

Le xénon

I - Production et applications dans l'éclairage, l'aérospatial et l'astrophysique

Découvert en 1898 par deux chimistes britanniques, Sir William Ramsay et Morris W. Travers, le xénon appartient à la famille des « gaz rares » (aussi appelés gaz nobles : hélium, néon, argon, krypton, xénon et radon), qui correspond à la dernière colonne de la classification périodique, puisque leur couche électronique externe est remplie. En particulier, le noyau de xénon est entouré par cinq couches électroniques saturées ; sa configuration électronique est $[Kr] 5s^2 4d^{10} 5p^6$. De par son large volume atomique, la molécule est très polarisable et implique une réactivité particulière parmi les gaz rares que nous discuterons.

Comme les autres gaz rares, le xénon est incolore, inodore et ininflammable. Il est très rare dans l'atmosphère terrestre, n'en représentant qu'une infime partie : 0,0000087 %, soit 0,087 parties par million (ppm). Du fait de sa découverte comme résidu de la distillation du krypton, les gaz nobles plus légers ayant été précédemment isolés, le xénon tient son nom du grec *xenos* (étranger, inconnu) [1-2]. Il a le numéro atomique 54 et existe naturellement sous la forme de neuf isotopes différents, ^{129}Xe , ^{131}Xe et ^{132}Xe étant les plus abondants. Si le xénon est excité par une décharge électrique, il émet une lumière de couleur bleue brillante. Les raies d'émission sont dans le domaine du visible avec des intensités plus fortes pour la couleur bleue. Aujourd'hui, le xénon et ses dérivés sont utilisés pour des applications dans des domaines très variés comme l'aérospatial, la médecine, la recherche astrophysique ou l'industrie des semi-conducteurs. Nous proposons ici une revue de sa méthode de production et de ses applications actuelles.

Production

Les gaz nobles sont des produits secondaires obtenus lors de la séparation industrielle de l'oxygène et de l'azote. Ce processus industriel est réalisé par des unités de séparation d'air qui peuvent produire jusqu'à plusieurs milliers de tonnes d'oxygène et d'azote par jour. L'azote, l'oxygène et l'argon sont séparés de l'air par liquéfaction puis distillation fractionnée. Seule une infime quantité de krypton et de xénon est présente dans l'oxygène liquide. Une première phase d'enrichissement du mélange Kr/Xe par distillation fractionnée conduit à une concentration dans l'oxygène liquide proche de 2 000 ppm. Puis un second enrichissement du mélange Kr/Xe par une nouvelle distillation permet l'obtention d'une concentration proche de 99 %. L'oxygène est retiré lors de cette étape. Enfin, une dernière distillation permet une séparation entre les deux gaz (le point d'ébullition du xénon est de $-108,0\text{ }^\circ\text{C}$, tandis que celui du krypton est de $-153,2\text{ }^\circ\text{C}$). Le xénon est coproduit avec le krypton avec un ratio de l'ordre de un pour dix (figure 1). Eu égard à sa rareté, 800 à 1 000 kg de xénon peuvent être collectés en une année dans une unité de séparation d'air qui produit autour de 2 000 tonnes d'oxygène par jour [3].

Chaque année, entre 50 000 et 60 000 kg (57 000 kg en 2012) de xénon sont produits dans le monde [4]. Depuis 2010, la production augmente parallèlement au développement technologique. Du fait que le xénon est un sous-produit de la production de l'oxygène, sa production est donc limitée par la demande en oxygène dans les unités de séparation de l'air importantes. Le krypton et le xénon étant coproduits ensemble, le marché du xénon (prix et demande) affecte aussi celui du krypton. L'industrie de l'éclairage ainsi que les domaines de l'aérospatial et de la santé sont les principaux clients du marché du xénon.

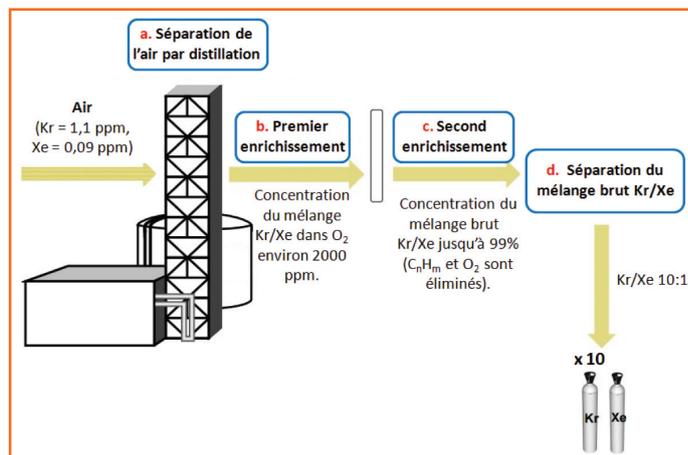


Figure 1 - Une présentation simplifiée du processus de séparation du xénon (source : Air Liquide).

