

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



Canberra

6. À LA SUITE DES ATTENTATS DU 11 SEPTEMBRE 2001, des milliers de portiques de détection de radioactivité fonctionnant à base d'hélium 3 ont été installés aux États-Unis et ailleurs. Les réserves américaines d'hélium 3 se sont alors effondrées, provoquant une pénurie de cet isotope et une hausse vertigineuse de son prix.

réfrigérateurs à dilution, qui permettent d'obtenir des températures proches du zéro absolu et qui ne peuvent fonctionner que grâce à l'hélium 3, sont arrêtés ou attendent une hypothétique livraison de gaz pour démarrer.

Comme le souligne Henri Godfrin, chercheur du CNRS à Grenoble et spécialiste des recherches aux ultrabasses températures, l'hélium 3 sert de fluide cryogénique afin d'atteindre des températures très proches du zéro absolu, de l'ordre d'une centaine de microkelvins. Des températures indispensables notamment à la sensibilité de détecteurs de particules cosmiques destinés à traquer la matière noire et l'énergie noire, dont on pense qu'elles constituent la plus grande partie de l'Univers. H. Godfrin, comme d'autres chercheurs de sa spécialité, recycle l'hélium 3 dont il dispose. Certaines équipes en empruntent dans le cadre de collaborations avec d'autres instituts. L'hélium 3 étant un isotope stable, on peut le rendre à son propriétaire une fois les travaux terminés.

La recherche en imagerie médicale reste le dernier secteur, en dehors de la sécurité des États-Unis, à bénéficier de quelques privilèges en matière d'approvisionnement. Inhalé par le patient, l'hélium 3 (après polarisation magnétique) permet d'obtenir des images intéressantes des voies respiratoires des poumons, par la technique d'ima-

gerie par résonance magnétique nucléaire (IRM). Cette technique d'IRM sur l'hélium 3 n'en est toutefois pas encore au stade clinique, et n'est pas incontournable.

Recherches bloquées et avenir incertain

Aujourd'hui, il est devenu presque impossible de lancer de nouvelles recherches nécessitant de l'hélium 3. Il est même simplement trop coûteux de l'envisager. Des efforts sont par conséquent portés sur un meilleur recyclage de cet isotope et sur une recherche d'alternatives possibles. Le gouvernement américain a sollicité les industriels pour fournir un nouveau matériel de détection de matières nucléaires fonctionnant sans hélium 3. Mais le choix est limité. Le seul autre matériau qui permet de détecter efficacement des neutrons est le bore. Une autre option est un matériau scintillant tel que le lithium 6, qui émet de la lumière lorsque les neutrons absorbés créent des particules chargées. Des détecteurs prototypes utilisant le bore 10 ont montré que l'on pouvait atteindre un assez haut niveau de détection des neutrons, et le gouvernement américain devrait prendre une décision définitive prochainement.

Toutefois, même si les futurs détecteurs de neutrons fonctionneront sans

hélium 3, l'offre globale de cet isotope restera probablement inférieure aux besoins des scientifiques – 65 000 litres par an, alors que sa production est actuellement de 10 000 à 20 000 litres par an, selon une étude du ministère américain de l'Énergie (*Department of Energy*). L'urgence est donc maintenant d'augmenter la production.

Aux États-Unis, le recyclage et la purification du tritium contenu dans les ogives nucléaires devraient produire 8 000 à 10 000 litres d'hélium 3 par an, alors que les besoins américains seuls sont estimés à 13 000-15 000 litres par an ! Un supplément provenant du site de stockage de Savannah River, en Caroline du Sud, site de traitement des matériaux nucléaires, devrait fournir environ 10 000 litres, mais de façon ponctuelle.

Quelles sont alors les autres alternatives ? L'une serait de faire appel à des accélérateurs de particules. On peut en effet créer de nouveaux isotopes grâce à des collisions très énergétiques. La spallation nucléaire est ainsi une réaction nucléaire dans laquelle un noyau atomique est frappé par une particule incidente (neutron, proton, etc.) ou une onde électromagnétique de grande énergie. Par la violence de l'impact (énergie mise en jeu), le noyau cible se brise en produisant des jets de particules plus légères : neutrons, protons, ou noyau léger de deutérium ou d'hélium... mais cette solution n'est ni facile à mettre en œuvre ni bon marché.

Certains proposent même l'exploitation minière de la Lune. En effet, les missions *Apollo* ont ramené des roches dont l'analyse a montré qu'elles contenaient de l'hélium 3. D'où provient-il ? Le Soleil expédie dans l'espace interplanétaire, sous forme de « vent solaire », des particules – surtout des protons, des électrons et des noyaux d'hélium 3. En passant au voisinage de la Terre, ce vent solaire est dévié par le bouclier magnétique terrestre. Sur la surface lunaire, il s'accumule. Les scientifiques estiment qu'environ un million de tonnes d'hélium 3 se trouvent sur la Lune. Les Chinois envisageraient d'établir une base lunaire en 2024 et de commencer à extraire l'hélium 3 dès l'année suivante, si tant est que la technologie nécessaire soit mise au point d'ici là... Il reste qu'à ce jour, pour de nombreux scientifiques utilisateurs d'hélium 3, l'avenir reste incertain. Davantage encore que pour ceux d'hélium 4. ■