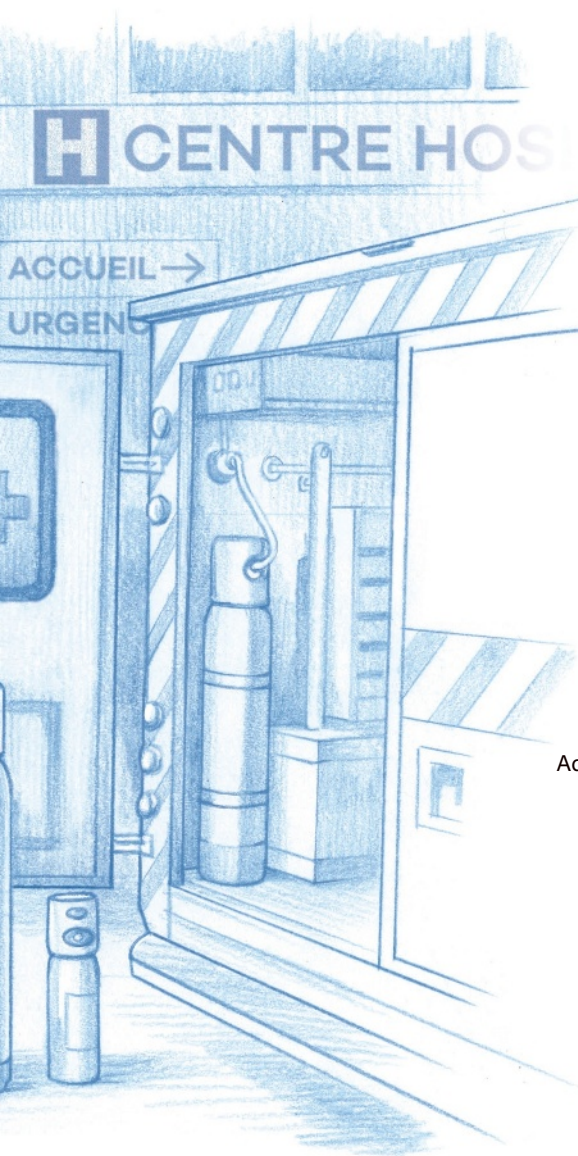
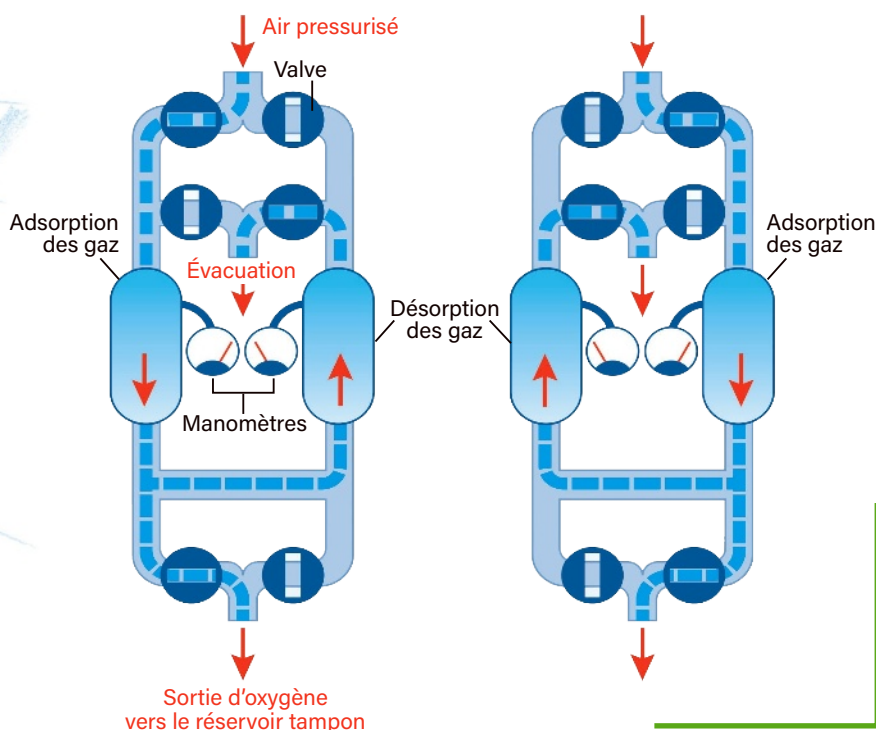
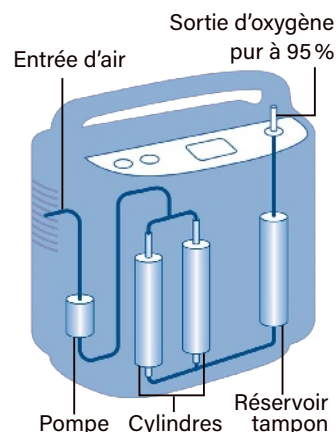




