

Vers le réacteur à fusion nucléaire contrôlée

par R.S. Pease

A l'université de Princeton (Etats-Unis) on a récemment obtenu, dans une expérience de fusion du type dénommé tokamak, des températures de plasma de l'ordre de 60 millions de degrés Kelvin. C'est là un progrès important par rapport aux quelque 25 millions de degrés précédemment atteints après des années d'efforts. D'autres tokamaks ont réalisé des valeurs record d'isolation thermique. On peut donc sérieusement espérer obtenir les températures et l'isolation toutes deux nécessaires pour produire du courant. Quel est donc alors l'obstacle qui nous sépare encore de l'énergie de fusion nucléaire contrôlée?

Depuis dix ans, on a intensifié l'étude des formes que pourrait prendre un réacteur thermo-nucléaire producteur d'électricité et des diverses difficultés techniques qu'il y aurait à surmonter. On dispose maintenant de nombreux modèles théoriques de réacteurs thermo-nucléaires dont l'étude a permis d'esquisser la solution de la plupart des problèmes.

On peut distinguer trois catégories de réacteurs, reposant toutes sur la réaction de noyaux de deutérium et de tritium qui donne un noyau d'hélium et un neutron de 14,1 MeV ($D + T \rightarrow He^4 + n + 17,6 \text{ MeV}$). On trouve sans difficulté du deutérium dans l'eau ordinaire alors que le tritium est engendré dans une couche enveloppante de lithium.

Il y a en premier lieu les réacteurs à combustion intermittente, dans lesquels on introduit une fournée de combustible, qu'on chauffe et qu'on laisse ensuite réagir et brûler. Puis on élimine par pompage les produits de réaction et on introduit une nouvelle fournée de combustible pour commencer une nouvelle opération. Tel est par exemple le réacteur de fusion à laser; mais il y a aussi des types à confinement magnétique qui reposent sur le même système.

En second lieu, on a le réacteur multiplicateur d'énergie, dont l'exemple le plus connu est la machine à miroirs magnétiques. On y introduit à haute énergie le deutérium et le tritium, on les maintient dans le piège magnétique pendant un temps assez long pour que la réaction de fusion donne un rendement net d'énergie, puis on les épuise le long des lignes de force qui traversent les miroirs magnétiques. Pour que ces systèmes soient efficaces, il faut que la multiplication de l'énergie dépasse le décuplement.

Il y a enfin les systèmes reposant presque exclusivement sur des champs magnétiques toriques en courant continu ou quasi-continu. On injecte le combustible froid dans un plasma déjà en combustion et on élimine les produits de réaction ainsi que le plasma épuisé à travers un déflecteur magnétique.

On a étudié un très grand nombre de réacteurs de ce troisième type et notamment ceux qui reposent sur la configuration du tokamak. En raison du courant induit qui doit à la fois chauffer et confiner le plasma, on prévoit généralement pour ces systèmes un courant quasi-continu, c'est-à-dire des temps de combustion de l'ordre de 1000 secondes. Théoriquement,

M. Pease est directeur du laboratoire de Culham (Royaume-Uni) et préside, à l'AIEA, le Conseil international de recherche sur la fusion.

on peut envisager des tokamaks à courant strictement continu mais la possibilité n'en est pas encore confirmée par l'expérience.

Tous ces réacteurs sont généralement de grandes dimensions et fournissent plusieurs gigawatts (thermiques). Ils ne se prêtent (comme pratiquement tous les systèmes de fusion) qu'à la production massive et centralisée de courant électrique. La dimension des machines est à peu près double de celle des plus grands tokamaks actuellement en construction. Cet agrandissement est principalement dû à l'épaisseur des couches enveloppantes. Il faut qu'elles soient assez épaisses pour ralentir et absorber les neutrons afin de transformer leur énergie cinétique en chaleur et aussi d'engendrer du tritium. Derrière la couche enveloppante, il y a encore un blindage protégeant les bobines magnétiques superconductrices contre le rayonnement des neutrons.

LA NATURE DES PROBLEMES

On a souvent fait le compte des divers problèmes techniques que posent les réacteurs de fusion. Il y a des solutions, ou tout au moins des esquisses de solutions, à tous ces problèmes. Les plus grandes incertitudes portent probablement sur la physique des plasmas en réaction, sur les procédés de réapprovisionnement et d'élimination des produits de réaction, sur le maintien d'un maximum de pureté, et sur la fabrication des composants de longue durée qu'exigent les réactions (η , α) induites dans la plupart des matériaux de construction par les neutrons à 14 MeV.

