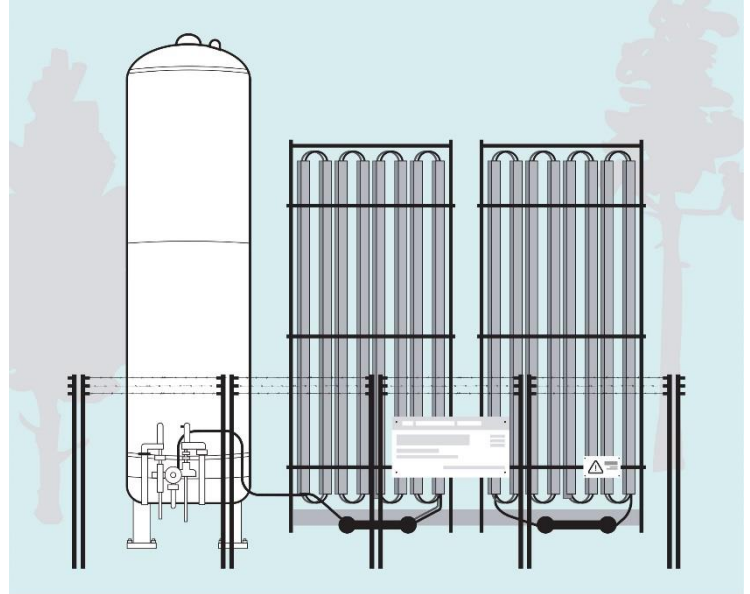
Notamment :

- Les systèmes PSA et VSA peuvent être adaptés aux besoins de volume de production. Les petits systèmes peuvent être montés sur skid et livrés aux établissements de santé pour une production assurée sur place. Les installations permanentes de grande envergure peuvent être construites à une certaine distance et l'oxygène produit peut y être stocké en bouteilles livrées par camions de transport. Les installations PSA et VSA peuvent du reste être configurées à double usage, au service d'un établissement de santé doté d'un système de canalisation directe de l'oxygène, avec surpresseur pour le remplissage et la distribution de bouteilles à d'autres structures proches.
- Les petits systèmes locaux sont largement autonomes et ne requièrent pas l'implication constante d'un technicien, mais la présence d'un personnel qualifié est nécessaire pour éviter les problèmes.
- Les systèmes PSA/VSA sur site doivent veiller à la pratique de mesures de contrôle des infections adaptées au système de canalisation qui achemine l'oxygène de la centrale aux chambres des patients.

Systeme évaporateur isolé sous vide

Résumé technique

Un réservoir de stockage d'oxygène liquide cryogénique est un réservoir isolé composé d'une coque extérieure en acier au carbone et d'un récipient interne en acier inoxydable, avec un espace vide isolant entre les couches pour minimiser l'entrée de chaleur. L'oxygène se liquéfie à -183°C à pression d'une atmosphère et est généralement stocké à pressions plus proches de 23 atmosphères. Avec les vaporiseurs, les vannes, la tuyauterie et un système de contrôle de la pression et de décharge, le réservoir constitue un **évaporateur isolé sous vide (VIE)**, capable d'alimenter un système central de canalisation d'oxygène dans une structure médicale et est souvent pris en location auprès d'un fournisseur de gaz médical. L'oxygène entre dans le système de conduites après évaporation passive dans le vaporiseur et ne nécessite donc pas de source d'énergie. Les systèmes VIE peuvent aussi être configurés pour remplir des bouteilles d'oxygène, sans électricité. Le transport de l'oxygène vers ces réservoirs et son stockage sous forme liquide nécessitent moins d'espace et sont moins coûteux que le transport et stockage sous forme gazeuse. Un litre d'oxygène liquide produit en effet 861 litres d'oxygène gazeux. L'oxygène liquide est économique pour les structures qui l'utilisent en grandes quantités, mais le liquide en vrac est produit dans une unité cryogénique de séparation d'air (ASU) et doit être transporté par camion-citerne vrac de l'ASU au VIE. La manipulation doit être prudente, pour éviter la possibilité d'une rupture accidentelle du réservoir sous pression et les risques de sécurité que cela poserait, en termes de brûlures par le froid et de source d'inflammation, notamment.



Spécifications essentielles

Le bon fonctionnement d'un système VIE doit répondre aux critères essentiels suivants :

- Un réservoir cryogénique d'oxygène liquide doit être installé, en position verticale ou horizontale.
- La capacité varie généralement de 500 à 25 000 litres de stockage d'oxygène liquide pour l'utilisation en structure de santé. Des unités de plus grande capacité peuvent être fabriquées sur mesure, si nécessaire.
- La pression de service maximale admissible varie entre 1 et 37 atmosphères.
- Le temps de rétention (durée entre le remplissage et l'évacuation de l'unité dans l'atmosphère) du réservoir varie entre 10 et 150 jours, suivant les spécifications du fabricant et les conditions ambiantes.
- Les capacités de débit varient entre 150 et 20 000 litres par minute, suivant la conception du vaporiseur et les spécifications.
- Des adaptateurs de remplissage approuvés distincts sont utilisés pour le remplissage de systèmes VIE pour oxygène liquide ou pour azote liquide, afin d'éviter les erreurs de remplissage.

Considérations d'ordre réglementaire

Il convient de confirmer avec un fournisseur que les systèmes VIE considérés sont conformes aux normes de certification ASME pour les chaudières et les appareils à pression. On veillera aussi à confirmer la certification des appareils à pression, de même que la conformité aux exigences ISO 21029 concernant la conception, la fabrication, l'inspection et les essais des systèmes VIE. Les protocoles de gestion de la qualité doivent être conformes à la norme ISO 9001/2000 concernant la constance et les exigences réglementaires applicables. Les systèmes VIE doivent aussi être conformes aux exigences réglementaires suivantes :

- ISO 20421-1 concernant les récipients cryogéniques – Récipients transportables isolés sous vide de grande contenance – Partie 1 : Conception, fabrication, inspection et essais
- ISO 21009-1 concernant les récipients cryogéniques – Récipients statiques isolés sous vide de grande contenance – Partie 1 : Conception, fabrication, inspection et essais
- ISO 21010 concernant les récipients cryogéniques — Compatibilité gaz/matériaux
- ISO 21013-1 concernant les récipients cryogéniques — Dispositifs de sécurité pour le service cryogénique – Partie 1 : Soupapes de sûreté pour service cryogénique
- ISO 23208 concernant les récipients cryogéniques — Propreté en service cryogénique

