

LE PROBLÈME DE L'OXYGÈNE DANS LES PAYS EN VOIE DE DÉVELOPPEMENT

P. L'HER, R. TCHOUA, R. HUTIN, A SOUMBOU, P. YOS, J-M. SAISSY

Med Trop 2006 ; 66 : 631-638

RÉSUMÉ • L'approvisionnement en oxygène (O₂) est un problème crucial dans les hôpitaux des pays en voie de développement (PED). Le sida, avec son cortège d'infections pulmonaires graves, majore ces besoins en oxygène. On meurt encore en 2006, même dans des capitales africaines, faute d'oxygène, alors que des solutions existent, financièrement viables adaptées aux PED. Dans les hôpitaux du Nord, l'O₂ est disponible par prise murale dans tous les services à partir d'un réservoir de stockage d'O₂ liquide à -183 °C, ce qui nécessite une technologie poussée de production par cryogénie, de stockage et de transport d'O₂ liquide. Dans les PED, l'O₂ est fourni par des bouteilles d'O₂ gazeux sous pression (200 bars), parfois en rampes alimentant des prises murales, mais le plus souvent déplacées d'un lit à l'autre en fonction des besoins. C'est un système coûteux avec, vu les distances et l'état des routes, d'énormes problèmes de transport dès que l'on quitte les capitales. Les ruptures de stock sont fréquentes, handicap majeur pour des soins de santé de qualité. Les concentrateurs d'O₂, faciles d'emploi, peu coûteux, rendent de réels services dans les structures de santé des PED, sous réserve d'une bonne maintenance. Les centrales de production d'oxygène PSA (Pressure Swing Adsorption), basées sur le même principe d'adsorption réversible de l'azote, réalisent un système d'alimentation en oxygène autonome, permanent, économique, idéal pour les hôpitaux des PED, permettant d'alimenter un circuit mural et/ou de remplir des bouteilles. L'investissement est généralement amorti en un à deux ans.

MOTS-CLÉS • Oxygène - Pays en développement - Concentrateurs d'oxygène - Centrales PSA - Zéolithe.

THE PROBLEM OF OXYGEN IN DEVELOPING COUNTRIES

ABSTRACT • Availability of a reliable oxygen (O₂) supply is critical for hospitals in developing countries. The AIDS pandemic that is associated with severe pulmonary infections has further enhanced this problem. Today in 2006, even though a number of financially viable solutions adapted to conditions in developing countries are available, lack of oxygen is still a cause of death in Africa including in some capital cities. Hospitals in industrial countries have wall outlets supplied from liquid O₂ storage tanks (-183°C). However this solution requires advanced cryogenic technology with storage as well as transportation of liquid O₂. In developing countries, O₂ is supplied from pressurized O₂ cylinders (200 bars) sometimes stored in racks to supply wall outlets but more often moved from bed to bed as needed. This solution is expensive because of the cost of transportation on poor roads in all areas outside capital cities. Frequent supply shortages lead to major disruptions in care quality. Properly maintained O₂ concentrators can provide a highly effective low-cost easy-to-use solution for health facilities in developing countries. The pressure swing adsorption (PSA) process based on reversible nitrogen adsorption is a reliable economical autonomous oxygen production process ideally suited to hospitals in developing countries. It can be used to supply wall outlets or fill cylinders. Return on investment is achieved within one to two years.

KEY WORDS • Oxygen - Developing countries - PSA Production - Oxygen concentrators - Zeolite.

L'oxygène est un médicament, soumis dans les pays riches à des règles de délivrance particulières. Utilisé en pratique clinique depuis plus de 200 ans, c'est probablement le produit le plus largement prescrit, tant à l'hôpital qu'en prise en charge pré-hospitalière des urgences.

Dans les pays riches, l'oxygène est un produit banal, à l'hôpital, mais aussi au domicile, pour la prise en charge des insuffisants respiratoires chroniques, domaine dans lequel la France a développé un système original et performant (1). C'est même un produit galvaudé, dans des bars à oxygène, qui délivrent de l'oxygène de qualité médicale, permettant, selon la publicité, «d'allier le plaisir de respirer les parfums subtils et délicats des huiles essentielles naturelles, aux bienfaits reconnus d'un supplément en oxygène (sic) dans le monde pollué où nous vivons»...

Dans les pays pauvres, l'oxygène est un produit précieux, difficile à obtenir, qui coûte cher et que les médecins n'utilisent qu'avec parcimonie. Il manque souvent dans les hôpitaux où les ruptures de stock sont fréquentes, et des patients meurent faute d'oxygène. Il n'est pas question de faire ici un exposé sur les indications et les modes de prescription de l'oxygène, sur lesquels on trouve de remarquables mises au point récentes (2) et des recommandations détaillées pour les pays en développement (3, 4) mais d'abor-

• Travail de l'Hôpital d'instruction Omar Bongo Ondimba (P. L., Médecin Chef des Services, Professeur Agrégé du Val de Grâce, Conseiller, Secrétaire Général aux Relations Internationales de la Société de Pneumologie de Langue Française, Président de Soutien Pneumologique International, Président de l'Organisation franco-Cambodgienne de Pneumologie ; R.T., Médecin Colonel, Professeur Agrégé du Val de Grâce, Réanimateur Médecin Chef de l'HIA OBO ; R.H., Ingénieur Biomédical ; A.S., Commissaire Lieutenant Colonel, gestionnaire), Libreville Gabon, de l'Hôpital de l'amitié Khméro soviétique (P.Y., Pneumologue, Vice Directeur de l'Hôpital), Phnom Penh, Cambodge et de l'Institut de médecine tropicale du Service de santé des armées (J.M.S., Médecin chef des services, Professeur Agrégé du Val de Grâce, Réanimateur), Marseille, France.

