

Crise de l'hélium : l'inquiétude persiste

Henri Godfrin (henri.godfrin@neel.cnrs.fr) et **Christian Gianèse** (christian.gianese@neel.cnrs.fr)
 Université Grenoble Alpes, Institut Néel, F-38042 Grenoble, France
 CNRS, Institut Néel, F-38042 Grenoble, France
 Adresse postale : CNRS-Institut Néel, 25 Rue des Martyrs - Bât. E-413, BP 166, 38042 Grenoble Cedex 09

Le 19 septembre dernier, le président Barack Obama a signé un décret aussi important qu'ignoré du grand public : le "Helium Stewardship Act of 2013" [1]. Celui-ci fixe les nouvelles règles de fonctionnement de la Réserve Fédérale d'hélium, un site stratégique de stockage souterrain. Ce texte apporte *in extremis* une solution temporaire à la pénurie et à l'envolée des prix qui menacent des pans entiers de la recherche et de l'industrie mondiale.

Mais une deuxième crise, inattendue, a surgi de l'ombre : l'autre isotope de l'hélium, l'hélium-3, un gaz indispensable à la recherche et à l'instrumentation scientifique, qui n'est présent qu'à hauteur d'une partie par milliard dans l'hélium naturel, a brutalement disparu du marché, englouti par la défense nationale américaine...



1. Centre de liquéfaction d'hélium (CNRS - Institut Néel, Grenoble).

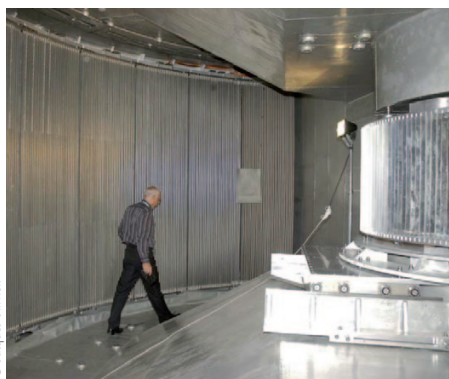
L'hélium et ses applications

L'histoire de l'hélium commence, comme cela est souvent le cas, dans l'ombre de recherches n'intéressant que quelques savants, et « par hasard », c'est-à-dire comme la conséquence inéluctable et inattendue de travaux de pointe. En 1868 Jules Janssen, astronome français, observe dans le spectre du rayonnement solaire une raie jaune, inconnue, qui sera identifiée par l'anglais Norman Lockyer comme appartenant à un nouvel élément, qu'il nomme hélium en faisant référence au mot grec *helios*, soleil. C'est aux chimistes de jouer, et William Ramsey réussit à isoler ce gaz étrange à partir d'un minerai à base d'uranium. Tout cela reste dans la catégorie des découvertes confidentielles, jusqu'à cet événement insolite survenu en 1903 à Dexter, dans le Kansas : le gaz issu d'un puits de pétrole nouvellement foré demeure désespérément incombustible.

L'analyse révèle une proportion importante d'azote, mais également d'hélium. Ce gaz, très léger, s'accumule dans les cavités souterraines imperméables, les mêmes qui retiennent le gaz naturel. La proportion d'hélium peut atteindre quelques pourcents dans certains gisements, qui constituent aujourd'hui notre principale source d'approvisionnement en hélium.

Or entretemps, de nombreuses applications ont vu le jour. Ce gaz est très prisé de l'industrie métallurgique, de celle des semi-conducteurs, des fibres optiques et des écrans à cristaux liquides, car il fournit une atmosphère inerte lors de procédés de fabrication de haute technologie. Une autre application très importante est la cryogénie, c'est-à-dire le refroidissement extrême. La température de l'hélium liquéfié n'est que de 4,2 degrés Kelvin, soit environ -269 °C. Cela permet de faire fonctionner des aimants supraconducteurs très puissants, compacts et peu gourmands





2. Détecteurs de neutrons de l'instrument IN5 à l'Institut Laue-Langevin (Grenoble) : les tubes sont remplis d'hélium-3 sous pression.