Besoins en infrastructure

Si l'évaporateur VIE en soi n'a pas besoin d'électricité pour fonctionner, tel n'est pas le cas de ses pompes de remplissage, ses systèmes de surveillance, ses alarmes et autres dispositifs de sécurité. Le VIE et son infrastructure doivent être installés dans une enceinte sécurisée, clôturée, bien ventilée, sans lignes électriques aériennes ni autres sources potentielles d'inflammation telles que des générateurs diesel. Il doit être strictement interdit d'y stationner et d'y fumer. La zone clôturée doit afficher la signalisation de sécurité prescrite dans les directives internationales de sécurité. Le réservoir doit être accessible aux gros camions-citernes cryogéniques vrac pour le remplissage. Un système central de distribution par canalisation avec vaporisateurs est requis, ainsi que des vannes d'arrêt, des détendeurs de pression et des soupapes de sécurité auxiliaires et des régulateurs de pression. Si un vaporisateur à air ambiant est utilisé, il doit y avoir un flux d'air adéquat pour absorber suffisamment de chaleur et éviter le givrage. Un vaporisateur à chauffage électrique est disponible pour les climats plus froids. Le vaporisateur doit aussi être dimensionné correctement pour satisfaire au débit maximum requis par l'établissement médical. Un second vaporisateur est généralement installé pour minimiser le givrage et permettre un service continu par cycles de huit heures.

Délais de livraison

Concernant le VIE : Des réservoirs isolés sous vide et vaporisateurs préfabriqués peuvent être commandés auprès d'un fabricant et, suivant la région, peuvent être livrés en l'espace d'environ un mois. La préparation du site, y compris l'excavation, le nivellement, le coulage du béton et les autres activités éventuellement requises pour l'installation du VIE, doit être assurée à l'avance. L'installation, du système VIE et de la tuyauterie associée, peut prendre cinq à sept jours suivant l'unité, la proximité du site et la disponibilité de techniciens. Généralement, un grand fabricant et fournisseur de gaz dispose d'une gamme de réservoirs VIE de différentes tailles qui peuvent être déployés au service des structures médicales, réduisant ainsi les délais de fabrication. Si l'infrastructure disponible est suffisante, un délai de trois à six mois entre la commande et la livraison d'un VIE doit être prévu. Pour les applications urgentes, toutefois, un VIE peut être installé et mis en service en l'espace de quatre semaines pour une structure médicale. Les délais de transport dépendent de la distance, de l'état des routes et de la disponibilité de camions (tels que plateaux) appropriés.

Concernant l'oxygène produit : L'oxygène liquide stocké dans un VIE est produit commercialement dans le cadre d'un processus continu au départ d'une unité ASU. Une entreprise d'oxygène en vrac peut aussi recourir à un système VIE à des fins de stockage intermédiaire (lors de l'importation d'oxygène liquide dans le pays, par exemple). Après vaporisation de l'oxygène liquide, un surpresseur peut être utilisé pour remplir des bouteilles destinées à la distribution locale aux hôpitaux. Certains VIE permettent le remplissage de bouteilles de liquide à gaz sans passer par un compresseur. De plus, les VIE installés dans le cadre d'un conteneur de transport standard peuvent être utilisés comme sources mobiles d'approvisionnement en oxygène pour les hôpitaux de campagne (« réservoirs ISO-Tank »). Les expéditions d'oxygène liquide par camion-citerne cryogénique doivent être conformes aux réglementations locales du pays en matière de transport et différentes options de réseau sont utilisées par les entreprises pour optimiser la livraison. La structure du réseau d'une entreprise peut déterminer les délais de livraison d'un fournisseur.

Autre matériel requis

Les accessoires suivants sont nécessaires au fonctionnement d'un VIE au service d'un hôpital :

- Vaporiseur pour la conversion de l'oxygène liquide en oxygène gazeux.
- Tuyauterie d'acheminement de l'oxygène gazeux vers/dans la structure.
- VIE configuré pour remplir directement les bouteilles, là où le remplissage de bouteilles est requis.
- Contrôles de pression et systèmes de décharge de pression pour la sécurité de l'utilisation et du fonctionnement.
- Alarmes système et de fonctionnement.

Entretien

L'entretien d'un VIE exige l'intervention de techniciens ou d'ingénieurs hautement qualifiés. Comme il s'agit d'un équipement loué aux structures médicales et entretenu par le fournisseur de gaz, ces techniciens et ingénieurs sont prévus dans le cadre d'un contrat de fourniture de gaz.

Les tâches **préventives** (planifiées) comprennent, entre autres, le nettoyage de la graisse et de l'huile accumulées sur les composants métalliques à l'aide d'un solvant de nettoyage approprié (tel que le trichloréthylène), le maintien du VIE en bon état de fonctionnement et l'inspection régulière des principaux composants du système. Les tâches d'inspection et d'entretien suivantes (variables suivant le fabricant de l'équipement d'origine et les réglementations locales) sont généralement recommandées : contrôle trimestriel des vannes et des raccords pour détecter les fuites et autres problèmes de fonctionnement, inspection annuelle des jauges de niveau et de pression, contrôle des soupapes de décharge et de leurs réglages tous les deux ans et remplacement des disques de rupture du VIE (si installés) tous les deux ans.

Pour les interventions **correctives**, la plomberie doit être ramenée à température ambiante avant de procéder à toute réparation. Les VIE doivent être ventilés ou vidés comme spécifié avant de procéder au remplacement de tous composants exposés à la pression ou au liquide cryogénique.

Coût

Suivant la taille du VIE, l'installation, avec toute l'infrastructure requise (tuyauterie, vaporiseur, enceinte, emplacement ombragé, etc.) peut coûter entre 10 000 et 100 000 dollars américains. Les structures concluent généralement un contrat de location avec un prestataire. Le coût de la location et de l'entretien/service opérationnel peut représenter jusqu'à 40 % du coût du VIE sur base annuelle. Ainsi, un système VIE de 100 000 dollars peut représenter un paiement mensuel de 3 330 dollars. Il convient peut-être aussi de considérer les coûts d'installation des technologies d'acheminement telles que les conduites de transfert dans l'hôpital ou une centrale de remplissage de bouteilles. Outre les coûts d'acquisition et de

transport du réservoir de stockage d'oxygène liquide, les coûts d'exploitation comprennent l'entretien/maintenance et la main-d'œuvre.

