

EXTRACTION DE LA CHALEUR PRODUITE DANS LE COEUR D'UN REACTEUR RAPIDE

On peut encore se demander quand les réacteurs surgénérateurs à neutrons rapides atteindront le stade de l'exploitation industrielle, mais des pays de plus en plus nombreux manifestent déjà pour leur technologie un intérêt qui ne cesse de croître. La désignation de ces machines s'explique si l'on sait que leurs coeurs créent plus de produits fissiles qu'ils n'en consomment. Dans le cadre d'un programme de l'Agence consacré à ces réacteurs, un colloque sur les métaux alcalins utilisés comme fluide de refroidissement (étude de la corrosion et expérience pratique) s'est tenu du 28 novembre au 2 décembre, à Vienne.

Le Colloque a réuni plus de 100 participants envoyés par 16 pays Membres de l'AIEA et par l'EURATOM et a examiné 50 mémoires présentés par des spécialistes de neuf pays. Dans son allocution d'ouverture, le Directeur général adjoint chargé des opérations techniques, M. Ivan Jeloudev, a évoqué les raisons pour lesquelles les réacteurs à neutrons rapides suscitent un tel intérêt. Il existe d'ores et déjà des filières de réacteurs avec lesquelles on peut équiper de grandes centrales capables de produire de l'énergie concurrentielle, mais on sait que dans ces filières le rendement de la combustion de l'uranium n'est pas très élevé. Si l'on continuait d'en construire, toutes les réserves d'uranium bon marché actuellement connues ne tarderaient pas à être mises en exploitation et des difficultés surgiraient dans l'avenir. Aussi a-t-on compris qu'il fallait mettre au point des filières permettant une bien meilleure utilisation des ressources en uranium et de nombreux pays attachent-ils une grande importance à la réalisation prochaine de réacteurs surgénérateurs à neutrons rapides. Ces filières permettraient une utilisation très poussée des combustibles nucléaires et apaiseraient les craintes de voir se tarir la matière première nécessaire pour l'exécution des vastes programmes d'énergie nucleoelectrique établis dans le monde entier.

Sur la base de l'expérience acquise avec le réacteur de Dounreay, le Royaume-Uni a décidé de construire un prototype d'une puissance de 250 mégawatts, qui sera terminé en 1971. L'Union soviétique édifie, en se fondant sur les résultats obtenus avec le réacteur BR-5, un réacteur à neutrons rapides de 1 000 mégawatts thermiques pour la production d'électricité et le dessalement de l'eau. Aux Etats-Unis, les surgénérateurs à neutrons rapides Enrico Fermi et EBR-2 sont déjà en service depuis quelque temps. La montée en puissance

de la centrale Enrico Fermi était en cours lorsque tout récemment certains problèmes se sont posés. La France met au point le projet «Rapsodie» (2 mégawatts thermiques) qui prélude à la construction du surgénérateur à neutrons rapides «Phénix».

Le Colloque a été organisé dans le cadre du programme de l'Agence sur les surgénérateurs à neutrons rapides. Les problèmes de la technologie du plutonium ont fait l'objet d'études d'ensemble publiés en 1965 dans les comptes rendus du Groupe d'étude de l'utilisation du plutonium. Une monographie sur les réacteurs à neutrons rapides est parue cette année; on prépare un colloque sur l'emploi du plutonium comme combustible nucléaire à Bruxelles en mars 1967 et un autre sur la physique de ces réacteurs et les problèmes de sécurité connexes qui aura lieu plus tard dans l'année; ces activités seront éventuellement poursuivies en 1968.

Les principaux sujets examinés au Colloque consacré aux fluides de refroidissement avaient été choisis par un groupe d'experts qui s'était réuni à Vienne en mars 1966. Au programme figuraient notamment des études sur la corrosion, par les métaux alcalins, de matériaux tels qu'aciers inoxydables, alliages de nickel, alliages de vanadium et alliages réfractaires, ainsi que l'examen des problèmes posés par la décarburation des aciers et les modifications des propriétés mécaniques et métallurgiques de matériaux de structure dans les métaux alcalins. Plusieurs séances ont été en outre consacrées à l'expérience acquise dans l'étude et le fonctionnement de boucles à métaux alcalins et autres dispositifs expérimentaux, à la détection des impuretés et à la purification des métaux liquides, ainsi qu'au comportement des produits de fission dans les circuits de sodium.

Dans les réacteurs à neutrons rapides les très grandes quantités de chaleur dégagées dans des cœurs relativement petits doivent en être extraites pour produire la valeur nécessaire à la marche des turbines. Ce transfert de chaleur suscite certaines difficultés. En raison de leurs excellentes propriétés, les métaux alcalins conviennent particulièrement comme fluides caloporteurs, mais leur emploi pose certains problèmes dus à la corrosion et aux effets des rayonnements en des hautes températures. Les réacteurs actuellement en service sont refroidis au sodium, mais d'autres métaux et alliages sont à l'étude dans plusieurs pays.

