

L'ESSENTIEL

- L'hélium, dont il existe deux isotopes stables, l'hélium 4 et l'hélium 3, est un fluide de plus en plus utilisé.
- Des pannes d'usines de production et les dettes contractées par les autorités américaines pour établir un stock fédéral d'hélium ont conduit à un dérèglement du marché de l'hélium et à un doublement de son prix en quelques années.
- Les attentats du 11 septembre 2001 ont provoqué une forte hausse de la demande d'hélium 3 pour des détecteurs de radioactivité. Il s'ensuit une forte pénurie de cet isotope et une envolée de son prix.

L'hélium, le deuxième élément dans le tableau de Mendeleïev, est gazeux dans les conditions habituelles ; il ne se liquéfie qu'à une température très proche du zéro absolu ($-273,15^{\circ}\text{C}$). Ce gaz chimiquement inerte ne sert pas qu'à gonfler des ballons ou à parler avec une voix étrange et hilarante quand on l'inhale. Il a d'importantes applications, en particulier pour le refroidissement à de très basses températures, où il présente de remarquables propriétés, telles que la superfluidité, encore beaucoup étudiées par les physiciens. Or l'hélium est rare, et il manque déjà. Indiquons d'où vient l'hélium, comment et où on le produit, quelles sont ses principales applications, avant d'expliquer pourquoi nous sommes proches aujourd'hui d'une situation de pénurie. Mais il faudra traiter séparément le cas de l'hélium 4 et celui de l'hélium 3, deux isotopes dont les propriétés et applications sont distinctes et dont les marchés sont sous tension pour des raisons différentes.

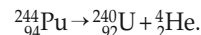
L'hélium est l'élément dont le noyau atomique comporte deux protons, d'où sa deuxième position après l'hydrogène (noyau constitué d'un proton) dans le tableau des éléments. Il peut exister sous deux formes stables : l'hélium 4 (noté ${}^4_2\text{He}$), dont le noyau est formé de deux protons et deux neutrons, et l'hélium 3 (noté ${}^3_2\text{He}$), qui a deux protons mais un seul neutron. L'atome d'hélium neutre a deux électrons, qui remplissent complètement une « couche électronique », raison pour laquelle l'hélium est inerte : il ne réagit chimiquement pas avec d'autres atomes et ne forme pas de molécules.

Après l'hydrogène, l'hélium 4 est l'élément le plus abondant dans l'Univers. La plus grande part de l'hélium s'est formée dans les minutes qui ont suivi le Big Bang, lors de la nucléosynthèse primordiale. Il s'agit du processus qui, d'après les cosmologistes, a produit les premiers noyaux atomiques légers tels que le deutérium (isotope de l'hydrogène doté d'un neutron en plus du proton), l'hélium et le lithium, grâce

1. L'HÉLIUM A ÉTÉ ABONDAMMENT utilisé lors de la course à l'espace, pour prérefroidir l'hydrogène liquide des moteurs des fusées. Ainsi, le décollage de *Saturn V* nécessitait 370 000 mètres cubes d'hélium. C'est l'un des facteurs qui ont conduit les États-Unis à créer une réserve fédérale d'hélium.

à des fusions successives de particules à des températures de l'ordre du milliard de degrés. La mesure de l'abondance de l'hélium dans le cosmos contribue d'ailleurs à fixer certains paramètres des modèles cosmologiques.

Cependant, cet hélium cosmique a disparu de notre planète. Sur Terre, l'hélium 4 est produit par la radioactivité alpha d'éléments lourds et instables, tels que l'uranium et le thorium, contenus dans différents minerais. Dans une désintégration alpha, le noyau lourd expulse une particule alpha (un assemblage de deux protons et deux neutrons, c'est-à-dire un noyau d'hélium 4) et se transforme ainsi en un noyau plus léger. Par exemple, la désintégration alpha du plutonium 244 correspond à la réaction :



Ainsi, sous nos pieds, de l'hélium 4 est produit en continu. La croûte terrestre en contient 0,91 partie par million, soit 300 fois plus que d'or... Le réacteur nucléaire sur lequel nous vivons produit chaque année environ 3 000 tonnes d'hélium, soit 17 millions de mètres cubes de gaz. Une très grande part s'échappe de la surface du globe vers la haute atmosphère, où elle se perd dans l'espace. Il s'ensuit que l'hélium est très rare dans l'atmosphère terrestre : sa concentration, en volume, n'est que de $5,2 \times 10^{-6}$.