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.

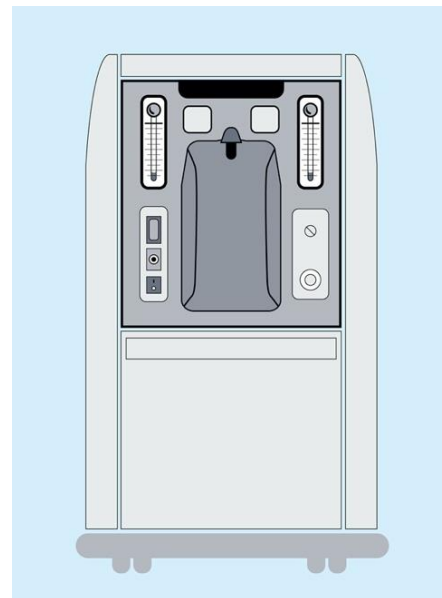
Notamment :

- L'oxygène liquide offre, en termes de coût par litre, la solution de livraison d'oxygène la plus abordable aux structures à forte demande et 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, suivant le modèle de distribution.
- La forte demande d'oxygène liquide et la fréquence accrue des recharges de VIE qui en découle exigent des considérations logistiques pour garantir un service ininterrompu. De plus, lorsqu'ils répondent à une demande de pointe ou qu'ils la dépassent — comme cela peut arriver pendant la pandémie —, les vaporiseurs qui convertissent l'oxygène de l'état liquide à l'état gazeux peuvent nécessiter une surveillance supplémentaire. Les volumes de débit accrus, en particulier en milieu humide, provoquent une accumulation de glace sur le vaporiseur. (Le problème peut être atténué en augmentant la taille, par jumelage, par dégivrage à l'eau ou par chauffage.)

Concentrateur d'oxygène

Résumé technique

Un concentrateur d'oxygène est un dispositif médical qui aspire l'air ambiant et le fait passer à travers des lits de tamis moléculaires pour en éliminer l'azote, concentrant ainsi l'oxygène ambiant à des niveaux thérapeutiques pour l'administrer de manière sûre aux patients. Les concentrateurs peuvent offrir une source durable d'oxygène médical à de nombreux niveaux des systèmes de santé, dans les structures disposant d'une électricité fiable.



Spécifications essentielles

- Les concentrateurs d'oxygène délivrent un flux d'oxygène continu (à concentration généralement comprise entre 90 et 96 %). Ils sont généralement dotés d'un débitmètre intégré (parfois deux) pour contrôler le flux d'oxygène fourni en litres par minute (l/min). Le débit de sortie maximum type varie entre 3 et 12 l/min, mais peut être supérieur à 20 l/min sur certains modèles. Les pressions de sortie peuvent varier entre 30 et 135 kilopascals (kPA). Ces pressions et débits peuvent être insuffisants pour l'emploi avec certains équipements. Il est par conséquent recommandé de vérifier les besoins en oxygène des accessoires pour assurer la compatibilité.
- L'appareil doit être doté d'alarmes sonores capables d'alerter l'utilisateur en cas de concentration en oxygène inférieure à 82 %, d'interruption de flux, de panne d'alimentation électrique, de batterie faible, de surchauffe et de pression trop forte ou trop faible. Les alarmes peuvent aussi indiquer la nécessité d'une intervention d'entretien.
- Les concentrateurs d'oxygène doivent s'accompagner de manuels d'utilisation et de maintenance comprenant notamment un guide de dépannage des problèmes souvent rencontrés.
- Le poids recommandé d'un concentrateur d'oxygène léger est inférieur à 27 kilogrammes.
- Les concentrateurs d'oxygène en service ne doivent pas générer un bruit supérieur à 50 décibels pondérés A.
- Leur consommation électrique doit être inférieure à 70 watts à 1 l/min.

Voir à ce sujet les spécifications et exigences techniques listées dans les documents [WHO-UNICEF Technical Specifications and Guidance for Oxygen Therapy Devices](#) [en anglais] et [Spécifications techniques de l'OMS pour les concentrateurs d'oxygène](#).

Considérations d'ordre réglementaire

Les concentrateurs d'oxygène doivent être approuvés par l'autorité nationale réglementaire pertinente du pays de destination et/ou sous autorité réglementaire rigoureuse (SRA) (Food and Drug Administration [FDA] américaine ou certification européenne [marquage CE], par exemple) suivant les critères de réglementation applicables dans le pays. Ils doivent également être conformes à la dernière norme ISO 80601-2-69 en date ou à son équivalent.

Besoins en infrastructure

Pour assurer la sécurité et le fonctionnement d'un concentrateur d'oxygène, il doit être muni d'une prise de courant compatible avec les prises de son emplacement de destination désigné, sous format d'alimentation en courant alternatif. De plus, le concentrateur doit être configuré pour correspondre à l'alimentation électrique du pays. Les deux configurations les plus courantes sont 120 volts (V)/60 hertz (Hz) et 220 V/ 50 Hz. Il existe cependant suffisamment de variations pour justifier la considération soignée de chaque achat.

Des sources d'alimentation de secours, telles que générateurs ou systèmes d'alimentation sans interruption (UPS), peuvent maintenir la production d'oxygène pendant les pannes de courant. Des dispositifs de conditionnement du courant tels que stabilisateurs de tension et parasurtenseurs peuvent être utiles à la protection des composants électroniques, au bénéfice de la durée de vie de l'unité. Les concentrateurs d'oxygène consomment entre 300 et 600 watts, dont la source doit être assurée. Le déploiement d'un concentrateur nécessite la disponibilité de prestataires cliniques dûment formés et de techniciens de maintenance et d'entretien qualifiés.

Délais de livraison

Le délai de production de concentrateurs d'oxygène varie généralement entre une et deux semaines, mais peut se prolonger jusqu'à huit semaines ou davantage quand la demande est forte. Les concentrateurs de 5 à 10 l/min mesurent généralement 35 à 55 cm de largeur, 25 à 40 cm de profondeur et 50 à 70 cm de hauteur. Ils sont généralement emballés individuellement et pèsent entre 15 et 30 kg, les modèles 10 l/min étant plus lourds et plus encombrants que ceux de 5 l/min. Les délais de livraison varient suivant le port d'origine et la destination, généralement entre deux et 12 semaines.