Sur les 50 mémoires présentés, 20 venaient des Etats-Unis, neuf de l'Union soviétique, six du Royaume-Uni, six de France, quatre d'Allemagne, deux de Belgique et un de chacun des pays suivants: Autriche, Pays-Bas et Tchécoslovaquie.

A la fin du colloque, les questions soulevées ont fait l'objet d'une discussion générale. M. Weeks (Etats-Unis), qui présidait la dernière séance d'après-midi, a constaté que depuis la dernière réunion organisée par l'Agence quatre ans plus tôt sur la corrosion des matériaux pour réacteurs l'intérêt manifesté pour cette question s'est considérablement accru dans beaucoup de pays. Tous les pays ayant une certaine expérience des réacteurs à neutrons rapides, ont

dépassé le stade des premières études, qui étaient très prudentes, et cherchent à découvrir des procédés qui leur permettraient de tirer parti des possibilités offertes par les hautes températures et les propriétés de transfert de chaleur. Les recherches portent notamment sur des matériaux de gainage autres que l'acier inoxydable. Dans l'ensemble, les mémoires présentaient des résultats qui concordaient dans leurs grandes lignes, sinon entièrement. D'une manière générale, les mécanismes de la corrosion n'ont pas été suffisamment étudiés jusqu'à présent, mais la situation évolue et deux mémoires intéressants ont été présentés sur ces mécanismes et les problèmes généraux de la corrosion. Les impuretés suscitent un vif intérêt et l'Union soviétique a envoyé des communications sur cette question. Le comportement du carbone a été également étudié, mais il semble à M. Weeks qu'il reste encore beaucoup à faire pour déterminer exactement ce qui se passe: il faudrait beaucoup plus de renseignements concernant les effets nuisibles du transport de carbone sur les propriétés mécaniques des particules de combustible. De nombreux participants se sont demandé s'il ne faudrait pas employer un gainage dont le carbone serait stabilisé par un métal réfractaire et, dans l'affirmative, à quelle vitesse ce carbone serait transporté. On commence maintenant à comprendre et à évaluer les effets de la corrosion due à la réaction sodium-eau. Enfin se pose la question des avantages respectifs des circuits simples et des circuits complexes pour le sodium. Les premiers circuits simples ont fait place à d'autres beaucoup plus complexes mais, selon plusieurs spécialistes, certains d'entre eux sont d'une complexité excessive et il serait souhaitable de les simplifier pour mieux comprendre ce qui se passe et obtenir les données indispensables. Une discussion a porté sur la nécessité de mesurer la teneur du sodium en impuretés et sur le fonctionnement des appareils de mesure, notamment en raison de l'importante divergence qui s'est manifestée entre les communications provenant de l'Union soviétique, selon lesquelles les instruments utilisés seraient plus sensibles à l'hydrogène qu'à l'oxygène, et les idées admises auparavant. Il en est résulté certains doutes quant à la possibilité d'employer ces appareils pour la surveillance continue de l'oxygène seulement. Il est au plus haut point souhaitable d'étudier ces renseignements et de modifier éventuellement les programmes actuels de manière à parvenir à une meilleure coordination de l'ensemble des travaux. Il ne fait pas de doute que le Colloque répondait à un besoin réel et qu'il faudrait en organiser d'autres qui porteraient sur cette technologie et sur des technologies connexes. Les questions relatives au transfert de chaleur, aux éléments constitutifs et aux mécanismes pourraient être étudiées davantage et celle de la corrosion mériterait à elle seule qu'on lui consacre toute une réunion.

Pour M. Chase (Etats-Unis) le problème le plus important se pose à l'extrémité de la chaîne de transfert de chaleur, à savoir au stade de la production de vapeur, et son examen justifierait une réunion spéciale. M. Davies (Royaume-Uni) est de cet avis et aimerait également avoir plus de précisions sur les travaux concernant la réaction sodium-eau.

M. Lagowski (Etats-Unis) pense qu'il faudrait poursuivre avec plus de vigueur les études sur le comportement du carbone et de l'hydrogène dans un circuit conçu pour une durée d'utilisation d'une vingtaine ou trentaine d'années.

M. Ivanovsky (Union soviétique) est convaincu que les données recueillies au cours du Colloque permettront de mieux s'orienter et de donner aux travaux un caractère plus représentatif; il voudrait que les recherches soient activées dans différents pays. Pour lui aussi, il est important de mettre au point des générateurs de vapeur d'un fonctionnement d'une très grande viabilité. Les problèmes posés par l'échange de chaleur, par les hautes températures des écoulements et des parois, et par différentes instabilités thermodynamiques devraient être étudiées. Les spécialistes devraient se réunir et examiner en commun leurs problèmes respectifs et une conférence sur l'interaction du sodium et de l'eau être organisée avant un an. Il faudrait diffuser largement tous les renseignements voulus concernant les conférences et autres réunions prévues dans différents pays pour permettre aux experts intéressés de rédiger les mémoires pertinents.

