

> à cette époque, la température a assez baissé pour que les premiers atomes neutres se forment durablement, ce qui a permis aux photons de se propager et de s'échapper, constituant un rayonnement dont on observe encore aujourd'hui le vestige, le « fond diffus cosmologique ».

Parmi tous les noyaux atomiques en compétition pour capter des électrons, l'hélium a été le premier à former des atomes neutres. Pourquoi l'hélium et pas l'hydrogène ou le lithium? L'hélium, premier élément inerte, ou « gaz noble » (ou « gaz rare »), du tableau périodique des éléments, est particulièrement stable lorsqu'il comporte deux électrons. Autrement dit, il faut fournir beaucoup plus d'énergie pour lui arracher un électron qu'il n'en faut, par exemple, pour l'hydrogène. Cette stabilité s'explique par la structure en couches des électrons dans les atomes. Quand une couche est remplie, l'assemblage est plus stable; or la première couche électronique contient deux places. Dans l'atome d'hydrogène, qui n'a qu'un seul électron, cette première couche n'est pas remplie, contrairement à l'hélium.

UNE CHASSE AUX ÉLECTRONS

Dans la prime jeunesse de l'Univers, quand les noyaux d'hélium ont commencé à rencontrer des électrons, ils ont donc rempli la première couche de leur nuage électronique sans que les noyaux d'hydrogène puissent rattraper leur retard dans ce processus de capture d'électrons, et bien avant que les noyaux de lithium soient même présents pour récolter, chacun, les trois électrons nécessaires pour devenir des atomes neutres.

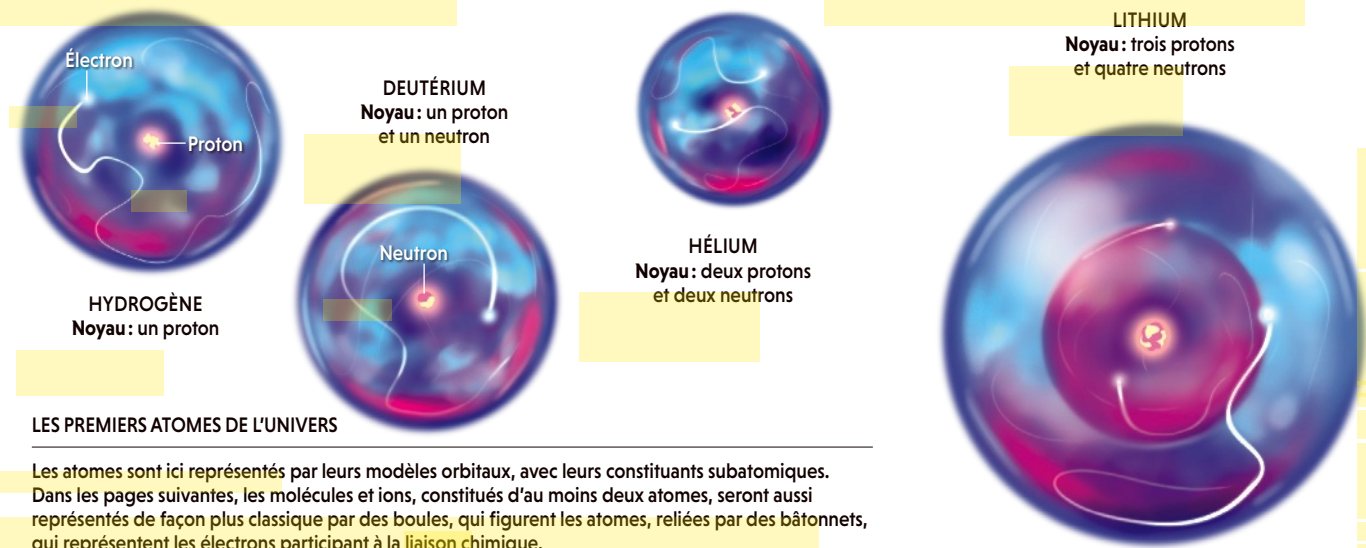
Pendant une brève période, l'Univers a contenu des atomes d'hélium neutres et une grande majorité de noyaux d'hydrogène (des protons seuls), dont la charge électrique a commencé à jouer un rôle important dans

l'évolution cosmique. Avec le refroidissement du milieu, les protons ont ainsi peu à peu ralenti et ont été d'autant plus attirés par des entités chargées négativement. Mais comme l'hélium avait déjà capté une bonne partie des électrons, les électrons libres étaient plus rares et les rapprochements directs entre un proton et un électron étaient d'autant plus exceptionnels.