Autre matériel requis

Pour assurer l'efficacité d'un concentrateur d'oxygène, il faut disposer de différents accessoires, tels qu'adaptateurs, tubulure d'alimentation, interface d'administration (par ex., canules et sondes nasales), support et débitmètres montés et humidificateur à bulles. Un analyseur d'oxygène portable externe doit être disponible dans toute structure dotée d'un concentrateur. Le coût de cet analyseur peut être dissuasif, mais il importe d'en mettre un à la disposition de tous les techniciens qualifiés.

Entretien

La maintenance et l'entretien des concentrateurs d'oxygène se répartissent entre interventions préventives (planifiées) et correctives.

- Au niveau **préventif**, il est recommandé aux acheteurs de planifier une intervention de maintenance avec un technicien qualifié au moins une fois par an ou toutes les 5 000 heures de service. Un technicien compétent vérifiera alors la concentration d'oxygène à l'aide d'un analyseur d'oxygène, contrôlera la pression au moyen d'un manomètre, remplacera les filtres si nécessaire et vérifiera la pression de sortie et le débit (test de barbotage). Il convient de procéder régulièrement au nettoyage et à la décontamination de l'appareil. Les filtres grossiers doivent être retirés, lavés et séchés une fois par semaine ou plus souvent en milieu poussiéreux.
- Au niveau **correctif**, les acheteurs sont appelés à régler ou à remplacer certains composants de l'appareil au fil du temps, généralement pour cause de panne ou de performance réduite. Les composants les plus sujets à remplacement sont, entre autres, un compresseur, une carte de circuit, une tubulure interne, les capteurs, les tamis, les vannes et un ventilateur.

Sous régime d'entretien et de réparation adéquat, les concentrateurs d'oxygènes peuvent avoir une vie utile d'au moins sept années.

Coût

L'investissement représenté par un concentrateur d'oxygène varie suivant le modèle et la capacité, le fabricant et l'emplacement. Les coûts varient entre 400 et 2 000 dollars américains par concentrateur, avec un coût approximatif de 80 à 400 dollars pour les analyseurs. Les coûts de fonctionnement comprennent l'électricité, les réparations et l'entretien, également variables, respectivement, suivant la région, la disponibilité de pièces et le niveau de qualification du technicien local. Les coûts d'installation initiale sur site et d'installation par unité sont minimes, mais il importe de considérer l'approvisionnement en pièces pour l'entretien et les coûts permanents de l'électricité.

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.

Notamment :

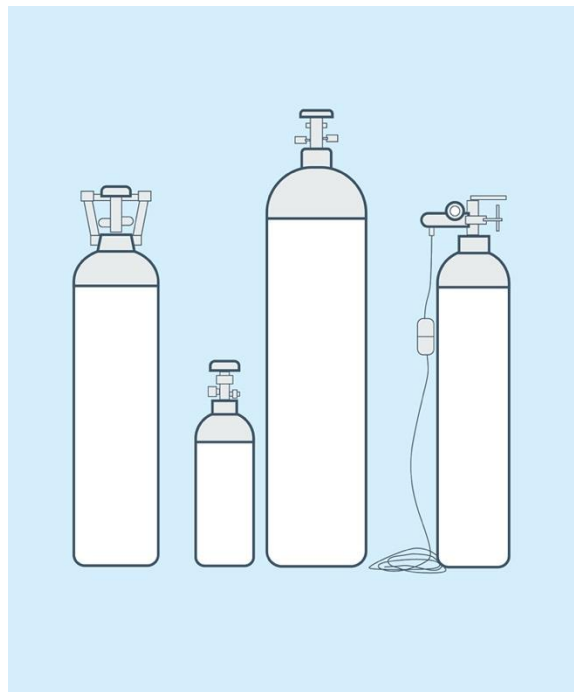
- Seuls les concentrateurs conformes aux spécifications de pression requises peuvent être utilisés au soutien de la ventilation. La plupart des respirateurs nécessitent un apport de gaz à 50 psi et certains ont un compresseur d'air intégré. On veillera à ce que les concentrateurs utilisés en combinaison avec la ventilation mécanique respectent ce seuil.
- Du fait d'un usage accru pendant la pandémie, les filtres du concentrateur doivent être nettoyés plus fréquemment pour réduire le risque de contamination.
- L'usage concomitant d'oxymètres de pouls est recommandé. D'autres équipements, tels qu'appareils d'anesthésie, CPAP à bulles et nébuliseurs, sont facultatifs et peuvent requérir une pression supérieure à celle fournie par le concentrateur disponible.
- Durant la pandémie de COVID-19, les délais de production et de livraison varient suivant le fabricant.

Bouteilles d'oxygène

Résumé technique

Les bouteilles sont des récipients durables et rechargeables utilisés pour stocker des gaz comprimés, tels que de l'oxygène, à l'état non liquide, sous haute pression (entre 725 et 2 900 psig). La taille des bouteilles portables varie, d'environ 50 à 1 000 litres de gaz comprimé, alors que les plus grands réservoirs fixes peuvent en stocker quelque 10 000 litres. Le gaz utilisé pour remplir les bouteilles peut être produit de différentes manières, par [adsorption à pression modulée](#) (PSA), [adsorption à variation de vide](#) (VSA) ou distillation cryogénique dans une [unité de séparation d'air](#) (ASU).

Les bouteilles d'oxygène se classent suivant leur capacité en liquide (litres) et leur pression de remplissage (kPa). Elles sont codées couleur pour en identifier le contenu (généralement noir avec ogive blanche selon les normes ISO ; certaines régions désignent les bouteilles d'oxygène médical par la couleur verte ou bleue). Pour le transport à destination des structures de santé, le robinet des bouteilles doit être protégé par un chapeau en acier ou une poignée de transport. Un ensemble détendeur et débitmètre donne accès à l'oxygène, directement ou en passant par d'autres dispositifs médicaux. Les bouteilles d'oxygène peuvent être la principale source d'oxygène ou servir de réserve d'appoint dans les structures de santé dotées d'une autre source principale. Voir les spécifications et exigences techniques listées dans le document [WHO-UNICEF Technical Specifications and Guidance for Oxygen Therapy Devices \[en anglais\]](#).