ANATOMIE D'UN CONCENTRATEUR

Dans un concentrateur d'oxygène (à droite), l'air ambiant est aspiré avant d'être injecté sous haute pression (indiquée par l'aiguille rouge du cadran du manomètre) dans une cartouche cylindrique remplie d'un matériau qui piège préférentiellement le diazote N_2 (ci-dessous). Le gaz enrichi en dioxygène O_2 qui sort de ce cylindre est stocké dans un réservoir tampon où il sera ensuite délivré à la demande au patient. Une partie de cet oxygène peut cependant être détournée pour assurer, à basse pression cette fois, le nettoyage (c'est-à-dire la désorption des molécules adsorbées) de la seconde cartouche (ci-dessous, à droite). Cette technique dite « **pression swing adsorption** » permet un fonctionnement en alternance des deux cartouches.



l'oxygène en bouteilles sous pression ou en phase liquide dans des grands réservoirs, il est des situations où cela n'est pas envisageable: la station spatiale internationale par exemple! Chaque mois, en effet, les sept habitants de l'ISS consomment 100 000 litres, soit 150 kilogrammes d' O_2 . La solution adoptée est donc de le produire sur place par électrolyse de l'eau (on décompose la molécule d'eau H_2O grâce à l'électricité). De l'ordre de 7 kWh (soit la combustion d'un demi-litre d'essence) sont nécessaires pour produire dans des conditions normales de température et de pression un mètre cube d' O_2 (soit 1,4 kg). Le coût est toutefois prohibitif pour une utilisation médicale, et si l'on s'intéresse

aujourd'hui à ce procédé, c'est non pas pour l' O_2 , mais pour produire du dihydrogène vert (sans émission de gaz carbonique quand l'électricité provient de sources renouvelables) et pour stocker l'énergie de sources intermittentes.

DISTINGUER LES MOLÉCULES D' O_2 ET DE N_2

Qu'en est-il pour les patients qui présentent des insuffisances respiratoires et ont besoin d'une oxygénothérapie à domicile? Plutôt que de livrer du gaz sous pression, la solution choisie aujourd'hui est d'utiliser des concentrateurs. Ces appareils aspirent l'air ambiant; le font passer à travers un matériau poreux qui retient le N_2 et

délivrent de l' O_2 à des concentrations au-delà de 90% à des débits de quelques litres par minute. Le principe de fonctionnement? La physisorption, c'est-à-dire l'adsorption réversible de molécules d'un gaz ou d'un liquide sur une surface solide. Ce piégeage temporaire des molécules par une surface est dû aux forces de nature électrique qui existent entre toutes les molécules. Ce piégeage est réversible, car les forces en jeu sont d'un ordre de grandeur plus faible que celles

Les auteurs ont notamment publié:
En avant la physique!,
une sélection de leurs
chroniques (Belin, 2017).



de liaisons chimiques: la molécule a toujours la possibilité de quitter la surface à cause de l'agitation thermique. Comme l'intensité de ces forces dépend des molécules et des surfaces, l'adsorption privilégie certaines espèces au détriment d'autres.

Là encore, si le principe est simple, la pratique l'est moins, car du point de vue d'un physicien, les molécules d' O_2 et de N_2 se ressemblent beaucoup: elles ont des tailles très proches de l'ordre de 0,3 nanomètre, elles sont neutres, elles n'ont pas de dipôle électrique permanent (c'est-à-dire que le barycentre de leurs charges positives et celui de leurs charges négatives coïncident). Cependant, en raison des liaisons chimiques qui s'établissent pour créer la molécule, la distribution des nuages électroniques autour des noyaux est perturbée, conduisant à une concentration des charges électriques autour de l'axe qui relie les noyaux. Il en résulte ce que les physiciens appellent un «quadrupôle» électrique. Ce quadrupôle, qui rend les molécules sensibles à un champ électrique, est quatre fois plus élevé pour N_2 que pour O_2 .

