

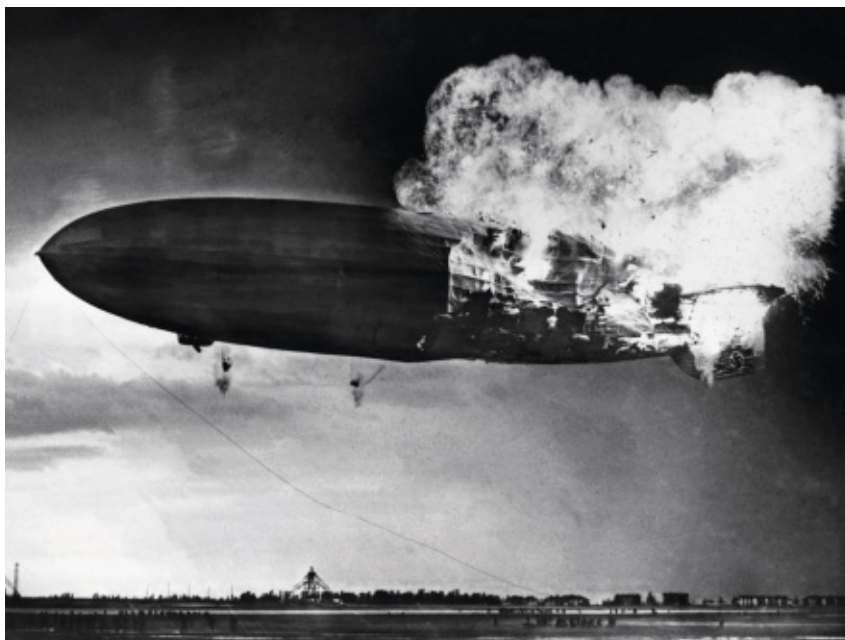
gouvernement américain décida de créer une réserve nationale d'hélium, gaz qui allait être conservé dans une énorme formation géologique située à Cliffs, au Texas.

Dans les années 1930, les Allemands ont conçu le plus gros dirigeable jamais construit, le zeppelin LZ 129 *Hindenburg*. Le projet initial prévoyait d'utiliser de l'hélium pour assurer sa sustentation. Mais avec l'arrivée des nazis au pouvoir, les États-Unis, seul pays fournisseur d'hélium, ont appliqué un embargo sur l'exportation du gaz. Les Allemands furent alors obligés de modifier leur projet et d'utiliser l'hydrogène à la place de l'hélium, avec les conséquences que l'on connaît : en 1937, un incendie enflamma le *Hindenburg*, faisant 36 victimes et mettant fin au transport de passagers par dirigeables (voir la figure 3).

L'utilisation de l'hélium s'est accrue durant la Seconde Guerre mondiale, avec de nouvelles applications (gaz inerte pour la soudure, spectrométrie de masse, etc.). Avec l'avènement de la guerre froide, dans les années 1950, l'hélium prit une importance capitale. On l'a notamment utilisé dans la course à l'espace, pour prérefroidir l'hydrogène liquide des moteurs des fusées ; ainsi, une fusée *Saturn V* consommait environ 370 000 mètres cubes d'hélium pour décoller (voir la figure 1). En 1965, la consommation d'hélium des États-Unis dépassait huit fois le maximum qu'elle avait atteint pendant toute la Seconde Guerre mondiale !

Vers 1960, pour faire face à l'augmentation de la demande, les États-Unis ont demandé à des entreprises privées d'extraire l'hélium pour le stocker au réservoir du Bush Dome, près du champ de Cliffs. Pour ce programme, 684 kilomètres de gazoduc ont été construits pour relier les usines d'extraction au Bush Dome. L'hélium était ainsi stocké, puis, en fonction des besoins, extrait, purifié et liquéfié pour être transporté à destination. Durant plusieurs années, les États-Unis ont ainsi produit 90 pour cent de l'hélium commercialement disponible dans le monde. Les usines d'extraction du Canada, de Pologne, de Russie et de quelques autres pays produisaient le reste.

Au milieu des années 1990, en Algérie, une nouvelle usine se mit à produire de l'hélium à Arzew. Très rapidement, avec une production de 17 millions de mètres cubes par an, elle a pu couvrir toute la demande européenne, soit environ 16 pour cent de la demande mondiale.



Parallèlement, le stock du Bush Dome atteignait un milliard de mètres cubes de gaz. Mais la réserve avait accumulé 1,4 milliard de dollars de dettes, liées au remboursement du programme « hélium » et au coût de modernisation de l'installation. Cela a conduit le Congrès des États-Unis à faire cesser progressivement son activité. Ainsi, en 1995, le gouvernement américain adopta un acte visant la privatisation de l'hélium, afin de récupérer les sommes investies dans la mise en place de la réserve : tout l'hélium de celle-ci devra être vendu d'ici 2015.