Spécifications essentielles

- Les bouteilles d'oxygène comprimé sont généralement fabriquées en acier ou en alliage d'aluminium.
- Les tailles standard en vertu de la norme internationale ISO sont AZ, C, D, E, F, G, H et J ; aux États-Unis (US), les tailles sont M2 à M265.
- Les bouteilles doivent être dotées d'un détendeur pour libérer l'oxygène à la pression de service correcte.
- Des robinets standard (bullnose ou pin-index) ou intégrés peuvent être utilisés avec les bouteilles d'oxygène. Si un robinet standard est sélectionné, il doit être conforme aux normes internationales ISO et US, soit ISO 407/BS 850/CGA 870, CGA 540, ou 3/8 po BSP (F) Bullnose BS 341.
- Pour les bouteilles à robinet intégré, un manomètre et un détendeur (à pression de sortie nominale de 4 bar ou 400 kilopascals [kPa]) sont déjà fixés à certaines mais pas toutes les têtes de bouteilles, généralement avec raccord cannelé de 6 millimètres (mm) et prise BS Schrader. Les tailles disponibles pour les robinets intégrés sous la norme ISO sont ZA, CD, ZD, HX, ZX et les tailles américaines (US) du système de codage M. La pression nominale pour une bouteille à robinet intégré varie entre 23 000 et 30 000 kPa (3 336 à 4 351 psi) selon la capacité de la bouteille et celle d'une bouteille à robinet standard est de 13 700 kPa (1 987 psi).

Considérations d'ordre réglementaire

La preuve de conformité réglementaire est exigée pour les bouteilles d'oxygène, de même que les classifications de risque par produit. Les bouteilles doivent être étiquetées correctement en tout temps et suivre le code couleur correspondant. La réglementation du transport et du stockage des bouteilles d'oxygène varie suivant leur état de remplissage (par ex., vide, partiellement remplie ou remplie). Un test de pression hydrostatique est requis tous les cinq ans. Les bouteilles d'oxygène doivent être conformes aux normes internationales et aux règles du Système général harmonisé de classification et d'étiquetage des produits chimiques sur les marchandises dangereuses et le gaz inflammable, explosif et comprimé (carré généralement noir, rouge, orange et vert, respectivement). Les codes d'incendie locaux peuvent aussi dicter les conditions de stockage et de manipulation des bouteilles d'oxygène, concernant notamment la ventilation, la séparation des produits inflammables ou sources d'allumage et la protection contre le basculement.

Besoins en infrastructure

Les bouteilles d'oxygène ne nécessitent aucun raccordement à l'électricité. Elles peuvent délivrer l'oxygène aux patients selon deux modes principaux :

- **Directement dans la zone de soins** : Les bouteilles sont placées au chevet ou à proximité du patient, avec détendeurs, jauges connexes et débitmètres.
- **Par canalisation en structure de santé avec système de distribution à rampe** : Les systèmes canalisés à rampe sont des installations permanentes faisant appel à une tuyauterie en cuivre (généralement de type L) avec raccords en cuivre brasés. Les rampes sont dotées de détendeurs intégrés à la tête des deux bancs pour assurer une pression d'entrée dans le système adéquate pour atteindre le terminal au chevet du patient. Ces systèmes canalisés ne requièrent qu'un débitmètre à raccord de connexion approprié au niveau de la prise murale (aussi appelée unité de chevet ou terminal).

La structure de santé doit disposer d'un système d'organisation des bouteilles remplies, partiellement remplies et vides, indépendamment du système de distribution, afin d'assurer leur remplacement rapide en cas d'urgence.

Délais de livraison

Transport des bouteilles : Les bouteilles sont généralement transportées sur camions à plateau, mais le mode de transport peut varier d'une entreprise à l'autre. Les camions doivent être dotés de pancartes ou signaler adéquatement le danger, textuellement et par pictogrammes, conformément à la réglementation locale applicable au transport de gaz comprimés inflammables (voir plus haut les *considérations d'ordre réglementaire*). Les entreprises utilisent aussi différents réseaux de distribution, susceptibles d'influencer les délais de réponse (de quelques heures à plusieurs jours) d'un fournisseur et les coûts logistiques. Suivant les conditions de l'offre locale, les structures de santé peuvent procéder par contrat de livraison de recharges ou elles peuvent assumer le transport vers et depuis les dépôts d'approvisionnement elles-mêmes ou par l'intermédiaire de services logistiques tiers.

Fourniture de bouteilles à une structure de santé : En temps normal, où les fluctuations de la demande restent modérées (contrairement aux situations de pandémie), la livraison de bouteilles peut être rapide car les fournisseurs puisent simplement dans leur stock de réserve.

Achat de nouvelles bouteilles à un fabricant : Lorsque la demande médicale excède les stocks disponibles, les fournisseurs peuvent se procurer des bouteilles supplémentaires et, en cas d'urgence médicale, rappeler les bouteilles de clients industriels. La demande accrue peut donner lieu à des goulots d'étranglement au niveau de la production ou de l'accès aux

matières premières¹, et contribuer ainsi à d'importants retards. Les délais d'expédition varient suivant le port d'origine et de destination, requérant généralement deux à 12 semaines.

Autre matériel requis

L'efficacité des bouteilles d'oxygène tient à une série d'accessoires. Au niveau opérationnel, les bouteilles requièrent les accessoires suivants : supports de bouteille ou chariots, clés (ou clés à molette) pour ouvrir les robinets, détendeurs, adaptateurs de tuyauterie à utiliser avec les détendeurs et/ou le robinet intégré avec tous raccords courants conformes aux normes internationales, débitmètre, humidificateur à bulles non chauffé et pièces courantes et fréquemment utilisées tels que joints, kit d'entretien, unité de réglage (boutons), adaptateurs et connecteurs.

Au niveau de l'administration de l'oxygène à un patient, il faut disposer de canules nasales, de masques, de tubulures, de sondes nasales ou de canules nasales à haut débit, d'un oxymètre de pouls, d'un humidificateur chauffé, d'un mélangeur et de machines de ventilation en pression positive continue. Si les bouteilles sont raccordées à une rampe, il faut prévoir un débitmètre au terminal de chevet.

