

NORA: PROJET INTERNATIONAL DE RECHERCHES SUR LA PHYSIQUE DES REACTEURS

par Viking Olver Eriksen, Kjeller (Norvège)

Le projet NORA a été lancé il y a près de cinq ans et on peut se demander quelle est l'expérience acquise jusqu'à présent, quels sont les résultats obtenus et quel est l'état actuel des travaux?

Rappelons d'abord l'origine du projet NORA. En juin 1959, le Gouvernement norvégien a proposé à l'AIEA de mettre en oeuvre un programme scientifique pour la mesure, le rassemblement, l'évaluation et la distribution de données nucléaires. A titre de première mesure, le Gouvernement norvégien a offert à l'AIEA de prêter, pour l'exécution d'un programme commun de physique des réacteurs entre l'AIEA et l'Institut norvégien d'énergie atomique, le réacteur de puissance zéro NORA ainsi que les installations connexes et le personnel scientifique qui y travaille. On a proposé que ce programme commun soit mis en oeuvre par un personnel scientifique international. L'Agence devait jouer un rôle important en fournissant ce personnel scientifique, le combustible pour le réacteur et les services généraux. Elle devait agir comme catalyseur en incitant d'autres pays à établir également des programmes de ce genre. Le Conseil des gouverneurs de l'AIEA a approuvé l'offre de la Norvège en février 1961 et un accord a été signé en avril 1961.

Les principales caractéristiques de cet accord résident dans le fait que la Norvège fournit le réacteur NORA et les services des opérateurs et du personnel scientifique permanents, prend à sa charge les dépenses de fonctionnement et d'entretien du réacteur, et est responsable de la sécurité des opérations. L'Agence, de son côté, apporte son aide en obtenant de la Commission de l'énergie atomique des Etats-Unis une charge de combustible (bioxyde d'uranium enrichi), en fournissant les services d'un personnel scientifique supplémentaire venant de ses Etats Membres, ainsi que des services consultatifs sur les questions scientifiques, les questions de santé et de sécurité et dans d'autres domaines. Le programme a également bénéficié d'une aide sous forme d'un contrat de recherche financé par la Commission de l'énergie atomique des Etats-Unis.

Le projet est dirigé par un comité composé de membres de l'Institut for Atomenergi et de l'AIEA. M. R. Ramanna (Inde) préside ce comité depuis le début. Le réacteur NORA se trouve à Kjeller, localité située à 20 km environ à l'est d'Oslo. Il est entré en divergence en juin 1961.

PROGRAMME SCIENTIFIQUE

D'énormes progrès ont été réalisés au cours des dix dernières années dans le domaine de la physique des réacteurs. Sur le plan théorique, la mise au point de grands ordinateurs rapides a porté les méthodes de calcul des réacteurs à un niveau et à un degré de raffinement dont on n'avait pas la

moindre idée il y a dix ans. Sur le plan expérimental, on a accumulé un grand nombre de renseignements sur les divers combustibles et ralentisseurs. On a mis au point et amélioré les techniques expérimentales. Il semble toutefois que l'on manque encore de données expérimentales précises qui puissent servir de critères suffisamment sûrs pour les programmes d'ordinateurs, complexes et très détaillés, que l'on utilise actuellement.