• Correspondance: P. L'HER, HIA OBO, BP 20404, Libreville, Gabon.

• Courriel : pierrether@infonie.fr

• Article sollicité.

der l'épineux problème de l'accessibilité de ce produit de base, dans les pays pauvres.

PRODUCTION ET DÉLIVRANCE D'OXYGÈNE

L'oxygène est produit à partir de l'air ambiant, composé de 78 % d'azote, de 21 % d'oxygène et de gaz rares, argon surtout. Deux techniques sont utilisées, la cryogénie (refroidissement jusqu'à liquéfaction de l'air puis distillation pour isoler l'O₂) et l'adsorption réversible de l'azote par la zéolithe. Il est aussi possible de produire de l'oxygène par hydrolyse d'eau distillée et la société Linde développe depuis peu un appareil, petit, léger et silencieux, mais uniquement pour les patients à domicile.

En pratique l'oxygène est délivré, dans les hôpitaux comme au domicile, de trois façons : oxygène liquide, obus d'oxygène gazeux (avec dans les deux cas, transport du lieu de production vers l'utilisateur) et production sur site par un système collectif (centrales PSA) ou individuel (concentrateurs d'O₂).

PRODUCTION D'OXYGÈNE PAR CRYOGÉNIE

Les deux premiers modes de délivrance, O₂ liquide et O₂ gazeux en bouteilles, reposent sur une production par cryogénie. Le procédé, qui requiert des températures très basses, est coûteux, consommateur d'énergie et nécessite des usines de production spécialisées.

Le principe est simple. On comprime, dans un réservoir, de l'air à température ambiante. La température de l'air s'élève. Cet air comprimé est ensuite refroidi à température ambiante puis détendu. Cette opération de détente entraîne un refroidissement et une liquéfaction de l'air. Préalablement l'air a été purifié pour enlever l'humidité, les poussières, les traces d'hydrocarbures. L'air liquéfié est ensuite dirigé vers une grande colonne de distillation, dans laquelle l'oxygène (point de liquéfaction - 183 °C) est séparé de l'azote (point de liquéfaction - 196 °C). Les installations permettent de produire et stocker l'O₂ sous forme liquide, de le transporter, à l'aide de camions-citernes spéciaux, dans les réservoirs d'O₂ alimentant le circuit de distribution des hôpitaux. Le stockage à l'état liquide permet d'emmagasiner de grandes quantités d'oxygène sous un faible volume, puisqu'un litre d'oxygène liquide libère, en se vaporisant, environ 850 litres d'oxygène gazeux à pression et température ambiante (Tableau I). Les usines de plusieurs pays d'Afrique subsaharienne (Côte-

Tableau I - Caractéristiques physico-chimiques de l'oxygène. D'après [2]

Poids moléculaire	32
Densité / Air	1,11
Masse volumique (15 ° C / 1 atmosphère)	1,35 Kg / m ³
Point de liquéfaction	- 183°C / 1 atmosphère
Equivalence liquide - gaz (15 ° C / 1 bar)	854 litres
Point critique	- 118°C / 50 bars

d'Ivoire, Gabon,...), filiales de l'Air Liquide, pourraient fournir de l'O₂ liquide aux hôpitaux. Le coût supérieur de fourniture de l'O₂ liquide par rapport aux cylindres gazeux empêche ce développement.

Dans la plupart des pays, l'oxygène fractionné par refroidissement, est produit uniquement sous forme gazeuse et comprimé dans des obus de taille variable, en général d'une contenance de 7,5 m³ pour les hôpitaux, sous une pression de 150 à 200 bars. Ils s'utilisent avec un détendeur qui réduit la pression de sortie à 3 bars et qui est muni d'un manomètre indiquant la pression résiduelle dans la bouteille. Un débitmètre placé sur le manodétendeur permet de régler le débit d'oxygène.

PRODUCTION D'OXYGÈNE PAR PROCÉDÉ PSA

La technique d'adsorption par variation de pression, PSA, (Pressure Swing Adsorption) est née des recherches de Guerin de Montgareuil et de Skarström qui ont déposé des brevets en 1957 et 1960. La technologie utilisée pour séparer l'oxygène de l'azote depuis 1964, produisait un mélange de 95 % d'oxygène et 5 % d'argon. Selon les fabricants (Tableau IV) la dénomination des techniques varie : PSA, VSA (Vacuum Swing Adsorption), VPSA (Vacuum Pressure Swing Adsorption), mais elles reposent toujours sur l'adsorption de l'azote à travers un tamis moléculaire sous des variations de pression ; la concentration habituelle d'O₂ obtenue est de 95 ± 1 %, mais il existe aussi des systèmes à hautes performances produisant de l'O₂ à 99 ± 0,2 %, et des matériels haut débit pour l'industrie, à 93 ± 3 %.