Entretien

Sous entretien et réparations adéquats, une bouteille peut durer 20 à 25 ans. Les robinets et les débitmètres durent environ sept à 10 ans. L'entretien préventif (planifié) d'une bouteille d'oxygène consiste en une évaluation visuelle et un contrôle de fonctionnement avant l'emploi pour assurer une pression suffisante. Ces tâches doivent être accomplies chaque jour. Le bon fonctionnement des robinets et des détendeurs doit en outre être vérifié régulièrement. Un entretien planifié, avec nettoyage et contrôles de fonctionnement réguliers, doit être accompli par un prestataire certifié en matière de gaz médicaux comprimés et les bouteilles en soi doivent être soumises à un test de pression hydrostatique tous les cinq ans. Pour raisons de sécurité, les bouteilles cassées ou défectueuses doivent être remplacées immédiatement.

Coût

Coût des bouteilles obtenues auprès d'un fabricant : Le prix d'une bouteille de taille « J » ou équivalente (contenance nominale/capacité en oxygène de 6 800 litres) peut varier entre 54 et 229 dollars américains, à prix médian de 71 dollars, à l'achat auprès d'un fabricant. En cas de forte demande toutefois, comme pendant la pandémie de COVID-19, les prix peuvent augmenter considérablement ou être sujets à des fluctuations rapides suivant la demande mondiale.

Coût de location auprès d'un fournisseur d'oxygène médical : Les fournisseurs d'oxygène médical assument généralement la responsabilité de l'achat, du remplissage et de l'entretien dans le cadre d'un contrat de location conclu avec la structure ou avec le système de santé. Le preneur apporte une garantie au fournisseur contre le risque d'endommagement ou de perte d'une bouteille. Ainsi, un montant de garantie initial est généralement versé avant le montant de location mensuel d'environ 25 dollars par bouteille (en plus du montant de garantie), bien que le prix de la location puisse varier largement d'un prestataire à l'autre. Les coûts des accessoires nécessaires, tels que les détendeurs, courent aussi à charge du preneur.

¹ Les principales matières premières des bouteilles sont l'aluminium (alliage 6061) et l'acier. Les bouteilles de différentes tailles sont fabriquées en aluminium, mais les plus grosses peuvent aussi l'être en acier. L'acier inoxydable est utilisé presque exclusivement pour le stockage de l'oxygène liquide (par ex., évaporateur isolé sous vide).

Coût de remplissage des bouteilles : Le coût de remplissage d'une bouteille « J » standard (6,8 mètres cubes de gaz) peut varier largement du fait des différences de coûts de production, dans une fourchette approximative de 23 à 112 dollars la bouteille suivant la région. Les frais de transport, d'inspection et d'entretien sont souvent groupés avec ceux de la recharge.ⁱⁱ

Considérations ayant trait à la COVID-19

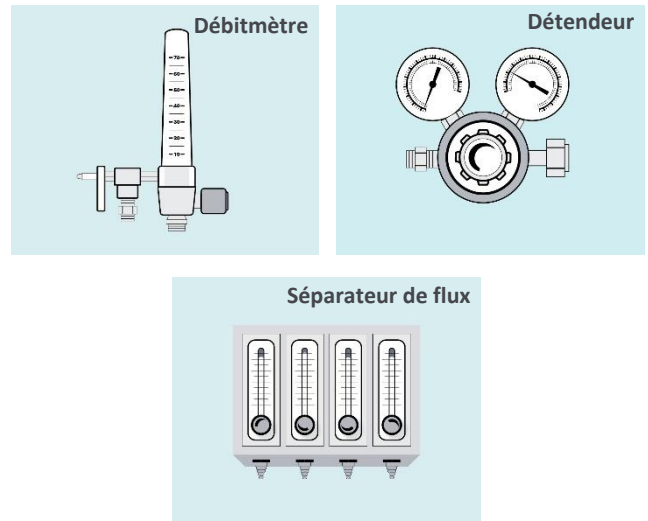
Dans le contexte d'une pandémie mondiale telle que la COVID-19, d'autres considérations doivent être prises en compte. Par exemple, pour réduire la propagation de COVID-19 par contamination de surface, les bouteilles et leurs accessoires doivent être nettoyés régulièrement. Ce nettoyage doit avoir lieu dans une « zone de décontamination » avant de quitter toute zone de contamination connue. Au moindre soupçon de contact contaminé avec la bouteille, on procédera immédiatement à la décontamination.

ⁱⁱ Cette information provient de : Davies M, Onwuzoo A, Mednick S. Fighting for breath: How the medical oxygen industry is failing African hospitals. *The Guardian*. 10 août 2020. <https://www.theguardian.com/global-development/2020/aug/10/fighting-for-breath-how-the-medical-oxygen-industry-is-failing-african-hospitals>.

Accessoires d'oxygénothérapie

Résumé technique

Les accessoires nécessaires à l'oxygénothérapie sont les appareils et dispositifs de régulation de l'apport d'oxygène depuis sa source (ligne centrale, bouteille ou concentrateur) jusqu'au patient. Ces produits comprennent différents types de débitmètre (à tube Thorpe, à cliquet, jauges à tube de Bourdon), les réducteurs de pression (ou détendeurs) et les séparateurs de flux. Ils assurent l'administration sûre de l'oxygène au patient et réduisent les coûts par gestion adéquate des volumes d'oxygène délivrés.



Spécifications essentielles

Principales spécifications applicables aux accessoires d'oxygénothérapie :

- **Réducteur de pression ou détendeur** : Totalement fermé, il doit avoir un débit minimal de zéro litre par minute.
- **Raccord d'entrée** : Il doit y avoir soit un raccord DISS fileté ou un raccord cannelé de 6 mm pour le port d'entrée.
- **Robinets de bouteille** : Il existe trois types de raccord courants : pin-index, bullnose et intégré.
- **Débitmètres à tube de Thorpe** : Ces débitmètres doivent avoir une colonne transparente, facile à lire et graduée, en polymère résistant aux chocs certifié pour usage médical. L'aiguille, la valve et le corps d'un débitmètre à tube de Thorpe doivent être fabriqués en aluminium ou en laiton et la pression manométrique d'entrée doit être étalonnée entre 345 et 380 kilopascals (kPa). Les débitmètres doivent être compatibles avec les unités terminales in situ et les décisions de sélection des produits doivent tenir compte des spécifications requises. Les unités terminales présentent différents types de raccord : DISS, Ohmeda, Chemetron, AFNOR, Oxequip/Medstar, Schrader et Puritan-Bennett.

