

Mélange sans fatigue

Des tubes coudés pour un mélange efficace.

Comment mélanger sans se fatiguer ? La question intéresse le maçon qui s'épuise à gâcher le ciment, le cuisinier qui monte une mayonnaise, le producteur de matière plastique qui réunit les réactifs, le fabricant de cosmétiques qui chauffe des molécules fragiles... À l'Université de Nantes, H. Peerhossaini, Y. Leguer et C. Castelain construisent des conduits tordus qui mélangent rapidement deux fluides.

Plusieurs écoulements réalisent de tels mélanges, mais les physiciens nantais en ont étudié un très simple : celui qui s'effectue spontanément quand un fluide s'écoule dans un tube composé d'éléments à trois coudes à 90 degrés. Dans un tel tube, l'écoulement reste laminaire s'il n'est pas trop rapide, mais les propriétés dispersantes sont analogues à celle d'un écoulement turbulent.

À l'aide de lasers qui provoquent la fluorescence de particules dispersées dans le fluide, les physiciens ont montré que tous les signes du mélange cherché étaient présents dans leurs tubes. De plus, il permet de bons transferts de chaleur, des parois vers tout le fluide qui y circule : dans les tubes nantais, ce transfert est supérieur de 28 pour cent à celui qui est obtenu dans un tube hélicoïdal ; un nombre plus grand de molécules du fluide vient au contact des parois. Ce gain intéresse les biologistes, qui doivent souvent chauffer des molécules sans les dégrader ; or les écoulements turbulents classiques, avec leurs forts cisaillements internes, détruisent les molécules fragiles. Le mélange par écoulement laminaire ne présente pas cet inconvénient.



Dispositif de mélange de fluides.

L'Iran construit-il des armes nucléaires?

DAVID SCHWARZBACH

Riche en pétrole et en gaz naturel, l'Iran mène un programme nucléaire que justifie mal la seule production d'électricité.

En 1995, le gouvernement iranien annonce qu'il a signé des contrats d'un montant de 4,5 milliards de francs avec le ministère russe de l'Énergie atomique, afin de construire une centrale nucléaire près de la ville de Bushehr, sur le golfe Persique. Aussitôt les États-Unis réagissent : le secrétaire d'État américain Warren Christopher fait campagne pour éviter que les Russes n'aident ainsi l'Iran à constituer un arsenal nucléaire. Il n'a pas gain de cause, mais le projet a peu progressé au cours des 30 derniers mois, et de nombreux experts pensent que le coût final sera bien supérieur aux prévisions initiales.

Le projet de Bushehr est déconcertant : pourquoi l'Iran, qui a d'énormes réserves de gaz naturel et d'autres combustibles fossiles, investit-il plusieurs milliards de francs dans une centrale nucléaire qui produira de l'électricité à un coût supérieur à celui d'une centrale thermique?

Naturellement la centrale de Bushehr pallierait la grave pénurie d'électricité qui gêne le développement du pays, et sa construction s'accompagnerait de la formation d'ingénieurs capables de faire fonctionner des réacteurs nucléaires (civils, producteurs d'électricité, mais aussi militaires, producteurs de plutonium). À plus court terme, le projet de Bushehr serait une excellente couverture pour des activités de contrebande : le ministère russe de l'Énergie atomique enverra jusqu'à 3 000 techniciens et 7 000 tonnes d'équipements pour la réalisation du projet, créant ainsi un trafic suffisamment intense pour couvrir des transferts clandestins d'équipements, de matériels et de compétences.

Le projet de Bushehr a toutefois l'avantage (faible) qu'il permettra de tester les mesures de lutte contre la prolifération nucléaire qui seront bientôt mises en œuvre par l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA), établie à Vienne. À la suite de la guerre du Golfe, lorsque le monde découvrit que l'Irak avait trompé les inspecteurs de l'AIEA et conduit un programme clandestin de construction d'une bombe atomique, l'AIEA a révisé ses modalités d'inspection et de surveillance et établi un programme nommé 93 + 2. Les responsables du nucléaire iranien ont accepté de se soumettre aux inspections définies par ce programme ; tiendront-ils leurs engagements?

Deux petits centres de recherches nucléaires

Malgré les efforts des services secrets occidentaux, on ignore encore si l'armée iranienne a ou non un programme nucléaire actif. La défaite de l'Irak, en 1991, a convaincu le gouvernement iranien que le pays ne pouvait compter sur ses seules forces conventionnelles pour dissuader une intervention des Occidentaux dans la région du Golfe : les armes nucléaires permettraient d'éviter les ingérences occidentales et, aussi, de lutter contre des ennemis plus proches, tel l'Irak, qui utiliseraient des armes chimiques et biologiques. En 1991 et 1992, l'Iran tenta de se procurer des équipements en Argentine, en Chine, en Europe et en Inde ; avec les compétences appropriées, ces équipements auraient permis à Téhéran de construire un petit arsenal nucléaire. Les États-Unis blo-

quent les ventes, mais des rapports de divers services secrets indiquent que le réseau d'achat clandestin de l'Iran est resté intact.

Ayant échoué dans cette tentative, l'Iran n'a qu'une faible infrastructure nucléaire. Deux réacteurs iraniens peuvent aujourd'hui produire du plutonium. L'un est un réacteur de recherche, au Centre nucléaire Amirabad, fondé en 1960 sous le régime du shah et équipé par le gouvernement américain.

En plus du réacteur, le Centre dispose d'un petit laboratoire permettant de séparer le plutonium du combustible irradié qui est récupéré à la sortie du réacteur. Cependant ce laboratoire ne peut séparer que 0,6 kilogramme de plutonium par an, alors qu'il faut cinq à sept kilogrammes de plutonium pour construire une bombe (à titre de comparaison, les réacteurs de Bushehr produiraient plus de 180 kilogrammes de plutonium par an).

Les ingénieurs du Centre nucléaire d'Amirabad pourraient accumuler secrètement assez de matériau pour une bombe, mais un tel détournement ne serait pas facile, car Amirabad, comme toutes les installations nucléaires iraniennes, est étroitement surveillé par l'AIEA.

Le seul autre réacteur iranien capable de produire du plutonium ne fournirait que des quantités insignifiantes. Situé au Centre de recherche nucléaire d'Esfahan, il a été commencé vers 1975 par une entreprise française et terminé après le renversement du shah, grâce à la Chine. L'Iran veut agrandir Esfahan ; l'activité intense du centre, en 1996, a incité l'AIEA à y effec-