Il reste qu'un peu d'hélium se retrouve piégé dans des gisements de gaz naturel où il est emprisonné par des couches de roche imperméable. Sa concentration en volume dans le gaz naturel varie de quelques parties par million à quelques pour cent. C'est pourquoi on extrait l'hélium 4 du gaz naturel, et les plus grands producteurs d'hélium sont évidemment les pays ayant suffisamment de gaz naturel pour l'exploiter : les États-Unis, l'Algérie, le Qatar, la Russie, la Pologne...

Les nappes de gaz naturel contiennent du méthane et d'autres hydrocarbures, principales sources d'énergie pour lesquelles ce gaz est exploité. Mais certains gisements contiennent aussi de petites quantités d'azote, de dioxyde de carbone, d'hélium et d'autres matériaux non combustibles. Afin de produire une qualité acceptable de gaz naturel, il faut éliminer ces « impuretés ». C'est durant ce processus que l'on récupère l'hélium. Il existe pour ce faire

NASA

L'AUTEUR



Christian GIANESE, ingénieur au CNRS, est responsable du Centre de liquéfaction de l'Institut Néel

(CNRS-Université Joseph Fourier), à Grenoble.

SUR LE WEB

Programme fédéral américain sur l'hélium :

www.blm.gov/nm/st/en/prog/energy/helium/federal_helium_program/federal_helium_program.html

Données du Service géologique américain (2012) :

<http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/helium/mcs-2012-heliu.pdf>

D. A. Shea et D. Morgan, *The helium-3 shortage : Supply, demand, and options for Congress*, décembre 2010 : www.fas.org/sgp/crs/misc/R41419.pdf

BIBLIOGRAPHIE

D. Kramer, *For some, helium-3 supply picture is brightening*, *Physics Today*, vol. 64, pp. 20-23, mai 2011.

plusieurs méthodes, mais le procédé par distillation cryogénique est le plus répandu. Il consiste à refroidir le gaz et ainsi à solidifier toutes les impuretés dans des colonnes de séparation. Cette opération achevée, l'hélium atteint une pureté de 99,99 pour cent et peut alors être commercialisé.

Pour mieux comprendre la situation actuelle, il est utile de faire un peu d'histoire, qui commence avec la découverte de l'hélium. Le 16 août 1868, lors d'une éclipse totale, à Guntur, en Inde, Jules Janssen, astronome français qui étudie le rayonnement solaire, observe une raie jaune brillante dans le spectre du Soleil. On pense alors que cette raie est celle du sodium. Mais le 20 octobre de la même année, l'astronome anglais Norman Lockyer, qui observe également cette raie jaune, conclut qu'elle est provoquée par un élément inconnu sur Terre. Il nomme alors cet élément hélium, d'après le terme grec *helios* désignant le Soleil. Près de 30 ans plus tard, en 1895, le chimiste britannique William Ramsay isole l'hélium dans la clévéite, un minerai à base d'uranium : en examinant le spectre d'émission de ce gaz inconnu, il se rend compte qu'il vient de découvrir le même élément que celui repéré dans le Soleil.