Considérations d'ordre réglementaire

Les accessoires d'oxygénothérapie doivent établir la preuve de conformité réglementaire et les classifications de risque par produit en vertu des réglementations américaines (US), européennes (UE) et japonaises suivantes :

- 21CFR part 820 (US).
- 21CFR part 868.2320 (US) – Uncompensated Thorpe tube flowmeter.
- 21CFR part 868.2340 (US) – Compensated Thorpe tube flowmeter.
- Règlement (UE) 2017/745.
- MHLW Ordonnance n° 169 (Japon).
- 37132000 Débitmètre (Japon), oxygénothérapie.

Les accessoires d'oxygénothérapie doivent être conformes aux normes internationales suivantes :

- ISO 13485 - critères réglementaires applicables aux dispositifs médicaux - systèmes de gestion de la qualité - exigence à fins réglementaires.
- ISO 14971 pour l'application de la gestion des risques aux dispositifs médicaux.

La conformité à la dernière version disponible est recommandée et les dispositifs doivent être évalués et nettoyés pour le service dans le cadre d'un entretien conforme ou équivalent aux normes établies dans l'orientation CGA-4.1 de la Compressed Gas Association pour l'entretien d'équipement destiné au service d'oxygène.

Voir les spécifications et exigences techniques listées dans le document [*WHO-UNICEF Technical Specifications and Guidance for Oxygen Therapy Devices*](#) [en anglais] pour ces accessoires d'oxygénothérapie.

Besoins en infrastructure

Les accessoires d'oxygénothérapie ne nécessitent pas d'électricité. Il s'agit, pour tous, de dispositifs passifs, qui fonctionnent sous le flux de gaz médicaux. Les accessoires peuvent être raccordés à une source d'oxygène canalisée ou en bouteille. Des supports de débitmètre peuvent aussi être utilisés avec les concentrateurs d'oxygène. On remarquera qu'un détendeur doit toujours être raccordé aux bouteilles avant l'emploi d'un débitmètre à tube de Thorpe.

Délais de livraison

Les délais de production et de livraison des accessoires d'oxygénothérapie varient et dépendent de nombreux facteurs, y compris le port d'origine et la destination. En période de forte demande ou de rupture de stocks, on peut s'attendre à des retards pouvant aller jusqu'à 12 semaines. Les commandes en gros passées à l'avance peuvent réduire la probabilité de ruptures de stocks. Voir le [*Rapport sur le marché des équipements destinés à la prise en charge des affections respiratoires*](#) pour plus de détails à ce sujet.

Entretien

La maintenance et l'entretien des accessoires d'oxygénothérapie peuvent être préventifs (planifiés) ou correctifs.

Au niveau **préventif**, la maintenance et l'entretien concernent les points suivants :

- Les accessoires doivent être utilisés conformément à la pression nominale du débitmètre.
- Les débitmètres doivent être contrôlés et nettoyés régulièrement. Le dispositif doit être déconnecté avant le nettoyage.
- La surface extérieure d'un débitmètre doit être nettoyée et désinfectée conformément au protocole de prévention et de contrôle du fabricant.
- L'utilisation de lubrifiants est interdite car ils sont inflammables.

Au niveau **correctif**, la maintenance et l'entretien concernent les points suivants :

- L'utilisation d'un dispositif défectueux doit cesser immédiatement.
- Il n'est pas recommandé de réparer les dispositifs défectueux. Il convient plutôt de les remplacer sans délai.

Coût

Le coût des accessoires d'oxygénothérapie varie suivant la sélection des produits, le nombre d'unités achetées (des remises peuvent être accordées sur les achats en gros), le fabricant et l'emplacement. De plus, les spécifications techniques de performance souhaitées, concernant notamment le pourcentage de précision (débitmètres) et la pression nominale (robinets et détendeurs), élargissent la fourchette des coûts anticipés de l'accessoire. Les fourchettes à prévoir pour les accessoires peuvent inclureⁱⁱⁱ :

- Débitmètre à tube de Thorpe : 20 à 140 dollars américains
- Débitmètre à cliquet : 57 à 150 dollars
- Jauge à tube de Bourdon : 65 à 200 dollars
- Réducteur de pression (ou détendeur) : 30 à 280 dollars
- Séparateur de flux : 113 à 220 dollars

Information complémentaire

Les débitmètres doivent être connectés à des humidificateurs lors de l'administration de l'oxygène aux patients par canules ou sondes nasales à débit de plus de deux litres par minute.

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. Notamment :

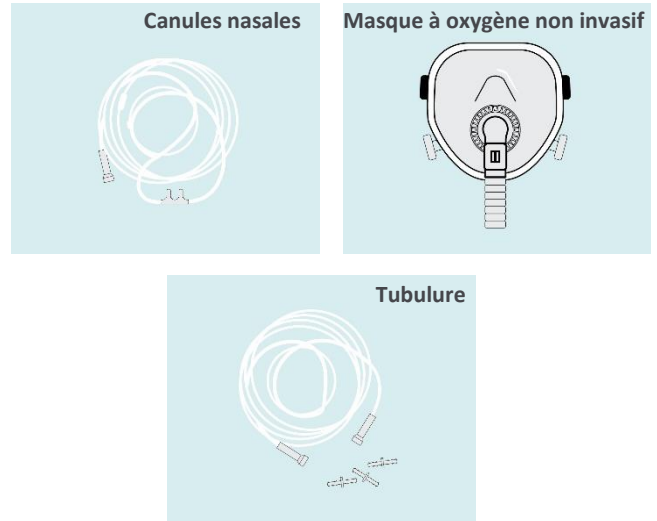
- Il convient de procéder régulièrement à la décontamination des surfaces des accessoires présents dans l'environnement des patients.
- Les délais de production et de livraison envisagés doivent tenir compte des retards potentiels.

ⁱⁱⁱ Pour le débitmètre à cliquet et le réducteur de pression/détendeur, la fourchette peut dépendre des spécifications de précision et de la pression nominale, respectivement. Les fourchettes indiquées le sont d'après les sources suivantes : Grainger, Medical Gas Installers, Broward A&C Medical Supply, 4MD Medical et Medex Supply.

Interfaces d'oxygénothérapie

Résumé technique

Les interfaces d'administration de l'oxygénothérapie sont les produits spéciaux à usage unique qui entrent en jeu dans la prise en charge des maladies respiratoires. Ces produits permettent aux professionnels de la santé d'administrer de l'oxygène supplémentaire aux patients afin d'assurer le maintien de niveaux d'oxygène adéquats dans le sang. Les consommables comprennent les canules/lunettes nasales (avec embouts), les sondes nasales ou nasopharyngées, les masques d'oxygénothérapie non invasive (sans respirateur), les tuyaux/tubulures, les humidificateurs à bulles et un assortiment de connecteurs et d'adaptateurs.