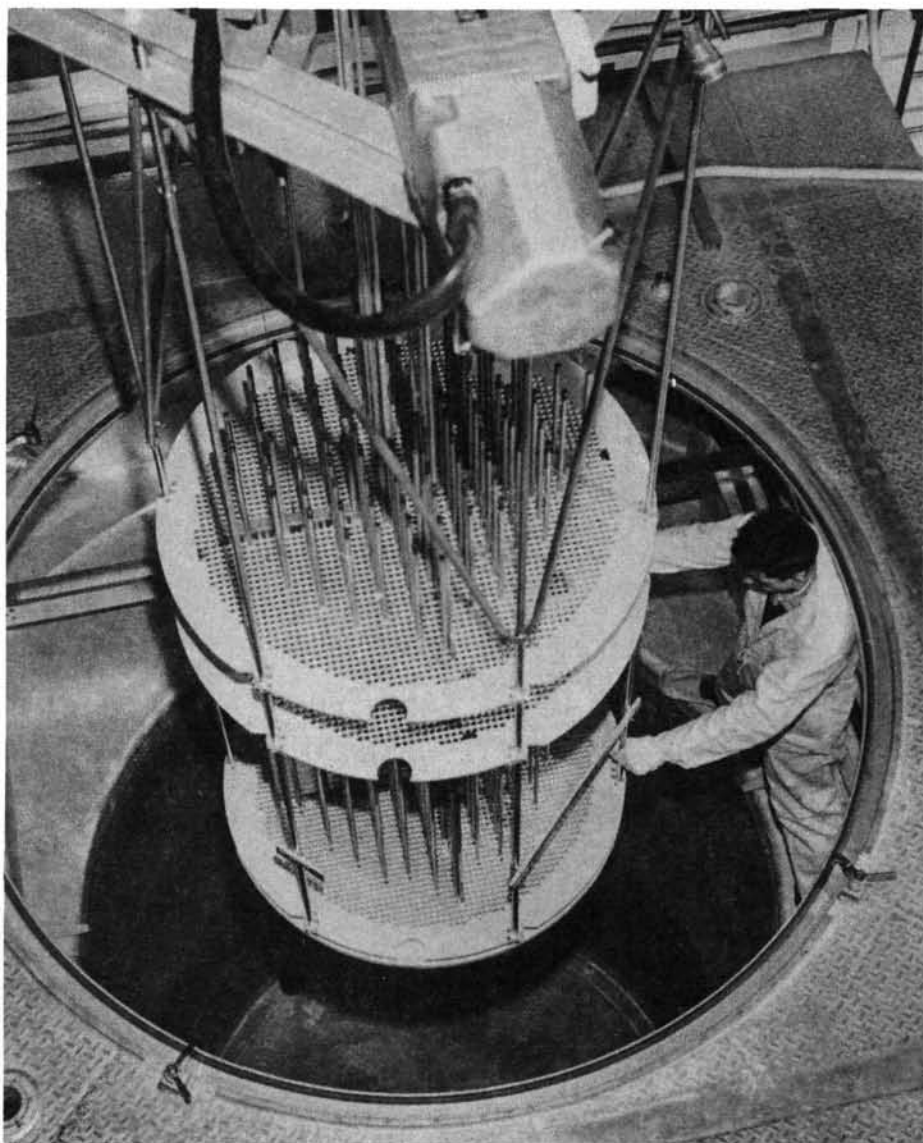
L'un des principaux objectifs du programme NORA est d'améliorer les connaissances touchant la physique des réacteurs ralentis à l'eau ordinaire ou à l'eau lourde et alimentés au bioxyde d'uranium légèrement enrichi, grâce à l'accumulation de renseignements expérimentaux sur ces filières, au développement de techniques expérimentales appropriées et à la mise au point de méthodes théoriques pour l'analyse des données expérimentales. Le programme de recherches du projet NORA mettait l'accent à l'origine sur les dispositifs expérimentaux convenant à l'analyse théorique. Par la suite, on a accordé beaucoup d'importance à l'étude des phénomènes qui se produisent dans le cœur des réacteurs de puissance. Pour l'exécution de ce programme, les installations mises à la disposition du projet NORA étaient les suivantes : pour les expériences, l'assemblage critique NORA et l'assemblage sous-critique JEEPNIK ; pour les travaux théoriques, un ordinateur Ferranti Mercury, remplacé par la suite par un ordinateur CDC - 3600 de la Control Data Corporation. On peut diviser le programme exécuté actuellement en quatre rubriques : 1) programme expérimental (statique des réacteurs) ; 2) analyse théorique ; 3) mise au point de techniques expérimentales ; 4) cinétique des réacteurs.