Principe de fonctionnement

Le procédé est basé sur la propriété des zéolithes de séparer les gaz selon leur affinité avec l'absorbant. Les zéolithes sont des aluminosilicates cristallisés microporeux. Les atomes Si et Al sont arrangés en structures cubo-octaédriques simples à l'origine d'une organisation cristalline régulière avec des propriétés poreuses sélectives. Plus de 120 types de structures élémentaires sont classées par l'International Zeolite Association.

L'unité de production d'oxygène par procédé PSA est constituée :

- d'un compresseur d'air ;
- d'une chaîne de filtration, avec un groupe de régénération qui élimine par condensation la majorité de l'eau, évitant de saturer trop rapidement les zéolithes ;
- d'un réservoir d'air comprimé purifié ;
- du générateur d'O₂ (= système PSA) constitué, dans sa forme classique, de deux colonnes d'adsorption, contenant la zéolithe, alternativement pressurisées et dépressurisées en 4 étapes appelées cycle de Skarström (Fig. 1) ;
- d'un réservoir de stockage d'oxygène à basse pression ;
- d'un analyseur de gaz et d'un système de régulation, alimentant le circuit de l'hôpital à 4 bars ;

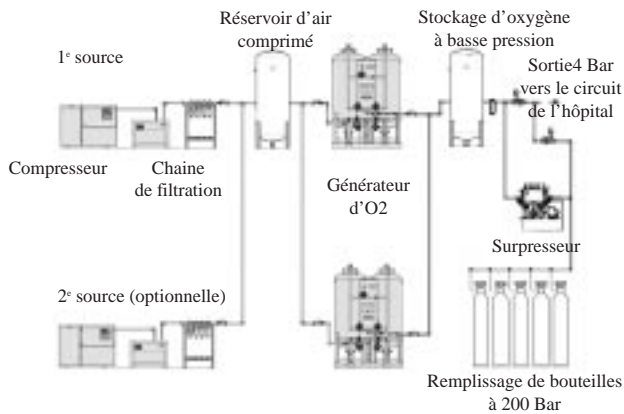


Figure 1 - Schéma d'une centrale PSA.

- d'un surpresseur pour le remplissage de bouteilles à 200 bars.

L'étape de saturation est la phase de production du procédé (Fig. 2). Lorsque la pression est maximale, l'extrémité de la colonne est ouverte. L'azote est adsorbé et de l'oxygène à 95 % récupéré en sortie. La colonne se sature progressivement en azote.

L'alimentation s'arrête lorsque la colonne est saturée. L'ouverture de l'extrémité inférieure de la colonne entraîne la chute de pression et une régénération de la colonne de zéolithes par « désorption » à contre-courant des composants adsorbés, qui sont rejetés dans l'atmosphère. Cette régénération est complétée par une purge à contre courant, à faible débit, avec de l'oxygène préalablement produit. La phase de production d'oxygène correspond à l'étape 2 du cycle. Pour que le système fonctionne en continu, il est nécessaire d'utiliser 2 colonnes effectuant le même cycle, de façon décalée. Le cycle complet dure de quelques secondes à quelques minutes suivant les systèmes.

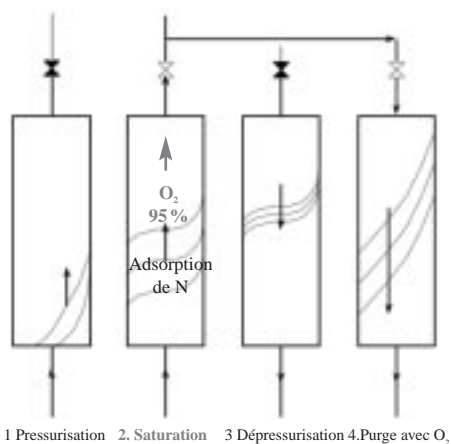


Figure 2 - Les 4 étapes du cycle de production de l'O₂ par procédé PSA, cycle de Skarström. La phase de production d'oxygène correspond à l'étape 2. Le système utilise 2 colonnes qui effectuent le même cycle de façon décalée. Pendant qu'une colonne est en production d'oxygène (étape 2), l'autre passe par les étapes 3,4 et 1 pour se régénérer. Le cycle complet dure de quelques secondes à quelques minutes selon les matériels.

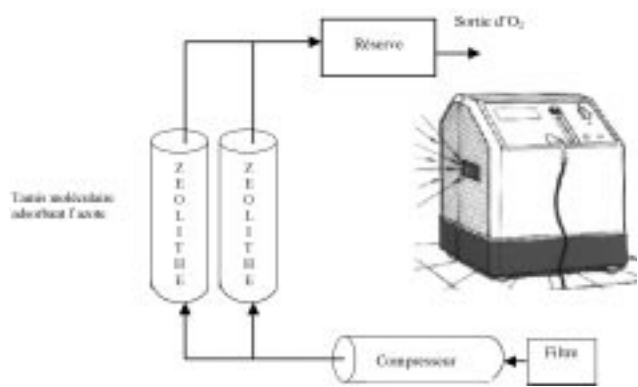


Figure 3 - Schéma de fonctionnement d'un concentrateur d'oxygène.

Les concentrateurs d'O₂ sont de petits meubles sur roulettes, pesant 20 à 28 Kg. (Fig. 3, 4) qui fonctionnent sur le même principe d'adsorption réversible de l'azote. L'air ambiant, comprimé grâce à un moteur électrique, passe dans un cylindre étanche contenant la zéolithe, qui retient l'azote et laisse passer l'oxygène. L'ensemble cylindre et zéolithe constitue un tamis. Le concentrateur comporte deux tamis, quand le premier « travaille », le second est nettoyé, et vice-versa. La teneur en oxygène à la sortie de l'appareil est supérieure à 95 % pour des débits de 2,5 l/min.