Spécifications essentielles

Principales spécifications applicables aux interfaces d'oxygénothérapie listées ci-dessus :

- **Canules nasales** : Doivent être dotées d'embouts et disponibles en plusieurs tailles (prématuré, néonatal, enfant et adulte).
- **Tubulure** :
 - Différentes longueurs de tuyaux doivent être disponibles.
 - Les tuyaux à usage unique sont généralement fabriqués en PVC flexible transparent ou coloré. Ils doivent résister aux pliures ou à l'écrasement pour prévenir toute déformation permanente en cas de pliure. Des tubes élastomères ou rigides renforcés peuvent être utilisés dans les applications réutilisables. Ils peuvent généralement supporter de plus hautes pressions.
 - Pour la tubulure, les produits doivent aussi être conformes à la norme 21/USP VI de la FDA américaine, être certifiés pour un usage médical et conformes à la norme 60 Shore A (ASTM D-2240).
 - L'épaisseur de la paroi doit être comprise entre 1,58 et 2,38 millimètres (mm) (1/16 et 3/32 po). Le diamètre interne doit être compris entre 3 et 5 mm (1/8 à 3/16 po) et doit être compatible avec un raccord cannelé standard de 6 mm (nervuré et conique).
 - Pour une sonde nasale, les tailles sont présentées en unités de mesure françaises, équivalentes à trois fois le diamètre du tube en millimètres.
 - Les masques doivent être disponibles en tailles enfant et adulte. L'Organisation mondiale de la Santé recommande un approvisionnement disponible de 30 masques non invasifs par ventilateur^{iv}.

^{iv} Cette information provient de : Organisation mondiale de la Santé (OMS). Chapitre 4 : Spécifications techniques pour les ventilateurs invasifs et non invasifs Dans : *Liste des dispositifs médicaux prioritaires pour la riposte à la COVID-19 et spécifications techniques associées* Genève : OMS ;

- **Humidificateur à bulles** : Doit avoir une capacité de débit allant jusqu'à 15 litres par minute, avec un limiteur de pression de sécurité à ≤ 14 kilopascals (kPa) ou deux livres-force par pouce carré de jauge (psig). Il doit être associé à un raccord d'entrée DISS (Diameter Index Safety System) pour la connexion au débitmètre et à une sortie cannelée pour la connexion à la tubulure. Un humidificateur à bulles fonctionne le mieux à température d'eau d'au moins 30°C.
- **Adaptateur de sortie conique cannelé** : Pour raisons de sécurité, un adaptateur de sortie conique cannelé spécifique à l'oxygène doit être utilisé pour la connexion au port de sortie d'oxygène DISS. Les sorties DISS varient en taille suivant le type de gaz médical utilisé.

Voir les spécifications et exigences techniques listées dans le document [WHO-UNICEF Technical Specifications and Guidance for Oxygen Therapy Devices](#) [en anglais] pour les interfaces d'oxygénothérapie.

Considérations d'ordre réglementaire

Les interfaces d'oxygénothérapie doivent établir la preuve de conformité réglementaire et les classifications de risque par produit, y compris l'enregistrement, l'autorisation et l'approbation de chacun. Cette conformité doit être appropriée pour la classification de risque du produit considéré. Les interfaces d'oxygénothérapie doivent être conformes aux normes suivantes :

- Normes ISO relatives aux équipements biomédicaux.
- ISO 13485 concernant les dispositifs médicaux et les critères de gestion de la qualité.
- ISO 14971 pour l'application de la gestion des risques aux dispositifs médicaux.
- ISO 10993-1 - Partie 1 concernant l'évaluation et les essais au sein d'un processus de gestion des risques.

Besoins en infrastructure

Les interfaces d'oxygénothérapie ne présentent aucun besoin sur le plan de l'infrastructure.

Délais de livraison

Les délais de production et de livraison des interfaces d'oxygénothérapie varient et dépendent de nombreux facteurs, y compris le port d'origine et la destination. Les commandes en gros peuvent aider à éviter les ruptures de stocks.

Entretien

Les produits d'interface d'oxygénothérapie sont à usage unique et ne nécessitent par conséquent aucun entretien. Un produit d'interface qui se brise n'est pas réparable. Les consommables tels que (entre autres) canules nasales, sondes nasales et masques doivent être jetés après un usage unique pour éviter la contamination. Certains humidificateurs à bulles peuvent être réutilisés pourvu qu'ils soient adéquatement décontaminés avant l'emploi pour un autre patient. L'eau d'un

humidificateur à bulles doit être remplacée chaque jour quand l'appareil est en service et la bouteille doit être décontaminée entre chaque emploi.^v

Coût

Les interfaces d'oxygénothérapie sont généralement peu coûteuses. Les prix varient suivant la sélection de produits, le nombre de commandes, les fabricants et l'emplacement. À titre indicatif^{vi} :

- Canules nasales : 0,34 à 3,25 dollars américains
- Sondes nasales ou nasopharyngées : 3,49 à 4,80 dollars
- Masques pour oxygénothérapie non invasive : 0,89 à 2,95 dollars
- Tubulure d'apport d'oxygène : 0,55 à 3,95 dollars
- Humidificateurs à bulles : 3,95 à 127,00 dollars
- Adaptateurs coniques cannelés : 24,00 à 50,00 dollars

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. Notamment :

- La décontamination des surfaces doit être pratiquée lors de la manipulation ou de l'élimination de consommables usagés.
- Les délais de production et de livraison envisagés doivent tenir compte des retards potentiels.

^v Cette information provient de : Organisation mondiale de la Santé (OMS), Fonds des Nations Unies pour l'Enfance (UNICEF). *WHO-UNICEF Technical Specifications and Guidance for Oxygen Therapy Devices* [en anglais]. Genève : OMS ; 2019.
<https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/329874/9789241516914-eng.pdf?ua=1>.

^{vi} Sources des fourchettes de prix indiquées : Grainger, UNICEF, 911 Emergency Supply, United Health Supply, Medex Supply.

Renseignements complémentaires

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

oxygen@path.org