Or ce qui compte avant tout, ce n'est peut-être pas d'apporter une solution à chacun des problèmes techniques considérés isolément; c'est plutôt le fait que pour construire un réacteur à fusion contrôlée il faut trouver à tous les problèmes des solutions compatibles entre elles. Il faut associer trois grandes disciplines qui jusqu'à présent ont vécu chacune leur vie propre: la physique des plasmas et la technologie qui s'y rattache, le génie électromécanique et le génie nucléaire. Il faut donc, nous semble-t-il, commencer par essayer de construire une installation-pilote, de préférence génératrice de courant, pour voir si nous pouvons ou non apporter à tous ces problèmes des solutions compatibles entre elles. On peut espérer que les tokamaks actuellement en construction produiront par fusion des dizaines de mégawatts au début des années 80, et, tout en nous interdisant de ce résultat pour acquis, nous devons nous préparer à l'exploiter s'il venait à se réaliser. Dans l'affirmative, la prochaine question qui se posera aux ingénieurs nucléaires que nous sommes sera la suivante: la fusion nucléaire contrôlée peut-elle servir à assurer une production soutenue d'importantes quantités d'énergie électrique?

On a fait, notamment aux Etats-Unis et en Italie, plusieurs études préliminaires de réacteurs tokamaks pilotes. Avouons que l'on a entrepris ces études sans aucunement envisager la construction immédiate des réacteurs. Aussi nous bornerons-nous pour le moment à préconiser les solides études théoriques sur lesquelles devront reposer de telles installations. Dans son rapport de 1977 au Directeur général, le Conseil international de la recherche sur la fusion, créé par l'AIEA, a toutefois déclaré que le moment était venu de s'attaquer vigoureusement au problème de la fusion. A notre avis, c'est en construisant de bonne heure une génératrice expérimentale que l'on pourrait l'attaquer le plus directement et le plus économiquement. Les succès remportés par les pionniers du génie nucléaire dans les débuts de l'énergie de fission sont de nature à encourager cette entreprise audacieuse. Les principales hypothèses sur l'application de l'énergie de fission à la production d'électricité ont toutes été confirmées de 1950 à 1960. Et pourtant, en 1950, il fallait avoir la foi pour prédire qu'en 1960 des réacteurs de fission fourniraient du courant aux compagnies distributrices d'électricité et serviraient aussi à propulser des navires de surface et des sous-marins.

LA COOPERATION INTERNATIONALE

L'AIEA est, on le sait, expressément chargée de favoriser la coopération en vue de l'utilisation de l'énergie nucléaire à des fins pacifiques. Qu'il nous soit permis à cette occasion de rendre hommage à l'AIEA et à son Directeur général, M. Eklund, pour leur activité en faveur de la coopération internationale dans le domaine de la fusion nucléaire contrôlée. Après son rapport de 1977, le CIRF s'est réuni en mai 1978 pour formuler de nouvelles recommandations. Nos collègues soviétiques, notamment, ont fait une proposition concrète: celle de préparer sur le plan multinational sous les auspices de l'AIEA la "prochaine grande étape" de la recherche sur le tokamak. Le Gouvernement soviétique a également offert de fournir à cet effet un emplacement sur son territoire. Grâce à cette proposition, nous pouvons envisager d'aller plus loin que nous le pourrions avec les ressources que les nations ou les groupements existants possèdent aujourd'hui dans le domaine de la fusion.

Le CIRF a en conséquence recommandé la création immédiate par l'AIEA d'un groupe de travail chargé de rédiger un rapport précisant les objectifs techniques et la nature de la prochaine grande installation de fusion du type tokamak qui pourrait être construite dans le cadre d'une coopération internationale. Plus précisément, le CIRF pense que la prochaine grande installation devrait servir à dépasser autant que faire se pourrait la génération expérimentale actuelle, afin de démontrer qu'il est scientifiquement, techniquement et industriellement possible de produire de l'électricité par le seul moyen de la fusion de D-T. Jusqu'où pourra-t-on aller? C'est affaire de jugement scientifique et