DISPONIBILITÉ DE L'OXYGÈNE DANS LES HÔPITAUX DES PED

Dans les PED, si l'oxygène est disponible dans la majorité des hôpitaux universitaires, il existe une importante inadéquation entre les besoins et la disponibilité en oxygène dans les hôpitaux de district (4) : l'O₂ n'était pas disponible dans 13 hôpitaux de district recensés par l'OMS au Kenya. Dans une étude en Tanzanie, 75 % des hôpitaux de district étaient approvisionnés en oxygène durant moins de 25 % de l'année (5). Il manque fréquemment l'équipement pour délivrer l'O₂ correctement, débitmètres en particulier. L'O₂ est fourni le plus souvent par des bouteilles d'O₂ gazeux sous pression (150 à 200 bars), de contenance variable (3 à 7,5 m³). En Afrique francophone, les fournisseurs préférentiels, souvent en situation de monopole, sont les filiales nationales de l'Air Liquide. Leurs usines de production sont performantes, respectant les critères de qualité de l'oxygène médical : bouteille de couleur blanche, teneur en oxygène ≥ 99,5 %, faible teneur en dioxyde de carbone, monoxyde de carbone et vapeur d'eau, avec en corollaire un coût relativement élevé de l'ordre de 40 euros la bouteille de 7,5 m³. Mais il n'en va pas de même dans tous les pays : au Cambodge l'usine de production est une vieille usine russe, exploitée localement, sans contrôle de qualité international, au prix exceptionnellement bas de 5,2 dollars US la bouteille.

Les bouteilles sont parfois disposées en rampes alimentant un circuit de distribution avec des prises murales. Les circuits de distribution murale sont parfois vétustes avec d'importantes fuites, source de danger et de perte d'argent.

Tableau II - Sources d'O₂ dans 24 structures chirurgicales tchadiennes. D'après [7].

Matériel	H. National (n= 1)	H. Préfectoraux (n= 4)	H. de District (n= 16)	H. Privés (n= 3)	Total (n= 24)
Sources d'O ₂	1	3	6	2	12
Obus	1	3	3	2	9
Concentrateurs	1	3	3	1	8
Source centrale	0	0	0	1	1
Oxymètre de pouls	1	0	2	1	4

Le plus souvent les obus sont déplacés d'un lit à l'autre ou d'une salle d'hospitalisation à l'autre, en fonction des besoins. C'est un système coûteux qui n'est justifié qu'en réserve de secours. Pour l'approvisionnement régulier d'un hôpital, ce système nécessitant la manipulation de bouteilles lourdes et encombrantes, à renouveler régulièrement, exposé aux ruptures de stock, n'est pas adapté. Dans certains pays, la livraison des hôpitaux de l'intérieur, pose d'importants et coûteux problèmes de transport, à cause des distances, de l'état des routes et des conditions climatiques. Cette opération de transport est à renouveler chaque semaine pour une disponibilité correcte de l'oxygène, le poids des obus et l'état des routes ne permettant guère de livrer plus de 10 bouteilles à chaque voyage.

Une thèse de médecine (7) a recensé, au Tchad en 2001, les moyens matériels et humains pour la pratique de l'anesthésie dans 24 hôpitaux (1 national, 4 préfectoraux, 16 de district et 3 privés), sur 35 hôpitaux pratiquant la chirurgie. L'auteur fait le constat d'une indigence matérielle criante, avec des pénuries, en particulier pour l'oxygène, frisant l'insécurité la plus totale pour les patients anesthésiés. Seulement la moitié des hôpitaux, 12 sur 24 (Tableau II) disposent d'une source d'oxygène ; un oxymètre de pouls n'est disponible que dans 4 structures. La source habituelle est l'obus d'O₂, mais on retrouve des concentrateurs d'O₂ dans 8 structures sur 24, ce qui est important par rapport à d'autres pays d'Afrique francophone.

L'OMS recommande d'administrer l'oxygène par concentrateurs (3-6) dans les PED, les cylindres posant des problèmes logistiques et financiers trop importants. Mais en Afrique, ils sont surtout utilisés en zone anglophone. Dans une discussion amorcée sur le Forum e-med (8) en janvier 2006, le Dr Guévert fait un plaidoyer enthousiaste sur les concentrateurs, mais des médecins et pharmaciens ont fait part de leur méconnaissance de ce système ; la Direction et les médecins de l'Hôpital Schweitzer à Lambaréné, pourtant confrontés aux difficultés de l'approvisionnement par bouteilles, ignoraient également tout de ce dispositif jusqu'à récemment.

Initialement conçus dans les pays développés, depuis 1960, pour l'oxygénothérapie de longue durée à domicile, ils peuvent utilement suppléer à l'absence ou à l'insuffisance des circuits d'oxygène dans les structures hospitalières des PED (9). Utiliser les concentrateurs ne dispense pas d'avoir de l'oxygène en bouteilles :

- lorsqu'il est nécessaire d'avoir l'O₂ sous pression pour actionner un respirateur ;
- en cas de panne d'électricité ;

- pour le transport des patients ; mais dans cette indication, le concentrateur Invacare, couplé à un compresseur (Fig. 8) constitue une solution efficace et économique sur la durée.

