

IDÉES DE PHYSIQUE

Les torches à plasma

De l'air soufflé à travers un arc électrique intense produit un gaz ionisé à haute température... et à usages multiples.

Jean-Michel COURTY et Édouard KIERLIK

En créant sur Terre des conditions de températures similaires à celles régnant à la surface du Soleil, ne pourrait-on pas neutraliser les déchets les plus toxiques ? Avec des températures de l'ordre de 10 000 °C dans leur cœur, les torches à plasma sont une voie prometteuse. Initialement dédiées à tester la résistance des matériaux aux températures élevées, elles consistent à ioniser partiellement un gaz en l'insufflant à travers un arc électrique très dense en énergie. Le jet de plasma (gaz ionisé) ainsi créé, très chaud, fait déjà l'objet d'applications industrielles dans la soudure ou la découpe de métaux ; mais il pourrait aussi révolutionner le traitement des déchets.

Comment obtenir un jet de plasma utilisable ? La première étape consiste à ioniser un gaz, de l'air par exemple, en éta-

blissant un arc électrique entre deux conducteurs distants l'un de l'autre. En appliquant une tension suffisamment élevée à leurs bornes, on crée un courant électrique. Après un amorçage réalisé par exemple en rapprochant les deux électrodes, le phénomène s'entretient de lui-même.

Un jet de gaz ionisé à plus de 10 000 °C

Les électrons présents, accélérés par le champ électrique régnant dans l'espace entre les conducteurs, ont assez d'énergie cinétique pour ioniser les molécules neutres qu'ils heurtent. Une telle collision produit un ion et un électron supplémentaire, lequel est accéléré, et ainsi de suite.

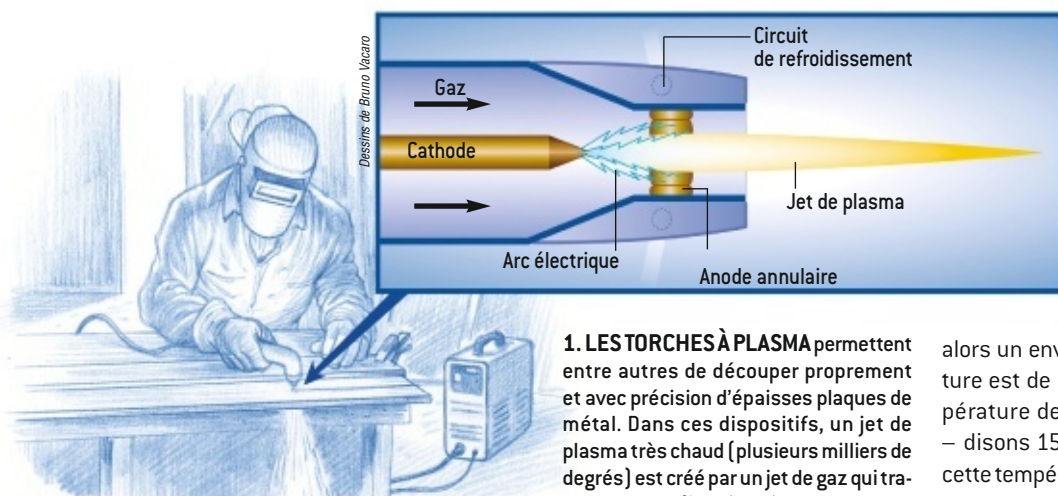
Cette cascade transforme le milieu isolant et neutre en un plasma (état de la matière partiellement ou totalement ioni-

sée) conducteur. Les molécules du gaz peuvent aussi être simplement excitées, c'est-à-dire portées à un niveau d'énergie supérieur, auquel cas elles émettent un photon au moment de la désexcitation. L'arc électrique, comme la foudre, est donc lumineux.

Le courant électrique dans un arc est beaucoup plus intense que dans les lampes à décharge, car les électrons sont émis en grand nombre par la cathode, par effet thermo-ionique : cette électrode est si chaude, environ 2 000 °C ou plus (d'où la nécessité d'utiliser des métaux à haut point de fusion, tels que le tungstène), que les électrons du métal acquièrent suffisamment d'énergie pour s'échapper spontanément de sa surface. On obtient ainsi des courants qui peuvent atteindre des centaines d'ampères sous des tensions de quelques dizaines de volts seulement.

Pour créer un jet de plasma, la deuxième étape consiste à souffler un gaz initialement neutre à travers l'arc. Il faut être astucieux et limiter l'espace occupé par l'arc grâce à la géométrie des électrodes, afin que la puissance électrique fournie se retrouve concentrée dans un tout petit volume. Les molécules du gaz rencontrent

alors un environnement dont la température est de l'ordre de grandeur de la température de surface du Soleil, voire plus – disons 15 000 °C pour fixer les idées. À cette température, les constituants de l'arc ont des énergies cinétiques moyennes de



1. LES TORCHES À PLASMA permettent entre autres de découper proprement et avec précision d'épaisses plaques de métal. Dans ces dispositifs, un jet de plasma très chaud (plusieurs milliers de degrés) est créé par un jet de gaz qui traverse un arc électrique intense.

l'ordre de deux électronvolts, une valeur assez élevée pour ioniser ou dissocier les molécules du jet (il faut cinq électronvolts pour rompre la liaison entre les deux atomes de la molécule de dioxygène, O_2). Il en résulte à la sortie un nouveau plasma partiellement ionisé, sans doute un peu moins chaud, mais qui occupe un espace plus important, que l'on peut diriger et contrôler en jouant sur les propriétés de l'écoulement gazeux (débit, forme de la buse, etc.).