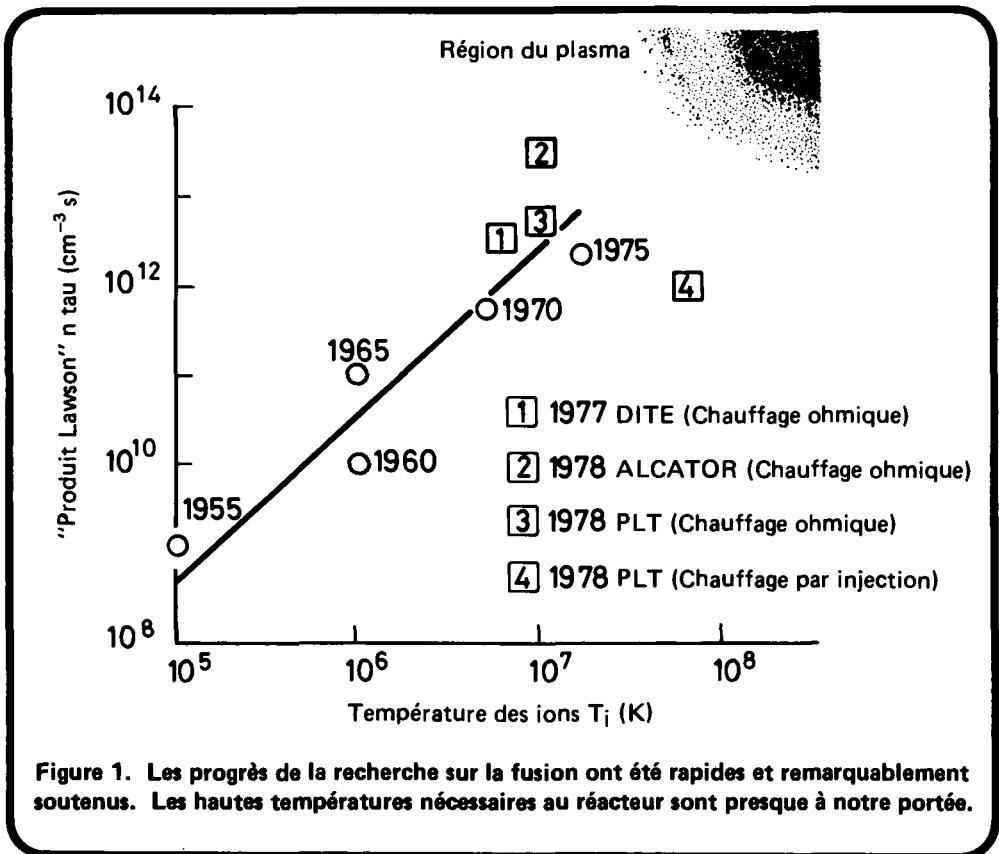


Figure 1. Les progrès de la recherche sur la fusion ont été rapides et remarquablement soutenus. Les hautes températures nécessaires au réacteur sont presque à notre portée.

technique, et on le saura après avoir étudié à fond ce qui a déjà été fait, les nouvelles connaissances acquises d'ici aux premières années 80, et les domaines qui restent à explorer. C'est ensuite qu'on pourra commencer à construire, voire seulement à dresser des plans détaillés. Nous espérons que le groupe en question se mettra au travail à Vienne au début de 1979.

Si les progrès techniques que nous constatons aujourd'hui se poursuivent, et surtout si les tokamaks actuellement en construction peuvent nous apprendre ce que nous avons besoin de savoir sur les réactions génératrices d'énergie qui ont lieu dans le plasma à haute température, cette initiative internationale pourra ouvrir la voie à la production d'électricité par la fusion nucléaire contrôlée au début des années 90. Si l'on veut que l'élan pris par cette oeuvre ne se ralentisse pas, il est indispensable que le travail de conception et de mise au point soit déjà bien avancé dès le début des années 80.

CONCLUSION

Disons pour nous résumer que la recherche scientifique sur la fusion nucléaire contrôlée fait de rapides progrès. On obtient déjà du plasma à température élevée, on le contrôle et on en assure l'isolation thermique dans toute une gamme d'appareils dont le plus perfectionné est le système magnétique torique connu sous le nom de tokamak. Ce système repose sur des principes de physique en définitive relativement simples. On peut donc avoir bon espoir d'obtenir les températures et l'isolation thermique nécessaires l'une et l'autre pour produire du courant. Certains estiment que les appareils actuellement en construction et que l'on compte mettre en service au début des années 80 donneront par bouffées de 10 à 20 secondes des dizaines de mégawatts d'énergie de fusion thermique. La coopération internationale dans le domaine de la recherche sur la fusion et la part prise par l'AIEA à cette coopération ont été remarquables, et un nouveau groupe de travail de l'AIEA va étudier les objectifs possibles d'un tokamak expérimental international qui fera suite aux appareils actuellement en construction.

Cet article est l'adaptation d'une partie de l'allocation prononcée par M. Pease lors de l'après-midi scientifique de l'AIEA le 20 septembre 1978 au cours de la Conférence générale. Le texte in extenso de cette allocation paraîtra dans *Atomic Energy Review*, 16,3.