Applications dans l'éclairage, l'aérospatial et l'astrophysique

Le xénon : un gaz d'éclairage

Depuis le début des années 1990, les lampes à décharge lumineuse haute pression (HID) ont été utilisées pour les phares d'automobile (figure 2). Avec leur éclairage puissant légèrement bleuté, elles permettent une augmentation de la visibilité en conduite nocturne. Ces lampes produisent de la lumière par décharge d'un courant électrique dans une atmosphère gazeuse. Une résistance ballast transmet une tension électrique aux électrodes qui ont été préalablement recouvertes d'oxydes de métaux alcalino-terreux. Lorsque les électrons émis par les électrodes rencontrent les atomes de xénon, le gaz s'ionise et de la lumière est émise.



Figure 2 - Une lampe à décharge lumineuse haute pression (HID) au xénon.

Les lampes au xénon de type HID sont également de plus en plus utilisées dans les projecteurs de cinéma. Les projecteurs numériques exigent des lampes extrêmement lumineuses pour un grossissement large de l'image projetée. Les deux technologies actuellement les plus répandues sont les lampes à vapeur de mercure et au xénon. Les lampes au xénon sont supérieures en performance : le temps d'éclairage est réduit, l'indice de rendu des couleurs est plus élevé, la saturation est aussi meilleure, les couleurs apparaissent plus vives et intenses. Le xénon émet un spectre homogène avec des intensités similaires pour chaque longueur d'onde ; un meilleur rendu des couleurs et de meilleures performances sont donc obtenus au cours du temps.

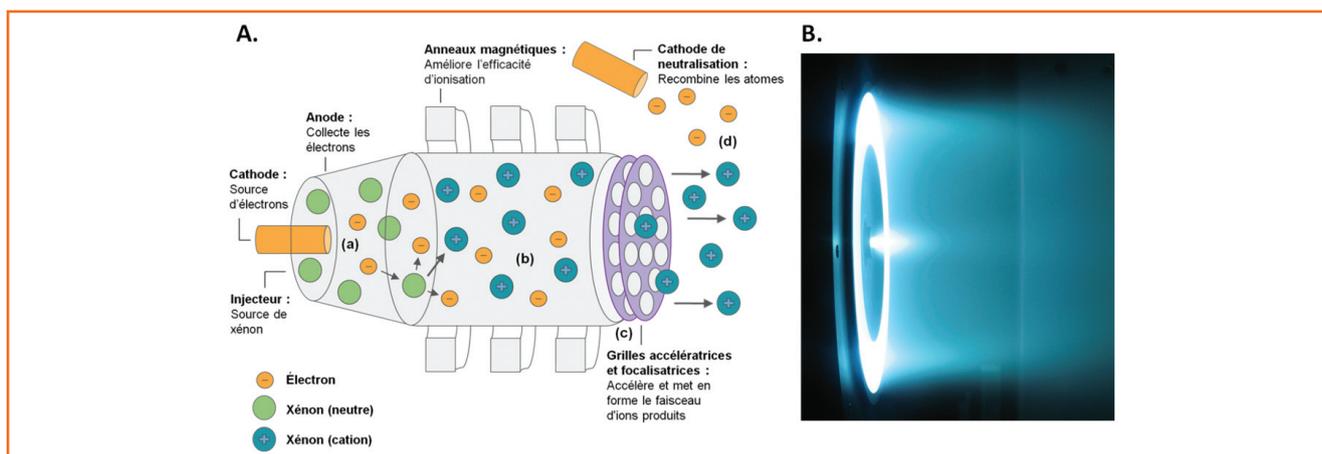


Figure 3 - **A.** Représentation schématique d'un propulseur ionique au xénon : (a) des électrons sont émis par la cathode tandis que les atomes de xénon entrent dans la chambre d'ionisation ; (b) les atomes de xénon sont percütés par les électrons et forment des cations ; (c) les ions positifs sont électrostatiquement accélérés par la différence de potentiel entre les deux grilles ; (d) les cations produisant la poussée sont neutralisés dans le jet. **B.** Le propulseur ionique Hall développé par le NASA Jet Propulsion Laboratory (source : NASA/JPL-Caltech).

Aérospatial : les propulseurs ioniques

L'une des applications les plus prometteuses du xénon est probablement dans les moteurs ioniques pour le positionnement des satellites ou des sondes spatiales. Ces engins spatiaux utilisent des moteurs électriques à propulsion ionique pour accélérer. Le principe de ce type de moteur et un exemple de propulseur de la NASA sont présentés à la figure 3.

La poussée générée par une propulsion ionique est généralement de l'ordre du millinewton. L'accélération peut sembler minime à l'échelle humaine mais lors d'un long voyage spatial, cela permet d'augmenter la vitesse graduellement sur plusieurs mois. Le xénon est un gaz de premier choix pour ce type de propulseur : il s'ionise facilement et a une masse atomique élevée permettant de générer une poussée suffisante. De plus, il est inerte et a une densité de stockage élevée. L'utilisation de moteurs ioniques au xénon permet de réduire le transport de carburant lourd et de diminuer les coûts de lancement tout en augmentant l'autonomie de la sonde spatiale.