► Hélium-3 et Hélium-4

L'hélium est un élément léger, le premier de la famille des gaz rares. L'atome ne comporte que deux électrons formant une couche complète ; il est donc inerte sur le plan chimique. Son noyau est constitué de deux protons, et de deux neutrons pour l'isotope le plus abondant, l'hélium-4 (^4He), alors qu'un seul neutron est présent dans le noyau du deuxième isotope stable, l'hélium-3 (^3He). Cette différence donne lieu à des comportements physiques très différents aux très basses températures, où l'hélium condense en formant des phases liquides aux propriétés étonnantes.

► Hélium, superfluidité, et mécanique quantique

L'hélium-4 liquide devient superfluide à une température de 2,17 degrés Kelvin. Il s'agit d'un nouvel état de la matière (condensation de Bose-Einstein). L'hélium-3 liquide ne devient superfluide qu'à quelques millièmes de degré Kelvin, par un mécanisme analogue à la supraconductivité. Les expériences réalisées sur l'hélium-4 et l'hélium-3 liquides, systèmes dits « modèles expérimentaux », permettent de mieux comprendre les principes fondamentaux de la mécanique quantique. La théorie de L.D. Landau des liquides de Fermi, développée à l'origine pour expliquer les propriétés de l'hélium-3 liquide aux très basses températures, est aussi l'un des piliers de la physique des métaux et des semi-conducteurs. La compréhension de la superfluidité de l'hélium-3 a guidé celle des supraconducteurs à haute température critique, des fermions lourds, des étoiles à neutrons, et bien d'autres sujets qui intéressent la recherche moderne.



en énergie, comme on en trouve dans les appareils d'IRM (imagerie par résonance magnétique nucléaire), les MEG (magnéto-encéphalographes), et un grand nombre d'appareillages scientifiques ultrasensibles, ultrafroids, ultra-performants, issus des laboratoires de recherches aux très basses températures. Sans oublier les extraordinaires aimants du CERN sans lesquels l'existence du Boson de Higgs en serait au même stade de vérification expérimentale que celle du Dahu... Ces deux applications contribuent chacune pour environ un quart de la consommation mondiale, suivies de près par la soudure/découpe, où l'hélium sert de gaz protecteur, et les applications spatiales, notamment pour la pressurisation par un gaz inerte des réservoirs d'oxygène et hydrogène liquides des lanceurs. N'oublions pas les ballons de toutes tailles, du dirigeable aux ballons d'anniversaire, qui représentent un dixième de la consommation mondiale.

La production annuelle d'hélium atteint aujourd'hui des volumes impressionnants : près de 200 millions de mètres cubes, issus de gisements situés aux États-Unis, en Algérie, Russie, Pologne et plus récemment au Qatar. Le marché, cependant, reste très tendu, des crises très importantes ont eu lieu lorsque les usines d'Algérie et de Russie ont dû fermer temporairement pour raisons techniques. Pire encore : la production traditionnelle de pétrole cède le pas aux nouvelles techniques de fracturation, et de nouvelles sources d'hélium doivent être trouvées. Et ce n'est pas tout : depuis bien longtemps, l'industrie de l'hélium puise dans une cagnotte insolite, la gigantesque réserve fédérale d'hélium des États-Unis.

Chronique d'une crise annoncée

L'histoire est riche en rebondissements. Elle commence avec la Première Guerre mondiale, où les ballons jouent un rôle important pour l'observation, mais aussi pour former des barrages contre les attaques aériennes ennemies. Aussi, les dirigeables Zeppelin commencent à transporter des passagers, des vols commerciaux trans-atlantiques relient l'Europe aux Amériques, font le tour du monde... Les Zeppelins étaient gonflés à l'hydrogène, un gaz particulièrement inflammable ; ils devaient utiliser de l'hélium, mais l'embargo américain, seule nation à produire ce gaz, ne le permettait pas. La tragédie du

LZ 129 Hindenburg, brûlant en 1937 à Lakehurst (New Jersey) sonne le glas des Zeppelins.