En revanche, les protons étaient attirés par les électrons présents dans les atomes d'hélium nouvellement formés. Bien que l'hélium perde difficilement ses électrons, certains atomes d'hélium ont fini, à force de collisions fréquentes, par mutualiser leurs deux électrons avec des noyaux d'hydrogène. C'est ainsi que se sont formées les premières liaisons chimiques, donnant naissance à une espèce chimique constituée d'hélium et d'hydrogène, nommée « hydruure d'hélium » ou encore « hélonium ». De formule chimique HeH^+ , cet ion moléculaire – on s'autorisera dans la suite le terme « molécule » qui, en toute rigueur, désigne une structure électriquement neutre – aurait donc été le premier composé complexe présent en quantité significative dans l'Univers.

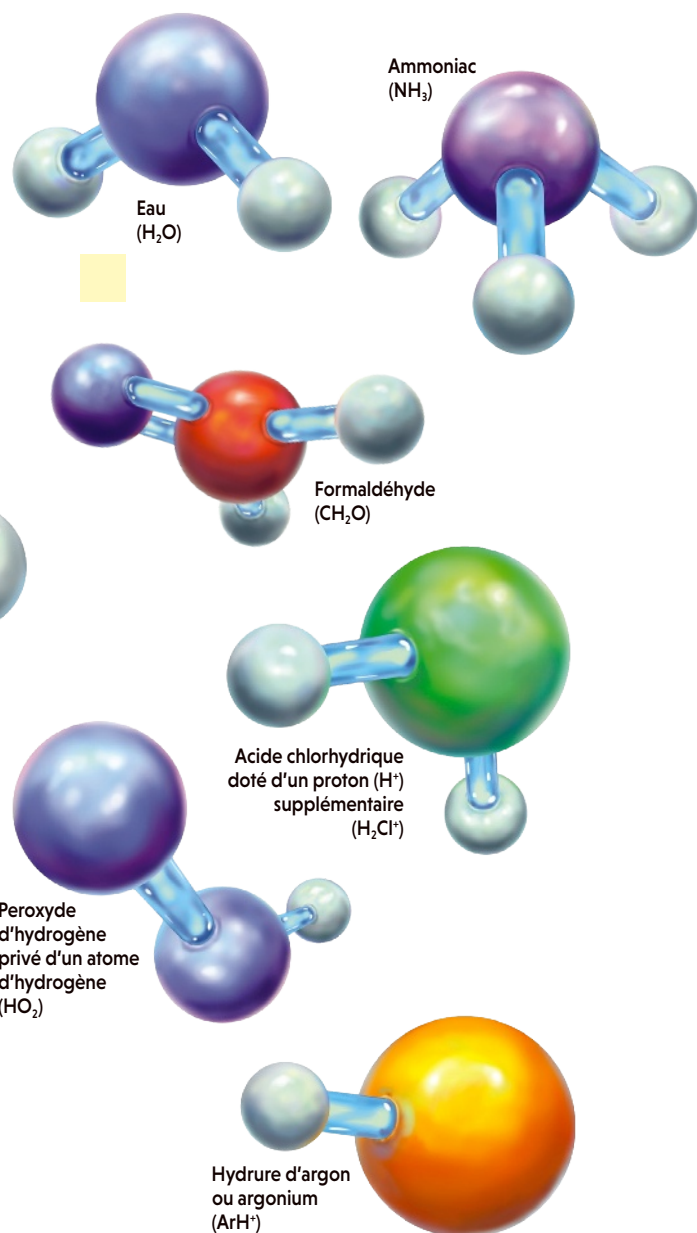
Le fait que l'hélium ait été le premier élément à former des liaisons chimiques nous paraît surprenant, car nous considérons d'ordinaire l'hélium comme l'élément le moins susceptible de se lier à d'autres, les atomes de ce gaz noble ayant un nombre d'électrons qui garantit une très grande stabilité. Mais dans l'Univers primitif, la situation était en fait très particulière: l'hélium était l'unique « banque à électrons » disposée à en « prêter » aux charges positives, les protons.