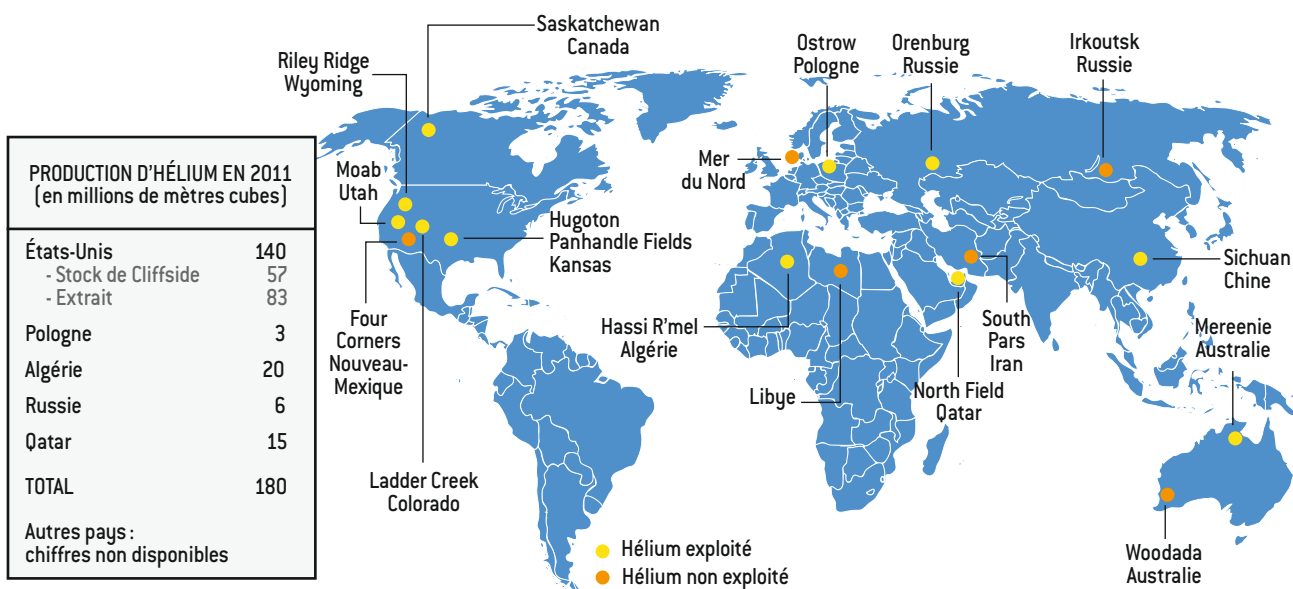
En 1903, un forage pétrolier à Dexter, dans le Kansas (États-Unis), suscite l'étonnement : le jet de gaz qui s'en échappe est incombustible ! Erasmus Haworth, géologue de l'État du Kansas, analyse alors ce gaz et constate qu'il contient 72 pour cent d'azote, 12 pour cent d'un gaz inconnu,

et seulement 15 pour cent de méthane. Ainsi, le méthane est présent en trop faible proportion dans une masse de gaz inerte, ce qui ne permet pas au jet de brûler... Mais Haworth est aussi intrigué par le gaz « inconnu ». Une analyse plus poussée révélera que 1,84 pour cent de l'échantillon de gaz est de l'hélium. Cette découverte démontrait pour la première fois que l'hélium est disponible pour la production, comme sous-produit de l'exploitation du gaz naturel. Et c'est ainsi que les États-Unis sont devenus le premier pays producteur d'hélium.

L'hélium, un gaz stratégique

L'hélium, gaz sept fois plus léger que l'air, a été utilisé en premier lieu pour gonfler les aérostats. Le premier dirigeable gonflé à l'hélium dans le monde fut le C-7 de la marine américaine. Pendant la Première Guerre mondiale, la marine des États-Unis a subventionné trois petites usines de production d'hélium pour approvisionner les ballons captifs de barrage. Ces ballons étaient placés à proximité d'endroits stratégiques et forçaient les avions ennemis à voler à plus haute altitude, ce qui rendait leurs bombardements moins précis. En outre, les câbles d'acier qui les amarraient constituaient un grand danger pour les chasseurs en quête de proies à mitrailler.

L'hélium a donc très vite été reconnu comme un gaz stratégique et, en 1925, le



2. LES GISEMENTS DE GAZ NATUREL CONTENANT DE L'HÉLIUM (carte) et les chiffres de production connus en 2011 (tableau).