Afin que les hôpitaux de district disposent de sources d'oxygène fiable, l'OMS et l'UNICEF ont établi en 1997 (5) des spécifications pour un concentrateur robuste, capable de fonctionner de façon prolongée dans des conditions difficiles (ambiance chaude et humide, voltage instable, environnement empoussiéré...), avec fourniture de pièces de rechanges. Trois fabricants ont répondu à ces normes, Puritan Bennett Ltd., DeVilbiss Health Care Inc., et Healthdyne International.

Plusieurs expériences d'utilisation dans les PED (10 - 16), en pédiatrie pour les infections respiratoires aiguës et en chirurgie, ont montré l'efficacité de ces appareils et leur avantage en terme de coût et de disponibilité par rapport aux obus d'O₂ gazeux (Tableau III).

Si le courant n'est pas disponible, il est possible comme l'a montré Schneider en Gambie (14) d'utiliser l'énergie solaire qui reste rentable par rapport aux bouteilles, malgré le coût de l'investissement initial.

Les concentrateurs délivrent de l'O₂ à la pression atmosphérique et ne peuvent donc pas actionner un respirateur. Mais plusieurs expériences montrent l'intérêt, en chirurgie, des concentrateurs couplés à des ventilateurs. Shrestha et Singh (19, 20) rapportent au Népal 378 anesthésies réalisées à l'aide d'un concentrateur d'oxygène Devilbiss® associée à un ventilateur mécanique actionné par de l'air comprimé. Un système associant l'extracteur d'oxygène et un respirateur volumétrique Monal, mis au point par Air Liquide, a permis à Ndjaména des interventions chirurgicales assez lourdes (8). Pour l'anesthésie dans les environnements difficiles, Eltringham (21, 22) a développé depuis plusieurs années un système, largement décrit sur Internet, d'abord nommé Oxyvent puis Glostavent, combinant un

Tableau III - Comparaison des cylindres et des concentrateurs d'oxygène

	Cylindres	Concentrateurs
Coût d'investissement	Faible	Peu élevé
Coût de fonctionnement	Elevé	Très faible
Fiabilité	Bonne	Bonne
Maintenance	Simple	Nécessaire
Besoin d'électricité	Non	Oui
Permanence de la délivrance d'oxygène	Rupture de stock possible	Bonne, sauf panne
Approvisionnement	Transports itératifs	Production sur site



Figure 4 - Concentrateur d'oxygène démonté : la presseuse et les 2 colonnes de Zéolithe

concentrateur d'oxygène, un ventilateur et un vaporisateur pour les anesthésiques.

Le débit des concentrateurs est limité à 5 l / min, mais il est possible de brancher deux concentrateurs sur un raccord en Y pour délivrer des débits plus élevés, ce qui s'est avéré très utile au Cambodge, où la pneumocystose est fréquente au cours du sida et tue, sans un fort débit d'O₂ associé au traitement médical (23). A contrario, il est possible, en pédiatrie, de délivrer de l'O₂ à plusieurs enfants à partir d'un seul concentrateur.

Diverses expériences, comme celle de Perrelet à l'hôpital de Ndoum au Sénégal (16), montrent que l'implantation de concentrateurs doit être encouragée dans les PED, mais doit respecter une stratégie englobant enseignement, maintenance et suivi de l'opération. Un entretien régulier est nécessaire avec changement des filtres et contrôle des débits et de la concentration d'O₂ à la sortie. Du fait des conditions climatiques, la maintenance reste un problème majeur, que l'on utilise des concentrateurs neufs ou des concentrateurs



Figure 5 - Centrale de production d'O₂ PSA dans un container, à l'Hôpital communautaire de Bangui (RCA). Matériel de On Site Gaz International OSGINT. Exploitée par SOCACI, Société Centrafricaine des gaz industriels.

révisés. Il faut créer sur place, comme l'ADEP au VietNam, un centre de maintenance (24, 25). L'OFCP, qui a livré plus de 200 concentrateurs dans les hôpitaux du Cambodge, a développé pour résoudre ce problème, un partenariat avec un centre de formation professionnelle, le Centre Kram Noy à Phnom Penh, dans lequel des spécialistes de l'oxygène, en mission, forment des techniciens bio-médicaux.

Basé sur le même principe, les centrales d'oxygène PSA (Pressure Swing Adsorption) réalisent un système de production d'oxygène, économique, rationnel, idéal pour les hôpitaux des PED. Leur prix varie, selon la capacité de production, de 15 000 à 200 000 euros. Il inclut la livraison, l'installation et la formation des personnels. Leur coût est généralement amorti en deux ans d'achat de bouteilles d'O₂. De nombreuses sociétés proposent sur le marché des matériels performants (Tableau IV), dont une société française OxyPlus Technologie - Novair. Plusieurs sociétés proposent des centrales installées dans des containers ou en shelter, ce qui simplifie le transport et l'installation dans l'hôpital. La longévité de ces matériels est bonne, la première centrale installée par Craft Engineering au Centre hospitalier de Kigali au Rwanda, en 1989, fonctionne toujours. Ces centrales ne sont pas destinées uniquement à la santé mais aussi à l'aquaculture, à l'industrie minière, au traitement de l'eau par l'ozone, au traitement des déchets, à l'industrie métallurgique.