M. C. Tyzack (Royaume-Uni) a fait remarquer que de nombreux chercheurs s'occupent de mesurer les vitesses de corrosion des matériaux dans la partie des boucles où la température est la plus élevée, mais les résultats de ces mesures ne présenteront probablement qu'un intérêt limité si on ne les rattache pas à la teneur des alliages en éléments tels que le fer ou le nickel. Ces chercheurs ont besoin de plus de renseignements sur le bilan des masses et le transport global dans les circuits en acier. Ils n'ignorent pas que dans un grand réacteur des tonnes de produits de corrosion se déplaceront dans les circuits, mais ne savent probablement pas très bien où ces produits iront échouer; s'ils seront retenus par les pièges froids ou s'ils se déposeront sur les surfaces les plus froides. Il serait également utile de procéder à des mesures thermodynamiques plus fondamentales des chaleurs de formation des composés du sodium et de l'oxygène, ainsi que d'approfondir les travaux sur des modèles détaillés de carburation et de décarburation. Une des questions évoquées a porté sur la corrosion dans la partie vapeur-eau des échangeurs de chaleur, mais il semble que l'on ne sache pas grand-chose sur les vitesses de corrosion pour les écoulements très rapides qui parcourront les circuits.

M. Epstein (Etats-Unis) a lancé un appel à la prudence. Les chercheurs doivent résister aux pressions qu'exercent sur eux ceux qui leur demandent de fournir des résultats rapidement, car on ne peut pas se permettre de «bâcler» une expérience avec le sodium. Il faut en outre qu'en essayant d'éviter des complications inutiles ils n'aillent pas trop loin dans leur souci de simplification.

De l'avis de M. Koulpina (Union soviétique), il faut, pour acquérir une meilleure connaissance de la corrosion des matériaux de structure dans les parties vapeur-eau et sodium d'un échangeur de chaleur, commencer par étudier à fond la cinétique de l'interaction de ces fluides caloporteurs. Si l'on comprenait le mécanisme de la corrosion des matériaux de construction, on pourrait éviter les altérations de la surface de transfert de chaleur dans les générateurs de vapeur.

M. Duncombe (Royaume-Uni) a parlé des appareils de protection. La détection des ruptures de gaines et des bloquages du cœur, l'entraînement de gaz et la réaction sodium-eau qui peut se produire dans les échangeurs de

chaleur, posent des problèmes qui mériteraient une discussion plus approfondie. Il y a aussi la question des vibrations et du bruit. Les effets de la cavitation risquent de susciter des difficultés réelles dans toutes les parties du cœur. Des mesures courantes des processus on ne peut guère attendre plus que l'assurance que le circuit fonctionne plus ou moins conformément aux prévisions, des renseignements plus détaillés étant obtenus par échantillonnage et analyse. Cette méthode est peut-être coûteuse, mais elle est efficace.

Après avoir rappelé qu'il avait été question de températures du sodium pouvant atteindre 800°C, M. English (Etats-Unis) a évoqué la possibilité d'étudier des turbines à gaz qui soutiendraient la concurrence de la vapeur. M. Duncombe a rappelé que l'industrie assurait pouvoir construire des turbines à gaz d'un fonctionnement économique et M. de Van (Etats-Unis) a fait observer qu'à Oak Ridge les turbines à vapeur de potassium semblaient prometteuses comme groupe amont dans n'importe quel réacteur de puissance fonctionnant à ces températures. M. Weeks a préconisé l'emploi du mercure.

La réalisation de matériaux concurrentiels pour les réacteurs au sodium est, aux yeux du Président de séance, de la plus haute importance. Il est certes souhaitable que de tels réacteurs puissent être construits à l'échelle industrielle, mais tout le monde est convaincu que pour atteindre cet objectif il est essentiel de mettre au point des matériaux de structure spéciaux pour les canalisations de métal liquide et même pour l'ensemble du circuit.

Dans son allocution de clôture, le Directeur de la Division de l'énergie d'origine nucléaire et des réacteurs de l'Agence, M. Hurst, a rappelé une déclaration récente d'un expert de l'Union soviétique, selon laquelle la manipulation de plusieurs tonnes de sodium dans un réacteur ne présentait guère à l'heure actuelle plus de difficultés que celle de la même quantité d'eau. Néanmoins la technologie des réacteurs à neutrons rapides pose encore de nombreux problèmes et il ne fait pas de doute que le Colloque a permis d'en examiner utilement quelques-uns.