Les années 1990, période faste

En outre, cette loi stipule que les quantités d'hélium vendues chaque année doivent être constantes ; autrement dit, on ne tient pas compte de la demande ! Cette clause a eu pour effet de maintenir artificiellement bas le prix de l'hélium aux États-Unis (l'hélium américain est plus cher en Europe, notamment en raison du transport). Et comme une étude américaine concluait qu'entre la production, la liquidation du stock d'hélium de la réserve fédérale et son utilisation, il y aurait un excédent d'hélium dans l'avenir, les utilisateurs n'avaient aucune raison d'économiser ou de recycler ce gaz...

Entre 2004 et 2006, deux nouvelles usines ont été construites, la première à Ras Laffan au Qatar, l'autre à Skikda en Algérie, ce qui a permis à ce pays de devenir

3. LE PLUS GROS DIRIGEABLE jamais construit était le zeppelin allemand *Hindenburg*. En raison de l'embargo sur l'hélium décrété par les États-Unis avec l'arrivée des nazis au pouvoir en Allemagne, il était gonflé à l'hydrogène. Le 6 mai 1937 à Lakehurst (New Jersey, États-Unis), un incendie se déclara pour une cause indéterminée et le gaz s'enflamma, provoquant la destruction de l'appareil et la mort de 36 personnes.

le deuxième producteur mondial d'hélium. Du côté de la consommation, les États-Unis sont de nos jours de loin les plus gros utilisateurs d'hélium ; en 2010, ce pays a consommé environ 80 millions de mètres cubes d'hélium, sur une distribution mondiale de 180 millions de mètres cubes. Pour l'Europe, la distribution (de l'ordre de 40 millions de mètres cubes) est assurée principalement par le gaz provenant d'Algérie, tandis que l'usine du Qatar et les États-Unis fournissent le continent asiatique, en plein développement industriel et qui devient un gros utilisateur (de l'ordre de 30 pour cent du volume mondial).

Un gaz très demandé

Entre-temps, avec les nouvelles technologies, l'hélium est devenu essentiel à une myriade d'activités médicales, industrielles et scientifiques (voir la figure 4). Les hôpitaux du monde entier s'équipent davantage en appareils d'IRM (imagerie par résonance magnétique) dont la bobine supraconductrice est refroidie grâce à un bain d'hélium liquide (voir la figure 5). Ainsi, en 2008, de l'ordre de 20 pour cent des quantités d'hélium distribuées ont servi à remplir les cryostats de tomographes d'IRM.

L'hélium est également utilisé pour purger les réservoirs des fusées telles qu'*Ariane*. Il est largement utilisé comme

atmosphère inerte nécessaire à la production des fibres optiques, comme gaz protecteur dans la croissance du silicium et du germanium nécessaires aux circuits intégrés ou aux téléviseurs à écran plat. On l'utilise aussi dans l'industrie automobile pour la réalisation des coussins gonflables de sécurité (airbags). On le retrouve également dans les bouteilles de plongée sous-marine, pour minimiser les effets de la narcose à l'azote, problème pouvant survenir lors de plongées profondes.

Enfin, l'hélium devenant liquide à 4,2 kelvins (-269°C), il est utilisé dans les laboratoires de recherche sur les très basses températures et dans les grands instruments scientifiques, comme au LHC (le Grand collisionneur de hadrons du CERN, près de Genève) où l'hélium est indispensable aux grands aimants supraconducteurs. Cependant, les applications cryogéniques purement scientifiques ne représentent que trois pour cent de la distribution mondiale d'hélium.

Comment est-on arrivé à une situation de pénurie ? Au début de ce nouveau millénaire, alors que la demande d'hélium ne cessait de croître, l'usine algérienne de Skikda a connu d'importants dysfonctionnements. Par ailleurs, pour moderniser et modifier ses installations de traitement de gaz, la source d'Orenbourg, en Russie, a fermé durant plusieurs

mois. Et pendant la même période, pour diminuer leurs importations de gaz naturel, les États-Unis ont commencé à exploiter le gaz de schiste sur leur territoire. La conséquence a été qu'un de leurs plus gros fournisseurs, l'Algérie, s'est vu obligé de réduire l'exploitation de gaz naturel et, partant, la production d'hélium.