RÉFLEXIONS SUR LE COÛT DE REVIENT DE L'OXYGÈNE

L'hôpital militaire de Libreville, HIA Omar Bongo Ondimba, hôpital de 150 lits avec trois blocs opératoires, un service d'urgences, un service de réanimation, est progressivement monté en puissance depuis janvier 2006. L'hôpital est équipé de prises murales pour le vide et l'oxygène. L'oxygène est fourni par la Société Gaboa, filiale locale de l'Air Liquide. L'alimentation en O₂ est assurée par une «centrale deux fois 10», c'est-à-dire deux batteries de 10 bouteilles d'O₂, avec basculement automatique vers la batterie pleine lorsque la batterie en service est vide et une centrale de secours de 4 bouteilles. Depuis juillet 2006, la consommation mensuelle d'O₂ s'est établie à 188 obus de 7,5 m³. La dépense annuelle prévue est de 69 Millions FCFA, soit

Tableau IV - Fournisseurs de centrales PSA (avec une astérisque * les centrales disponibles sous container).

Société	Pays	Site internet
Air Liquide (1)	France	http://www.ca.airliquide.com
AirSep	USA	http://www.airsep.com
Craft Engineering*	Belgique	http://www.craft-engineering.com
Krenn Consulting*	Suisse	http://www.krennconsulting.com
Linde Gas s.a.	Allemagne	http://www.linde.com
OGSI	USA	http://www.ogsi.com
OSGINT*	Afrique du Sud	
OxyPlus - Novair*	France	http://www.novair.fr/oxyplus
Stephan FS	Allemagne	http://www.stephan-gmbh.com

(1) uniquement à destination industrielle



Figure 6 - Petite centrale de production d'O₂ à l'Hôpital de Koulamoutou (Gabon) avec de gauche à droite, le réservoir d'air comprimé, les deux colonnes PSA et le réservoir d'O₂ à basse pression. Matériel de OGSi. Cette centrale suffisante pour un hôpital provincial de 100 lits avec service d'urgence et bloc opératoire a coûté 16 000 euros et, par rapport à l'achat d'O₂ en bouteilles, a été amortie en moins d'un an.

105 190 euros. Les propositions de prix pour des centrales PSA, fournissant de l'oxygène à 95 %, au débit de 250 l/min, se situent entre 90 000 et 150 000 euros, soit un amortissement en 12 à 18 mois ; cet achat est à l'étude.

Pour un gros hôpital comme l'Hôpital Principal de Dakar (438 lits), régulièrement approvisionné, sans ruptures, le budget de l'oxygène est de l'ordre de 300 Millions FCFA, soit 457 000 euros. Ce budget annuel permettrait l'équipement par plusieurs centrales PSA, alimentant avec un débit suffisant les différents circuits de distribution de l'hôpital.

Plus l'hôpital est éloigné de la capitale où se situe l'usine de production, plus le coût du transport grève le prix de revient de l'O₂ et plus l'installation d'une production sur site est rentable, sans compter la suppression des multiples aléas de la piste, avec des retards de véhicules et des ruptures fréquentes d'approvisionnement. Ainsi à Koulamoutou (Fig. 6), à 600 Km, 12h de route, de Libreville, la petite unité de production PSA a été amortie en moins d'un an.



Figure 7 - Centrale de production d'O₂ PSA à fort débit, à l'Hôpital Calmette de Phnom Penh (Cambodge), permettant de remplir des bouteilles et d'alimenter le circuit de l'hôpital (blocs opératoires, réanimation). Matériel AirSep

À l'hôpital Schweitzer de Lambaréné, à 4 heures de route de Libreville, l'oxygène revient à 17 Millions FCFA par an, dont 5 Millions liés aux frais de transport. L'association SPI (Soutien Pneumologique International) a entrepris de fournir des concentrateurs d'oxygène à cet hôpital. La mise en place de dix concentrateurs d'O₂ permettra une économie annuelle de 10 Millions FCFA et apporte un confort d'utilisation, d'emblée ressenti par le personnel, un concentrateur de 26 Kg sur roulettes se manipulant plus facilement d'un patient à l'autre qu'un obus de 78 Kg ! Le fonctionnement du bloc opératoire nécessitera de poursuivre l'achat de bouteilles d'O₂. Pour cet hôpital pavillonnaire de 200 lits, avec des bâtiments éloignés les uns des autres, un circuit de distribution général par une centrale PSA unique n'est pas adapté. L'autonomie en oxygène serait cependant possible, avec des concentrateurs pour les salles d'hospitalisation et, pour le bloc opératoire, un générateur compact raccordé au réseau et aux respirateurs, délivrant un débit d'oxygène de 20 l/min (coût moyen 20 000 euros).

Les centrales PSA nécessitent peu d'entretien, mais il est préférable d'avoir un prestataire de proximité pour la maintenance. Un partenariat avec le «gazier» local serait idéal. En Afrique francophone, Air Liquide est largement implanté et est le plus souvent en situation de monopole ; l'orientation est plus marquée vers l'industrie (Fig. 9) que vers la santé. Mais les filiales africaines d'Air Liquide, habituées à leur monopole, considèrent actuellement la mise en service des centrales PSA comme une sorte de concurrence déloyale. Elles opposent aux clients désireux d'acquiescer une centrale PSA, l'argument de l'oxygène médical à 99,8 %



Figure 8 - Concentrateur Invacare relié à un compresseur permettant de remplir une bouteille d'O₂ portable, simplifiant le transport des patients sous oxygène. En service à l'Hôpital de l'Amitié Khméro-Soviétique Phnom Penh (Cambodge) depuis 2003 - Don de l'OFCP et d'Isis Médical.