Ce scénario est solidement étayé par des arguments théoriques depuis plusieurs décennies, mais il manquait encore des observations concrètes pour le corroborer. La molécule



HeH⁺ est particulièrement évasive. Elle ne peut pas se former sur Terre, hormis dans des conditions spéciales en laboratoire. Elle est aussi passée inaperçue dans l'espace pendant très longtemps; mais en 2019, Rolf Güsten, de l'institut Max-Planck de radioastronomie, à Bonn,

QUELQUES EXEMPLES DE MOLÉCULES DÉTECTÉES DANS L'ESPACE



HYDRURE D'HÉLIUM OU HÉLONIUM HeH⁺

Représentation par un modèle boules-bâtonnets

Représentation inspirée des orbitales moléculaires et de la densité de probabilité de présence des électrons

en Allemagne, et son équipe ont annoncé l'avoir observée pour la première fois, tapie dans la nébuleuse planétaire engendrée par la mort d'une étoile. Des recherches entamées quarante ans auparavant avaient enfin porté leurs fruits et comblé un vide dans notre connaissance des premiers instants de l'Univers.

PLUS DE 200 «ASTROMOLÉCULES»

La molécule HeH⁺ s'est donc ajoutée à la liste des molécules extraterrestres connues; à ce jour, les scientifiques ont détecté plus de 200 espèces chimiques dans l'espace. L'astrochimie, le domaine d'études qui s'intéresse aux structures et phénomènes chimiques en dehors de la Terre, vise à déterminer quelles molécules et ions moléculaires sont présents dans l'espace, comment ces composés se forment, et ce que leur évolution apporte à l'astrophysique, d'un point de vue tant théorique qu'observationnel. Parmi les «astromolécules» connues, nombreuses sont celles qui, comme l'eau (H₂O), l'ammoniac (NH₃) ou le formaldéhyde (CH₂O), sont répandues sur Terre. D'autres sont très inhabituelles, tels H₂Cl⁺, obtenu en ajoutant un proton à l'acide chlorhydrique (HCl), et HO₂, assimilable au peroxyde d'hydrogène ou «eau oxygénée» (H₂O₂) privé d'un atome d'hydrogène.

Parmi les bizarreries observées figurent des molécules chargées, assemblages comportant des électrons non appariés, et des configurations étranges de molécules plus communes. Les scientifiques ont même repéré des molécules formées avec des éléments inertes, comme ArH⁺, qui contient de l'argon, ainsi que HeH⁺, la nouvelle venue.

La plupart des domaines de la chimie visent des applications destinées à nous rendre le

monde plus efficace, plus agréable ou plus sûr. L'astrochimie, elle, s'intéresse aux propriétés les plus fondamentales des molécules: comprendre les liaisons chimiques ou la stabilité des molécules et déterminer pourquoi certaines espèces chimiques sont plus répandues que d'autres.

En étudiant la chimie à l'œuvre dans des environnements si différents de la Terre – mettant en jeu des températures, des pressions et des ingrédients disponibles inhabituels –, les scientifiques découvrent des molécules qui bouleversent leurs représentations familières des interactions atomiques et approfondissent ainsi leur compréhension de la chimie. En définitive, les astrochimistes espèrent comprendre comment les phénomènes chimiques dans l'espace ont conduit aux ingrédients qui se sont retrouvés sur les planètes du Système solaire et qui ont finalement permis l'apparition de la vie sur Terre.

En 1925, dans son laboratoire de l'université de Californie à Berkeley, aux États-Unis, le ➤