Le marché s'est dérégulé en 2006

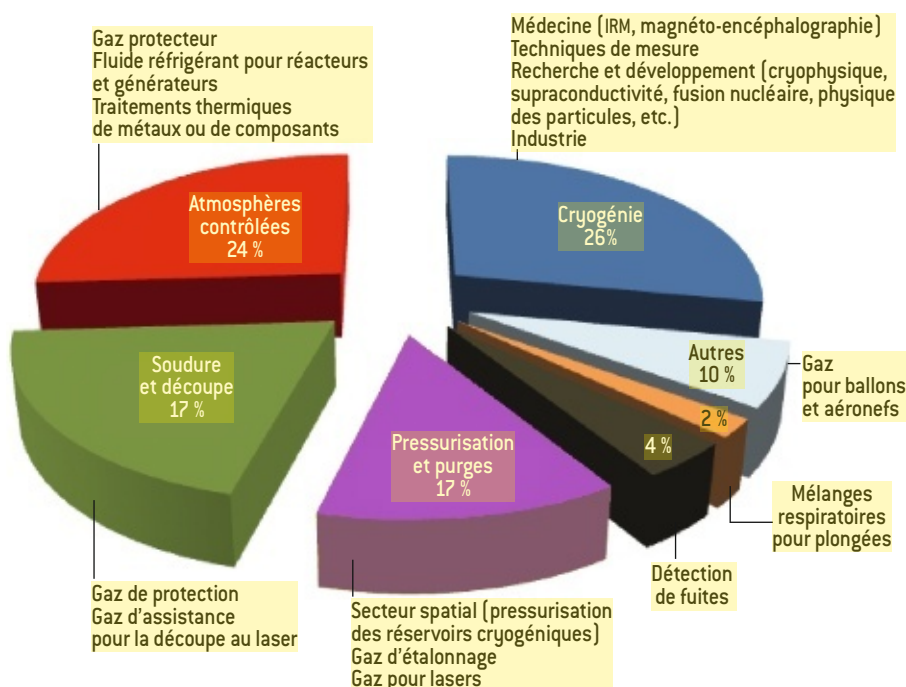
En 2006, les sources ne pouvant fournir la totalité de la demande, le marché s'est dérégulé. Ce fut la pénurie, et cette rupture d'approvisionnement a touché tous les continents. Une forte hausse des prix s'en est suivie : ils ont doublé en cinq ans, et pendant la seule année 2008, les fournisseurs les ont augmentés de 50 pour cent ! Les laboratoires de recherche français, tels ceux du CNRS à Grenoble, pouvaient acheter l'hélium à environ 2,60 euros le litre en 2006 ; aujourd'hui, ils doivent déboursier près de cinq euros par litre...

La pénurie et la hausse des prix ont conduit les utilisateurs à une certaine prise de conscience, notamment sur la nécessité de ne pas gaspiller l'hélium, gaz qui se fait de plus en plus rare sur Terre. Des cris d'alarme ont été lancés par des personnalités du monde scientifique. En Europe, l'hélium étant plus cher qu'aux États-Unis, les plus gros consommateurs utilisent d'autres gaz pour l'inertage (argon pour la soudure par exemple) ou recyclent l'hélium, comme les laboratoires de recherche qui disposent d'infrastructures permettant de mieux employer l'hélium et de le réutiliser. En revanche, cette parcimonie est peu appliquée par d'autres utilisateurs, surtout aux États-Unis où l'hélium est relativement peu coûteux.

Avec l'augmentation des prix et l'ouverture de nouvelles petites unités de production, en Australie notamment, l'offre parvient à répondre à la demande mondiale, mais le marché reste extrêmement tendu. La demande correspondant quasiment à l'offre, le risque de pénurie reste important pour les prochaines années.

Même si les sources sont indépendantes, toute la chaîne d'approvisionnement en hélium est interconnectée. Une panne sur une source en Algérie ou aux États-Unis engendre des difficultés d'approvisionnement à l'échelle mondiale. Ce cas s'est reproduit en 2011. Une des plus importantes usines d'exploitation (20 pour cent de la

4. LES PRINCIPALES APPLICATIONS DE L'HÉLIUM.



distribution mondiale) aux États-Unis a dû arrêter sa production pendant quelques mois, pour une maintenance planifiée. Elle a repris en septembre 2011. Début 2012, un simple arrêt était programmé pour une modification technique (remplacement d'échangeurs thermiques) sur l'usine d'Arzew en Algérie. Mais une suite de complications s'est produite lors de ces travaux, et il a fallu attendre la fin de l'été pour que la production nominale retrouve son niveau. Le marché s'est à nouveau déréglé et un certain temps sera nécessaire pour résorber les besoins.