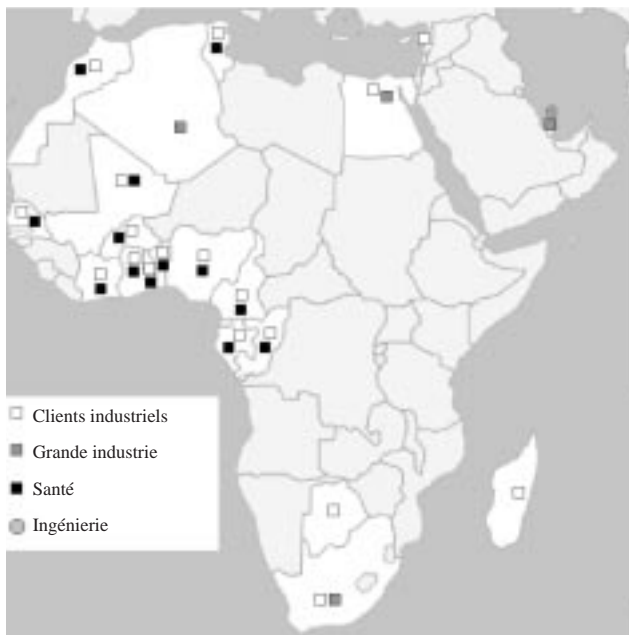


Figure 9 : Implantations industrielles et médicales de la Société Air Liquide en Afrique et au Moyen-Orient.
Sources : site Internet d'Air Liquide

qu'elles fournissent par rapport à l'oxygène à 95 % des unités PSA, oubliant de dire que leur coût de production et les difficultés de livraison à l'intérieur des pays engendrent dans les hôpitaux un manque d'oxygène, responsable de décès. Un vrai appui à la santé des PED consisterait à favoriser l'implantation des centrales PSA et à en assurer la maintenance, grâce à leur compétence et à leur important réseau de techniciens. Ceci serait en accord avec la politique mondiale du groupe qui développe, avec sa branche «home care», des actions exemplaires pour la santé. Air Liquide fabrique pour l'industrie un générateur d'oxygène gazeux performant, le système COMPACT VSA™, et pourrait facilement fournir, dans un partenariat intelligent, des centrales adaptées aux hôpitaux africains de différents niveaux. La centrale PSA installée dans un container, en service à l'Hôpital communautaire de Bangui (Fig. 5) est ainsi exploitée, non par l'hôpital, mais par la Société Centrafricaine des gaz industriels, SOCAGI, exemple à suivre...

L'OXYGÉNOTHÉRAPIE À DOMICILE DANS LES PED

Alors qu'elle serait indiquée chez nombre de patients souffrant d'insuffisance respiratoire restrictive (séquelle tuberculeuse surtout, et/ou cyphoscolioses), de bronchectasies sévères, mais aussi de BPCO post tabagiques de plus en plus fréquentes, l'oxygénothérapie de longue durée (OLD) est exceptionnellement organisée dans les PED. Les indications sont difficiles à poser en l'absence habituelle de gazométrie, mais la constatation de signes cardiaques droits avec une $SaO_2 < 90\%$ est une indication impérative théorique. Les quelques patients sous oxygène à domicile dans les PED, sont

tributaires d'obus d'oxygène. On sait depuis longtemps que c'est la technique la plus coûteuse et la moins pratique et qu'il faut privilégier les concentrateurs. L'expérience de l'ADEP et de l'Association Franco-Vietnamienne de Pneumologie (24,25), avec une importante cohorte de malades suivis à domicile et équipés de concentrateurs, mérite d'être soulignée et démontre que même dans les pays en développement, l'OLD peut être mise en place au domicile pour peu que la maintenance du matériel soit assurée, que le patient bénéficie d'un contrôle médical et que les médecins aient pris conscience de l'utilité de l'OLD au moins 15h / 24h.

CONCLUSION

L'oxygène manque dans beaucoup d'hôpitaux des PED, y compris dans des capitales. Les médecins du Sud ne doivent pas se résigner à cette carence intolérable qui entraîne des décès. Il faut trouver des solutions rapides.

Les concentrateurs d' O_2 , recommandés par l'OMS, constituent une aide précieuse, à condition de régler le problème de la maintenance sur place ainsi que du consommable et des pièces détachées pour la réparation. Fournir des concentrateurs devrait être une priorité pour toutes les associations humanitaires œuvrant dans la santé. Les sociétés et associations prestataires d'oxygène à domicile dans les pays du Nord doivent prendre conscience de l'immense service rendu en révisant les concentrateurs qui ont effectué le quota réglementaire d'heures de fonctionnement. Le débat «politiquement correct» de savoir s'il est licite de donner aux pays pauvres du matériel «réformé» dans les pays riches est déplacé, quand l'alternative est le dénuement absolu actuel et qu'il y a une non-assistance à personne en danger.