À partir de 1960, les États-Unis organisent la production d'hélium, gaz redevenu stratégique avec la course spatiale, encourageant les entreprises privées à stocker d'énormes quantités dans la réserve souterraine de Cliffside (Texas), créée dès 1925. L'hélium s'accumule (un milliard de mètres cubes en 1995 !) et son prix, fixé par le Bureau des Mines américain, reste très faible. Les applications de l'hélium en soudure et en cryogénie sont en essor ; abondance et bas coût, les conditions d'un énorme gaspillage sont réunies : pendant des décennies, l'hélium est simplement relâché dans l'atmosphère après utilisation, rejoignant l'espace intersidéral. En effet, ce gaz léger n'est pas retenu par l'attraction terrestre...

En 1996, les États-Unis finissent par réagir, mais pour des raisons économiques : le coût de la réserve nationale d'hélium et des kilomètres de pipe-line acheminant le gaz a créé une dette monumentale, 1,4 milliards de dollars. Le Congrès ordonne par le "Helium Act" de 1996 la vente du stock à partir de 2005, avec une date butoir, 2015, pour épuiser la réserve [2]. Le prix de l'hélium reste donc très bas.

Mais l'hélium s'épuise, pour les mêmes raisons que le gaz naturel ou le pétrole [3]. Les scientifiques prennent conscience de cette catastrophe, et de nombreuses voix s'élèvent pour demander des mesures de protection. En Europe, les laboratoires de recherche récupèrent et recyclent le gaz, une situation facilitée par l'existence de centres capables de liquéfier le gaz sur place en grandes quantités (fig. 1). Les petites équipes universitaires américaines, dont les budgets de recherche s'amenuisent, ne peuvent se payer ce luxe. Tout compte fait, les chercheurs et surtout les industriels américains ne sont pas mécontents de recevoir, grâce à la liquidation de la réserve, un hélium bon marché.

Le gouvernement américain réagit dans l'urgence

En 2005, les prix s'envolent. Les États-Unis n'assurent plus que la moitié de la production mondiale, et la demande ne cesse de croître. La liquidation programmée de la réserve nationale américaine a totalement distordu le marché. La date fatidique approche, dans un contexte de crise. Le gouvernement américain, poussé par les

lobbys industriels, l'Académie des Sciences et les chercheurs, prend enfin des mesures : le "Helium Stewardship Act of 2013" est signé par le Président B. Obama, après une bataille au Congrès et au Sénat. La loi, un amendement au "Helium Act" de 1996, organise la privatisation de la réserve fédérale « dans le cadre d'un marché compétitif qui assure la stabilité du marché de l'hélium, tout en protégeant les intérêts du contribuable américain, et pour d'autres objets ». En clair, le stockage pourra continuer, la récupération de l'hélium lors des forages est encouragée. Mais le prix de l'hélium ne sera plus maintenu artificiellement bas, permettant ainsi l'exploitation rationnelle des gisements et la stabilisation du marché. Le désastre est évité de justesse : le décret n'a été signé que quelques semaines avant la fermeture de la réserve... D'autres crises viendront, cependant, car cette mesure ne fait que pallier le dérèglement actuel. Des mesures de recyclage draconiennes devraient être imposées pour préserver cette ressource qui s'épuisera inexorablement.

L'isotope hélium-3 : recherche et défense face à la pénurie...

Dans cet imbroglio législatif, perdus parmi les nombreux articles de la loi de septembre 2013, on trouve des directives concernant l'autre isotope de l'hélium, l'hélium-3 (voir encart 1) : mise en place d'un bilan des ressources et de la demande potentielle, encouragement à la prospection, développement de nouvelles méthodes d'extraction. Comment un gaz aussi exotique peut-il intéresser le législateur américain ? En fait, l'enjeu économique est faible, mais le problème concerne la sécurité nationale...