PROGRAMME EXPERIMENTAL

Nous ne mentionnerons ici que deux séries d'expériences. La première consiste à étudier 16 réseaux de combustible au bioxyde d'uranium enrichi à 3 % dans des ralentisseurs à mélange d'eau lourde et d'eau ordinaire. Les concentrations de l'eau lourde sont respectivement de 99,4 %, 81 % et 55 %. La deuxième série porte sur un cœur au bioxyde d'uranium enrichi à 3,4 %, avec de l'eau ordinaire comme ralentisseur. En ce qui concerne la première série d'expériences, on sait que les modifications du spectre des neutrons dans le cœur d'un réacteur ont une influence sur la réactivité du cœur ; on peut donc utiliser un rapport variable deutérium-hydrogène pour le contrôle de la réactivité. Ce principe est à la base de la conception du réacteur à spectre variable.

On ne possède que fort peu de données expérimentales sur ces réseaux. Le projet NORA a fourni une partie importante des renseignements de base concernant ces types de cœur. Toutefois, le programme NORA a un caractère plus général et couvre aussi bien les cœurs bien ralentis que sur les cœurs fortement sous-ralentis qui conviennent aux réacteurs à spectre variable. Les rapports de volume entre le ralentisseur et le combustible s'échelonnent de 100 à 1,5.

Les expériences ont porté sur la mesure d'un certain nombre de paramètres importants concernant le réacteur et, de façon plus précise, les



Chargement d'un coeur dans le réacteur NORA

cellules de réacteur. C'est ainsi qu'on a consacré beaucoup d'efforts à une détermination minutieuse de la distribution du flux de neutrons dans la cellule, en utilisant les techniques expérimentales classiques telles que l'irradiation de feuilles. On a mesuré quelques paramètres de cellules au moyen des techniques de séparation radiochimique mises au point dans le cadre du projet NORA.

Dans la deuxième série d'expériences, qui a commencé l'année dernière, on a eu recours à une charge de combustible de bioxyde d'uranium enrichi à 3,4% dans un ralentisseur à eau ordinaire. Cette série constitue la suite normale des expériences précédentes. On a mesuré les mêmes paramètres et, là encore, on s'efforce d'obtenir des données expérimentales et de mettre au point de nouvelles méthodes de calcul. Toutefois, il existe une différence notable dans la façon d'envisager le problème. Les expériences seront également entreprises pour des réseaux plus compliqués qui correspondent mieux à ceux des réacteurs de puissance. La tâche principale sera l'étude d'un coeur simulé de réacteur de puissance avec trous d'eau, barres de contrôle, effets de température et vides simulés. La portée de cette série d'expériences présente donc un plus grand intérêt du point de vue du génie des réacteurs.

