

l'impression, par l'art et la manière de représenter des objets de la culture des Dong Son, qu'ils sont plus anciens, comme l'est le royaume de Srivijaya par rapport à celui du Malayu.

L'apparition des mégalithes de Kérinci et de Pasémah s'explique donc par l'intensification des échanges entre les premiers royaumes des basses terres et les habitants de la forêt pluviale des hautes terres. Vieux trait culturel indonésien, le mégalithisme a été réinvesti par les chasseurs-cueilleurs des hautes terres, au moment où ils se sont sédentarisés pour mieux faire commerce des ressources de cette forêt et de l'or de leurs rivières.

Auparavant, ils ne connaissaient pas la propriété, mais ils se mirent progressivement à fonder des cités et à cultiver les champs afin de pouvoir eux aussi profiter des «cadeaux» envoyés par les basses terres. Désormais, pour profiter des richesses procurées par les échanges avec les basses terres, il fallait rester sur son territoire et le protéger des intrusions d'autrui. De fait, on observe que ces anciens

chasseurs-cueilleurs se sont établis partout où les cours d'eau et la disposition des vallées facilitaient les échanges. Les cités se sont probablement ensuite formées d'abord sous la forme d'alliances de villages, dont un mégalithe constituait une sorte de centre territorial signalant une volonté de présence durable.

Des pierres que se lançaient les dieux

La taille et le transport d'une pierre de plusieurs tonnes sous-entendent main-d'œuvre et méthodes adéquates. Le cas des deux dernières cultures mégalithiques d'Indonésie – celle de l'île orientale de Sumba et celle de l'île de Nias – montre que ce sont en général des membres influents de sociétés qui lancent et dirigent l'érection d'une pierre dressée. Un tel engagement leur vaut une reconnaissance durable, puisque le donateur d'un mégalithe à la communauté continuera de vivre symboliquement à travers la pierre, devenant par là l'un des aïeux de la communauté. C'est pourquoi, une fois érigés, les mégalithes

du Kérinci et de la région de Pasémah ont influencé durablement la culture des communautés montagnardes. Pour lutter contre cette influence, le sultan de Jambi est allé jusqu'à interdire la vénération de ces vieilles pierres.

Les résultats de nos fouilles reflètent l'ascension, puis le déclin du royaume de Malayu, puisque l'on constate que les biens importés se raréfient à partir de la fin du XIV^e siècle et disparaissent au XV^e siècle. Manifestement, le Kérinci avait perdu son partenaire commercial. C'est vraisemblablement à cette époque que l'habitude de dresser des mégalithes a disparu.

De nos jours, seuls des mythes en rappellent l'histoire : un récit très populaire dans les villages du Kérinci fait allusion à la présence ancienne de dieux hindous dans les volcans de Sumatra, qui se lancent des pierres lorsqu'ils se disputent. À part cela, seule l'archéologie rappelle que les puissants royaumes bouddhiques de Srivijaya et de Malayu ont dû leur prospérité à leurs fructueux échanges avec les communautés villageoises des hautes terres de Sumatra. ■



france culture

VOYAGER DANS LE TEMPS

La marche des sciences
Aurélie Luneau
14h/15h - jeudi
En partenariat avec *Pour la Science*

franceculture.fr

2012. Photo : Mark Donaghy © Philippe Burellec. Courtesy gallery Nizkor - 40407 Paris 2011

DREAM ON

Technologie

Hélium : la pénurie menace

Christian Gianese

L'hélium, indispensable pour de multiples applications, obéit à des contraintes de production et de distribution complexes. Un contexte aujourd'hui si tendu que ce gaz inerte manque déjà.



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.

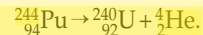
L'hélium est l'élément dont le noyau atomique comporte deux protons, d'où sa deuxième position après l'hydrogène (noyau constitué d'un proton) dans le tableau des éléments. Il peut exister sous deux formes stables : l'hélium 4 (noté ${}^4_2\text{He}$), dont le noyau est formé de deux protons et deux 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