

de la lave et des pierres ponce se sont ajoutées aux cendres. Les pluies accompagnant l'éruption ont transformé l'ensemble en un torrent de boue qui s'est solidifié sur 12 à 25 mètres de hauteur, de sorte que la couche de cendre initiale et son contenu sont restés intacts.

Plinie le jeune raconte en détail la chronologie des événements. Les habitants avaient eu le temps de fuir ou de se mettre à l'abri, quand, 12 heures après le début de l'éruption, une première vague de cendres volcaniques et de gaz brûlants a traversé la ville, sans laisser de dépôt et sans faire de dégâts sur les objets résistants à la chaleur. Puis, quand cette vague de cendres a atteint la falaise, les éléments les plus denses ont pénétré en trombe à l'intérieur des hangars où une partie de la population s'était réfugiée.

La plupart des victimes étaient assises ou couchées sur le sol (renversées par la vague de cendres). Les crânes et les os présentent des fractures noircies par la chaleur et l'émail des dents était fissuré, comme après une incinération. D'après ces indices, associés à l'analyse des tuiles retrouvées sur place, les archéologues ont estimé que la température qui régnait au moment de l'impact de la vague de poussières et de chaleur sur les hangars avait atteint 500 °C.

La vitesse de déplacement des cendres brûlantes et leur volume n'ont pas laissé aux occupants le temps de fuir. On a calculé que dans un des hangars où 30 personnes ont été ensevelies, huit mètres cubes de matière en fusion ont instantanément vaporisé l'eau contenue dans les cellules des tissus. La cendre s'est déposée sur les articulations des os et sur les résidus de tissus organiques, formant une enveloppe rigide qui a figé la position des victimes. La position des membres a révélé l'absence de gestes de protection ou de signes d'agonie.

Les légères flexions des pieds et des mains que l'on observe sur les squelettes sont dues à des contractions qui se sont produites en une seconde au contact de la chaleur, avant que la cendre ne devienne trop compacte. L'attitude pugilistique caractéristique des victimes de feux, qui résulte du raccourcissement des tendons et des muscles après la mort, n'est apparente que sur quelques squelettes, ce qui prouve qu'ils ont été immobilisés en quelques secondes. Ainsi, les victimes sont mortes sous l'effet du choc thermique et non d'asphyxie, comme on le supposait jusqu'à présent.

Atomes exotiques

Des effets quantiques autorisent certains atomes à réagir à des températures très basses, alors que les lois de la chimie devraient le leur interdire.

Depuis les années 1930, on sait qu'il existe dans l'Univers de très faibles quantités d'antimatière, constituée de particules semblables aux particules ordinaires, mais dont les propriétés sont inversées. Au proton (unique constituant du noyau de l'atome d'hydrogène) de charge électrique positive, correspond l'antiproton de même masse, mais de charge électrique négative. La rencontre d'une particule et de son antiparticule provoque leur annihilation mutuelle et la libération d'un rayonnement. Ainsi, une antiparticule pénétrant dans un matériau ordinaire n'y survit, au mieux, que quelques millièmes de milliardièmes de seconde. Pourtant, environ trois pour cent des antiprotons arrêtés par une cible d'hélium pur survivent plusieurs microsecondes. Cette stabilité inhabituelle a été mise en évidence au CERN, en 1993, par l'équipe de Toshimitsu Yamazaki : elle est due à la participation de l'antiproton à la constitution d'un objet exotique, nommé atomcule. Les réactions chimiques des atomcules relèvent d'effets quantiques et pourraient ressembler à celles des gaz froids des milieux interstellaires.

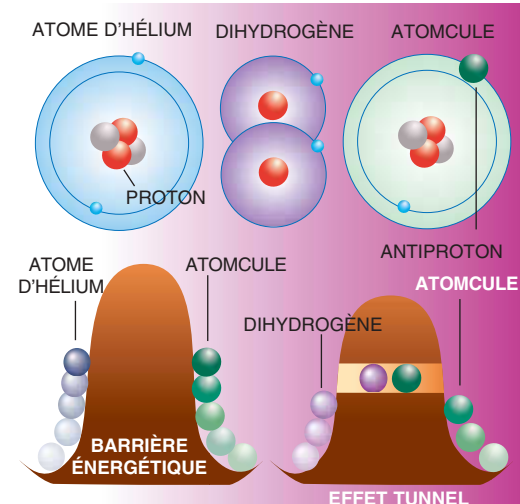
Un atomcule est constitué d'un atome d'hélium qui a perdu un électron par ionisation et d'un antiproton. Il s'apparente à un atome exotique, où l'antiproton jouerait le rôle d'une sorte d'«électron lourd». Toutefois, l'antiproton étant environ 2 000 fois plus massif qu'un électron, cet assemblage s'apparente aussi à une molécule diatomique inhabituelle : l'un des noyaux est chargé positivement, mais l'autre négativement!

Ces atomcules ont un comportement chimique étonnant. Dans l'hélium pur, ils résistent à des millions de collisions. Cependant, un contaminant moléculaire comme le dihydrogène, H₂, détruit l'atomcule dès la première collision, même à très basse température. Récemment, on a étudié de façon détaillée cette réaction de destruction à des températures de 30 kelvins.

Pour comprendre les différents comportements des atomcules vis-à-vis des atomes d'hélium ou des molécules de dihydrogène, nous avons appliqué les méthodes de chimie phy-

sique à l'étude de ces mécanismes exotiques. Nous avons essayé d'établir le chemin réactionnel, c'est-à-dire les étapes par lesquelles passent les deux espèces chimiques – l'atomcule et l'atome d'hélium dans un cas, l'atomcule et la molécule de dihydrogène dans l'autre – au cours de leur rapprochement et de leur réaction.

Pour cela, nous avons évalué les interactions du nuage électronique entourant le noyau d'hélium, d'un proton et d'un antiproton – et ceci pour des milliers de configurations possibles de ces nuages. Lorsque les deux espèces chimiques se rapprochent, leurs nuages électroniques se repoussent et constituent une barrière d'énergie plus ou moins facile à franchir. Le chemin réactionnel est alors décrit par l'évolution de l'énergie en fonction de la distance qui sépare les deux espèces. La courbe qui décrit cette évolution présente une bosse que les deux espèces doivent franchir pour se rejoindre. Si leurs vitesses d'agitation sont suffisantes, elles escaladent la pente, se rejoignent et réagissent ; sinon, elles s'arrêtent à mi-pente, puis retombent dans leur «vallée», sans se rencontrer.



Le noyau d'un atome d'hélium est constitué de deux protons (en rouge) et de deux neutrons (en gris). Deux électrons (en bleu) assurent l'équilibre électrique. Quand un antiproton, l'antiparticule d'un proton, c'est-à-dire une particule de même masse que le proton, mais de charge opposée, se combine à un atome d'hélium qui a perdu un électron, naît un atomcule, une particule exotique dont l'une des particules négatives en orbite est presque aussi massive que le noyau. Un tel atomcule est relativement stable en présence d'hélium, car la barrière énergétique est trop élevée et interdit la réaction des deux entités chimiques. En revanche, l'atomcule n'est pas stable en présence d'hydrogène : non seulement la barrière à franchir est moins élevée, mais la réaction se fait aussi par effet tunnel : les entités traversent la barrière et réagissent.