Les centrales de production d' O_2 type PSA permettent, sur le site même de l'hôpital, une production d'oxygène gazeux fiable et économique. Les hôpitaux sont ainsi autonomes et n'ont plus à limiter les indications d'oxygène. Ces centrales nécessitent certes un investissement, mais sont amorties en un à deux ans d'achat d'oxygène en bouteilles. Elles sont la solution idéale pour les hôpitaux éloignés de la capitale et du centre de production d'oxygène, mais constituent aussi pour les hôpitaux de la capitale, une solution économique. Cette solution s'impose progressivement dans les PED, avec une offre de plus en plus diversifiée (Tableau IV). Pour l'instant, en Afrique, elles sont surtout l'apanage de l'Afrique anglophone, mais l'exemple fait école. Au Gabon, des centrales PSA sont en service dans les trois hôpitaux provinciaux construits par la société autrichienne Vamed et cette société entreprend la construction de trois nouveaux hôpitaux provinciaux ■

RÉFÉRENCES

- 1 - ROQUE D'ORBCASTEL O, POLU JM - L'assistance respiratoire à domicile, encore une exception française ? *Rev Mal Respir* 2004 ; **346** : 345-9
- 2 - GUT-GOBERT C, L'HER E - Intérêts et modalités pratiques de mise en route d'une oxygénothérapie. *Rev Mal Respir* 2006 ; **23** : 3S13-3S23.

- 3 - WHO - Oxygen therapy for acute respiratory infections in young children in developing countries. World Health Organization 1993
- 4 - WHO - Informal consultation on Clinical use of oxygen - Meeting report 2-3 October 2003. WHO 2004 - WHO_FCH_CAH_04.12.pdf
- 5 - WHO - Equipment for case management of acute respiratory infections. The oxygen concentrator. EPI Product Information Sheets, 1997 edition. WHO/EPI/LHIS/97.01
- 6 - WHO - Surgical Care at the District Hospital. WHO, 2003.
- 7 - SECKA ASSINA G - Pratique de l'anesthésie au Tchad en 2001 : situation actuelle et perspectives d'amélioration. Thèse de Doctorat d'Etat en Médecine. Ndjaména 2002. www.ialtchad.com
- 8 - [e-med] Oxygène : Extracteurs (ou concentrateurs) From: «Guevart Edouard» Sat, 28 Jan 2006. Essentialdrugs.org
- 9 - DOBSON MB - Oxygen concentrators for district hospitals. Update in anaesthesia issue 10 (1999) Article 11. Advancing anaesthesia throughout the developing world. *World Anaesthesia On Line*.
- 10 - MOKUOLU OA, AJAYI OA - Use of an oxygen concentrator in a Nigerian neonatal unit: economic implications and reliability. *Ann Trop Paediatr* 2002 ; **22** :209-12.
- 11 - DOBSON MB - Oxygen concentrators for the smaller hospital. A review. *Trop Doct* 1992 ; **22** : 56-8.
- 12 - DOBSON MB - Oxygen concentrators offer cost savings for developing countries: A study based on Papua New Guinea. *Anaesthesia*, 1991, **146** : 217-9.
- 13 - DOBSON MB - Oxygen concentrators and cylinders. *Int J Tuberc Lung Dis* 2001 ; **5** : 520-3.
- 14 - SCHNEIDER G - Oxygen supply in rural africa: a personal experience. *Int J Tuberc Lung Dis* 2001 ; **5** : 524-6.
- 15 - MUHE L - Oxygen therapy for children with acute respiratory infections in small hospitals. *Ethiop Med J* 2000 ; **38** : 55-65.
- 16 - PERRELET A, ZELLWEGER JP, TALLA I *et Coll* - The oxygen concentrator. An appropriate technology for treating hypoxaemic children in developing countries. *Int J Tuberc Lung Dis* 2004 ; **8** :1138-41.
- 17 - ODURO KA - Trends in the supply of oxygen in hospital - oxygen concentrators - Korle Bu experience. *West Afr J Med* 1992 ;**11** : 244-6.
- 18 - MANLEY R - A new ventilator for developing countries and difficult locations. *World Anaesthesia Newsletter* 1991; 5:10-11
- 19 - SHRESTHA BM, SINGH BB, GAUTAM MP, CHAND MB. The oxygen concentrator is a suitable alternative to oxygen cylinders in Nepal. *Can J Anaesth* 2002 ; **49** : 8-12.
- 20 - SINGH BB, GAUTAM MP, GURUNG A *et Coll* - Field Trial of the Penlon Manley Multivent and the Devilbis Oxygen Concentrator. *World Anaesthesia Newsletter* 1995 ; **14** : 4-5.
- 21 - ELTRINGHAM RJ, VARVINSKI A - The Oxyvent: an anaesthetic machine designed to be used in developing countries and difficult situations. *Anaesthesia* 1997 ; **52** : 668-72.
- 22 - ELTRINGHAM R J, FAN QIU WEI, THOMAS W - Experience with the glostavent anaesthetic machine: confirmation of its potential for use in difficult situations Indian. *J Anaesth* 2003 ; **47** : 254-9.
- 23 - CHAN S, L'HER P, KAING S *et Coll* - Causes des pneumonies au Cambodge, chez les patients VIH positifs hospitalisés. XI^e Actualités du Pharo 2004 «Infections à mycobactéries en pays tropical», Marseille 9, 10, 11 septembre 2004.
- 24 - HOMASSON JP - Oxygénothérapie. Développement et Santé, n° 139, février 1999.
- 25 - ADEP assistance au Vietnam. www.adeponline.fr