La période est donc incertaine et le restera au moins jusqu'à l'installation et la mise en service de nouvelles usines : l'une dans le Wyoming aux États-Unis, une autre en Algérie, mais surtout la prochaine grosse usine de Qatar II, dont le démarrage est programmé pour novembre 2012. Quoi qu'il en soit, l'hélium reste un fluide non renouvelable et irremplaçable. Aussi, tous ses utilisateurs doivent faire un effort pour le recycler autant que possible. Sous la pression des coûts, l'hélium est davantage recyclé, mais une prise de conscience de tous les utilisateurs reste nécessaire. Malheureusement, seule une hausse importante du prix de l'hélium contraindra, sinon à une réduction de son utilisation, au moins à une utilisation plus réfléchie. C'est pourquoi certains spécialistes affirment qu'il conviendrait de multiplier son prix par 20 !

L'hélium 3, un gaz encore plus rare

La description qui précède porte sur l'hélium 4, l'isotope courant. Comme on l'a évoqué au début de l'article, il existe une autre forme de l'hélium, l'hélium 3, dont certaines propriétés physiques sont très différentes et donnent lieu à des applications très particulières. Bien que les quantités concernées soient beaucoup plus faibles, son marché est dans une situation bien pire que celui de l'hélium 4.

L'hélium 3 provient essentiellement de la nucléosynthèse primordiale, aux premiers instants de l'Univers. Sur Terre, il est très rare : on en retrouve 200 à 300 parties par million dans la croûte terrestre et il représente une fraction d'à peine $7,2 \times 10^{-12}$ de l'atmosphère dans son ensemble ! En revanche, l'hélium 3 peut être produit par la désintégration du tritium (^3H), isotope instable de l'hydrogène dont le noyau comporte un proton et deux neutrons. Ce der-



5. L'IMAGERIE MÉDICALE PAR RÉSONANCE MAGNÉTIQUE NUCLÉAIRE (IRM) utilise des champs magnétiques produits par des bobines supraconductrices, donc refroidies à l'hélium. En 2008, les tomographes d'IRM auraient employé environ 20 pour cent de l'hélium distribué dans le monde.

nier se transforme par radioactivité bêta en un noyau d'hélium 3 (avec émission d'un électron et d'un antineutrino).

Le tritium est utilisé dans les bombes nucléaires et, pour garder celles-ci en état opérationnel, il faut régulièrement extraire l'hélium 3 produit par radioactivité et qui pollue le tritium. C'est ainsi qu'au cours de la guerre froide, les États-Unis et l'Union soviétique, qui ont stocké des dizaines de milliers d'armes nucléaires, ont accumulé d'énormes quantités d'hélium 3. Dans les années 1990, l'arrêt de la production des armes nucléaires a considérablement limité les quantités d'hélium 3 disponibles, mais les applications de cet isotope étaient alors fort réduites : elles se limitaient essentiellement à la recherche scientifique, qui en utilisait de faibles quantités. À l'époque, les administrations (ministères de la Défense, États) considéraient même ce gaz si inutile qu'elles l'évacuaient dans l'atmosphère !

Mais les attentats du 11 septembre 2001 à New York ont complètement changé la donne. Pour contrecarrer les plans de terroristes potentiels, le gouvernement américain a décidé d'installer des milliers de portiques de détection de matière nucléaire (voir la figure 6). L'idée était de contrôler les millions de conteneurs entrant chaque année dans le pays et d'éviter ainsi l'importation illicite de matière radioactive pouvant servir à fabriquer des « bombes sales » et à fomenter des attentats.

Or le fonctionnement des détecteurs de matériel nucléaire repose sur l'hélium 3, qui

absorbe très efficacement les neutrons (selon la réaction $^3\text{He} + n \rightarrow ^3\text{H} + ^1\text{H}$). Ainsi, en dix ans, 1300 détecteurs ont été installés dans les ports américains et aux passages frontaliers, chacun de ces appareils contenant au moins une cinquantaine de litres d'hélium 3. Résultat : alors que les réserves de ce gaz aux États-Unis étaient encore de 235 000 litres en 2001, elles se sont effondrées à moins de 50 000 à la mi-2010. Or les États-Unis étaient pratiquement le seul pays qui commercialisait l'hélium 3.

Depuis, il est devenu presque impossible de trouver de l'hélium 3 sur le marché. En 2010, une hausse fulgurante des prix s'est produite, la valeur marchande de l'hélium 3 passant de 150 dollars (environ 125 euros) le litre à des sommes flirtant aujourd'hui avec les 4 000 dollars (plus de 3 200 euros) pour la même quantité.

Envolée des prix et forte pénurie

La pénurie d'hélium 3 touche non seulement la sécurité nationale, mais aussi la recherche scientifique et la communauté médicale. Des instruments scientifiques, dont la fabrication est achevée, ne peuvent fonctionner. Ainsi, les détecteurs de l'accélérateur de protons J-PARC (*Japan Proton Accelerator Research Complex*) construit à Tokai, au Japon, ne sont que partiellement remplis en hélium 3 et ne peuvent donc atteindre les performances prévues. Des appareils tels que les