Depuis les années 1980, les propulseurs ioniques sont également utilisés pour le maintien en orbite des satellites de communication géostationnaire. Entre 1995 et 2010, le nombre de satellites de communication géostationnaires utilisant un système de propulsion électrique au xénon a été multiplié par plus de dix fois [5]. Ce type de moteur à propulsion ionique a été aussi employé avec succès par la NASA lors de deux missions récentes : Deep Space 1 et Dawn. Deep Space 1 était une sonde spatiale expérimentale pour tester de nouvelles technologies en conditions réelles, dont un moteur ionique assurant la propulsion principale. La sonde spatiale Dawn reprit ce moteur ionique ; elle fut lancée en 2007 dans le but d'étudier deux protoplanètes, Vesta et Cérès, appartenant à la ceinture d'astéroïdes.

Astrophysique : détection de la matière noire

La matière noire est supposée constituer plus de 80 % de la matière de l'Univers. Toutefois, seuls des éléments indirects témoignent de son existence. Une hypothèse généralement acceptée est que la matière noire est constituée de particules, désignées par l'acronyme WIMP (« weakly interacting massive particles »), interagissant entre elles seulement par des forces faibles ou la gravité. Récemment, des détecteurs utilisant du xénon liquide ont été développés dans le but de détecter ces particules hypothétiques. Ils sont basés sur le principe que lorsque des atomes de xénon à l'état liquide interagissent avec des particules de matière noire, des photons

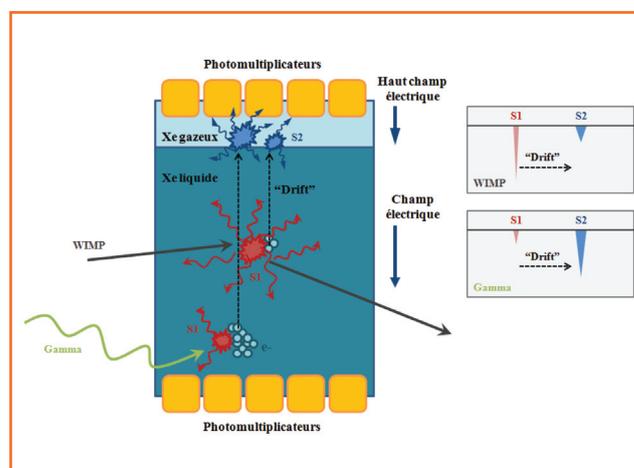


Figure 4 - Schéma représentant le principe de détection de la matière noire par le détecteur LUX (« Large Underground Xenon experiment »), développé par une équipe euro-américaine et localisé dans le Dakota du Sud (États-Unis). La détection des WIMP est observée en comparant les intensités d'émission des signaux S1 et S2. Dans le cas où de la matière noire est détectée, il y a principalement un phénomène de scintillation, accompagné de l'émission d'un photon (signal S1), et l'ionisation est très faible (signal S2).

seront émis et leur émission sera mesurée par des rangées de photomultiplicateurs. Plusieurs collaborations internationales impliquant des laboratoires de recherche se sont développées : au Japon, en Chine, aux États-Unis et en Europe. Comme la sensibilité des détecteurs est liée aux volumes de xénon utilisés, la demande augmente donc régulièrement en parallèle à l'amélioration de la sensibilité des instruments de détection.

- [1] Ramsay W., Nobel Lecture - The rare gases of the atmosphere, 12 déc. 1904.
- [2] Dmochowski I., Xenon out of its shell, *Nature Chem.*, 2009, 1, p. 250.
- [3] Herman D.A., Unfried K.G., Xenon acquisition strategies for high-power electric propulsion NASA missions, 62nd JANNAF Propulsion Meeting, Nashville (TN), 2015.
- [4] Betzendahl R., Ever changing rare gas market, *CryoGas Int.*, Fév. 2013.
- [5] Hoskins W.A., Cassady R.J., Morgan O., Myers R.M., Wilson F., King D.Q., De Gry K., 30 years of electric propulsion flight experience at Aerojet Rocketdyne, 33rd International Electric Propulsion Conference, Washington DC, 2013.

Cette fiche a été préparée par **Vincent Duplan, Jérémy Legrand et Christian Dussarrat**, Air Liquide Laboratories, Wadai, Tsukuba, Ibaraki 300-4247, Japon (christian.dussarrat@airliquide.com).

Les fiches « Un point sur » sont coordonnées par un comité éditorial mené par Jean-Pierre Foulon et Séverine Bléneau-Serdel (contact : bleneau@lactualitechimique.org). Elles sont regroupées et en téléchargement libre sur www.lactualitechimique.org/spip.php?rubrique11.