Mais commençons l'histoire par le début. L'hélium-3 est très rare sur Terre, mais on peut l'obtenir à partir de la désintégration du tritium, un isotope de l'hydrogène utilisé pour les bombes nucléaires. La quantité d'hélium-3 récupéré fournit une information stratégique sur la capacité nucléaire militaire d'un pays. Le volume produit est un secret bien gardé !

Les États-Unis et la Russie fournissent actuellement l'hélium-3 utilisé dans le monde, *a priori* à parts égales, considérant les traités de non-prolifération nucléaire. On estime à environ 25 000 litres la production annuelle de gaz (à pression et température normales). Cela peut sembler

faible, mais ces quantités ont suffi depuis les années 60 pour satisfaire la demande des scientifiques. En effet, malgré ses origines sulfureuses, l'hélium-3 a des applications incontournables en recherche fondamentale. Il est utilisé pour réaliser des détecteurs de neutrons très efficaces pour sonder la structure et la dynamique de la matière (fig. 2). Une autre application importante est la cryogénie : les « réfrigérateurs à dilution $^3\text{He}-^4\text{He}$ » (fig. 3) atteignent des températures extrêmement basses, quelques millièmes de degré au-dessus du zéro absolu. De nombreuses études en physique (matière condensée, nanosciences, physique des particules...) sont réalisées dans ces conditions extrêmes, et l'hélium-3 lui-même est l'objet d'études poussées (voir encart 2).

La réserve d'hélium-3 américaine atteint 235 000 litres en 2001, et le prix du litre de gaz descend à moins de 100 €, ce qui permet à la mission Planck d'utiliser un réfrigérateur à dilution rejetant dans l'espace 14 000 litres d'hélium-3. Mais l'attentat du 11 septembre 2001 donne lieu à de nouvelles méthodes de prévention anti-terroriste. Les ports américains sont équipés progressivement de détecteurs de matériaux radioactifs très gourmands en ^3He . La réserve tombe à moins de 50 000 litres en 2010. Il devient alors pratiquement impossible de trouver ce gaz sur le marché, et les prix s'envolent, dépassant 3000 € le litre. La communauté scientifique américaine monte au créneau. Steven Chu est alors Secrétaire à l'Énergie des États-Unis, c'est un physicien américain de renom (prix Nobel de physique 1997 avec Claude Cohen-Tannoudji et William D. Phillips, pour leurs recherches sur les atomes froids). Cela a sans doute aidé à résoudre, au moins temporairement, la crise de l'hélium-3, dont le sort est associé à celui de l'hélium-4 dans le "Helium Stewardship Act of 2013".

Mais il est toujours difficile de se procurer de l'hélium-3 ; si l'on a le bonheur d'en trouver, les prix varient de 500 à 2000 € le litre, suivant les sources (américaines ou russes). Cet élément, indispensable à l'instrumentation scientifique et à la recherche, est actuellement à la merci de décisions étrangères concernant son utilité stratégique. Revenir à une production nationale, comme cela existait dans les années 70, serait d'une grande utilité pour sécuriser nos approvisionnements. ■



© Henri Godfrin.

3. Réfrigérateur à dilution $^3\text{He}-^4\text{He}$ permettant d'atteindre des températures de quelques millièmes de degré au-dessus du zéro absolu (Collaboration CNRS-Institut Néel/L'Air Liquide).

Henri Godfrin, Directeur de Recherches au CNRS, est le responsable du groupe Ultrabasses Températures de l'Institut Néel.

Christian Gianèse, Ingénieur de Recherches au CNRS, est le responsable du centre de liquéfaction d'hélium de l'Institut Néel.

Références

- 1• "H.R. 527: Helium Stewardship Act of 2013", www.govtrack.us/congress/bills/113/hr527/text
- 2• "Selling the Nation's Helium Reserve", National Research Council, Washington, DC: The National Academies Press, 2010, www.nap.edu
- 3• "The Impact of Selling the Federal Helium Reserve", National Research Council, Washington, DC: The National Academies Press, 2000, www.nap.edu