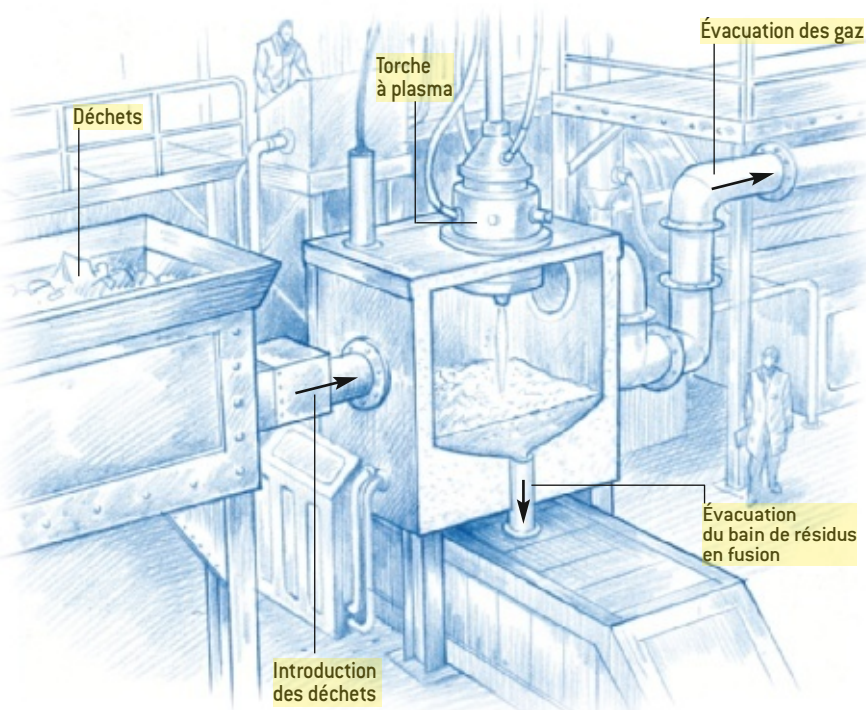
Dans la torche à plasma dite à arc soufflé (voir la figure 1), l'arc s'établit entre une cathode en forme de pointe et une anode cylindrique évidée qui sert de tuyère d'éjection à la colonne de plasma. Le plasma jaillit de la buse sous la forme d'un « dard », un pinceau cylindrique très lumineux qui s'estompe rapidement dans l'air.

En pratique, les températures obtenues dépendent de nombreux paramètres (nature du gaz choisi, géométrie de l'anode, etc.). De plus, comme dans une flamme, elles varient fortement au sein même du plasma. Le point crucial est que les températures dépassent celles obtenues par d'autres procédés. Alors que la flamme d'un chalumeau à acétylène, particulièrement chaude, atteint 3 100 °C, le cœur d'une torche à plasma peut dépasser 10 000 °C.

Découper du métal, traiter des déchets

La palette d'applications est très vaste, notamment en métallurgie. La température du dard de plasma est en effet si élevée qu'il fait fondre presque instantanément le métal, ce qui permet de souder, de découper, de percer... Bien souvent, le métal traité sert lui-même d'anode, le jet de plasma étant confiné spatialement grâce à un jet de gaz secondaire, qui sert aussi à refroidir la buse ou à isoler de l'atmosphère la pièce usinée. Par ailleurs, le débit gazeux du dard est suffisamment localisé pour que la découpe soit précise, et assez important pour chasser les gouttelettes de métal en fusion, ce qui rend la découpe propre.

Au moyen d'une torche à plasma de 100 ampères et 13 kilowatts, on atteint



2. DEPUIS QUELQUES ANNÉES, des fours industriels fonctionnant sur le principe des torches à plasma permettent d'incinérer des déchets contenant de l'amiante ou des matières radioactives et de vitrifier les résidus de l'incinération. Leur utilisation est envisagée pour traiter aussi des déchets plus ordinaires.

ainsi des vitesses de découpe de l'ordre de 50 centimètres par minute pour des plaques de 30 millimètres d'épaisseur, avec une précision de l'ordre de 0,2 millimètre.

Depuis quelques années, la torche à plasma s'utilise aussi dans des unités de traitement de déchets (voir la figure 2). Les cendres d'incinération d'ordures ménagères, les matériaux amiantés ou radioactifs sont trop dangereux pour être remisés tels quels dans une décharge. Au moyen de torches à plasma, on vitrifie ces déchets, c'est-à-dire qu'on les transforme en un solide amorphe, autrement dit en solide dépourvu de structure cristalline (comme le verre). Les avantages sont multiples : l'amiante n'est plus sous forme de fibres, les métaux lourds des cendres ou les éléments radioactifs sont piégés dans une matrice inerte où la diffusion des atomes est extrêmement lente.

Ainsi, à Morcenx, dans le département des Landes, la Société *Inertam* gère une usine entièrement consacrée au traitement des déchets amiantés. Inauguré

LES AUTEURS



Jean-Michel COURTY et Édouard KIERLIK sont professeurs de physique à l'Université Pierre et Marie Curie, à Paris. Leur blog : <http://blog.idphys.fr>



Retrouvez les articles de J.-M. Courty et E. Kierlik sur www.pourlascience.fr