DES SURFACES TRÈS SÉLECTIVES

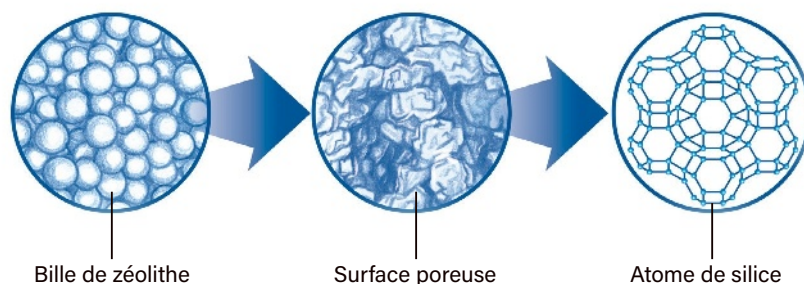
Nous tenons là une piste pour discriminer les deux molécules: avoir une surface avec des charges pour créer des champs électriques forts, susceptibles d'agir plus intensément sur le N_2 ; prendre un matériau poreux pour avoir le rapport surface/volume le plus élevé possible afin d'adsorber le maximum. Les zéolithes et leurs variantes sont justement dotées de ces propriétés: il s'agit de cristaux d'aluminosilicate agencés de façon à former des cavités régulières d'une taille d'environ 1 nm et interconnectées (voir la figure ci-dessus).

Dans le cas du JLOX-500, utilisé dans les concentrateurs portatifs, on obtient une sélectivité entre N_2 et O_2 de plus de 3, c'est-à-dire que le rapport des concentrations de N_2 et O_2 en surface est trois fois plus élevé que dans la phase gazeuse: on passe ainsi d'un rapport de concentrations N_2/O_2 de 4 dans l'air ambiant à 12 à la surface du matériau. On comprend donc que de l'air passant à travers une colonne de ce matériau s'appauvrit progressivement en N_2 et s'enrichit en O_2 . Cette colonne doit bien sûr être suffisamment longue pour obtenir la concentration désirée en oxygène.

Toutefois, on sature aussi progressivement la surface de la zéolite par les molécules adsorbées, même si la capacité

LE SECRET DU TAMIS

Les tamis moléculaires, utilisés dans les concentrateurs d'oxygène, se présentent sous forme de billes d'environ un millimètre de diamètre (à gauche). À l'échelle du micromètre (au centre), ces billes se révèlent extrêmement poreuses: elles sont constituées d'un agencement désordonné de cristallites de zéolithes. Ces cristallites sont formées par la répétition régulière de cages nanométriques dont le squelette est en silice (à droite).



d'adsorption est très élevée: 8 litres de N_2 par kilogramme de JLOX 500, par exemple. C'est pourquoi, pour avoir un fonctionnement continu, les concentrateurs utilisent deux réservoirs cylindriques remplis de zéolithes. Pour une adsorption significative, il faut en effet faire passer de l'air sous pression dans les cylindres. Il suffit donc, grâce à un système de vannes, de mettre un réservoir sous pression (c'est lui qui donne l'air enrichi en O_2) et l'autre à basse pression: dans ce dernier, puisque l'adsorption est réversible, les molécules adsorbées, notamment de N_2 , se détachent: la zéolithe est purgée et prête à adsorber de nouveau. On effectue ainsi des cycles d'adsorption/désorption en alternance. Pour un meilleur contrôle, l'air concentré en O_2 est stocké dans un réservoir tampon qui le délivre à la pression adéquate au patient.

N'oublions pas que l'air n'est pas un mélange binaire: si les gaz rares interagissent peu, tel n'est pas le cas du CO_2 , certes peu concentré mais doté d'un quadrupôle électrique trois fois plus élevé que N_2 et surtout de la vapeur d'eau dont le dipôle électrique est à l'origine d'une forte adsorption. Aussi, pour améliorer et conserver les performances du concentrateur, il peut être judicieux de faire passer l'air dans un filtre pour se débarrasser des poussières, mais aussi dans un dessiccant pour assécher l'air, avant de l'envoyer dans les réservoirs de zéolithes. Toutes ces précautions prises, le patient bénéficie d'un oxygène de qualité qu'il peut respirer en toute quiétude. ■

BIBLIOGRAPHIE

I. Millot, **Production d'oxygène en situation d'exception. Vers une autonomie totale**, thèse de l'université de Lorraine en Sciences du vivant, 2018.

OMS, **Spécifications techniques pour les concentrateurs d'oxygène**, OMS publications, 2015.

O. Talu et al., **Measurement and analysis of oxygen/nitrogen/ 5A-zeolite adsorption equilibria for air separation**, Gas Separation & Purification, vol. 10(3), pp. 149-159, 1996.