ANALYSE THEORIQUE

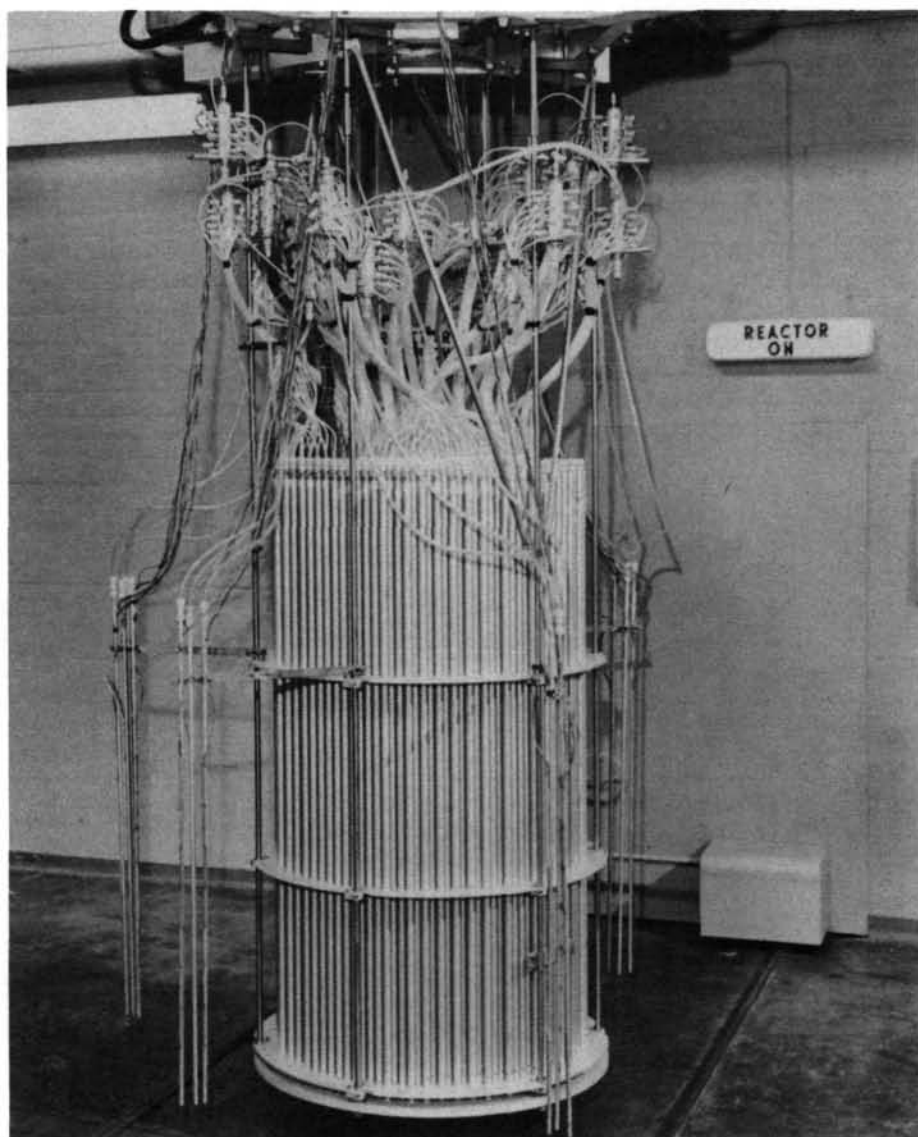
La mise au point de méthodes théoriques et l'amélioration éventuelle des théories actuelles sont considérées comme un aspect important du programme de recherches NORA. C'est pourquoi les travaux théoriques du projet NORA ont porté en partie sur l'application des méthodes et systèmes actuels d'interprétation des résultats expérimentaux, en partie sur l'intercomparaison de ces méthodes afin de déterminer leurs avantages respectifs, et en partie sur la mise au point de modèles théoriques plus perfectionnés établis d'après les données fondamentales.

On a consacré des efforts considérables à la mise au point de méthodes de calcul des paramètres de réseau des cellules. On a pu ainsi établir deux programmes d'ordinateurs, appelés K-7 THERMOS et BIGG. L'intercomparaison des différents programmes d'ordinateurs a fourni également des résultats intéressants.

Le calcul de la thermalisation des neutrons (phase finale dans le processus de ralentissement des neutrons rapides) et de la distribution en densité des neutrons à l'intérieur des cellules de réacteur présente une grande importance pour les calculs de réacteurs et a éveillé l'intérêt dans de nombreux pays. Cette partie du projet NORA entre également dans le cadre d'une entreprise commune en physique des réacteurs exécutée par la Norvège, la Pologne et la Yougoslavie (projet NPY, placé lui aussi sous les auspices de l'AIEA). Au cours de ces travaux, des réseaux très différents de coeurs, étudiés dans les divers assemblages critiques des trois pays sont analysés en commun au moyen de différents modèles théoriques établis dans les trois pays. Ces travaux se poursuivent encore à l'heure actuelle.

MISE AU POINT DE TECHNIQUES EXPERIMENTALES

On a estimé que l'amélioration des techniques expérimentales actuelles et la mise au point de nouvelles techniques constituaient une partie essentielle du programme de recherches NORA. La mise au point de nouvelles techniques est onéreuse et prend beaucoup de temps. C'est seulement dans quelques cas, lorsque l'on est parti d'une idée intéressante, que l'on a pu



Coeur de NORA équipé en vue d'expériences sur la réactivité cavitaire

entreprendre de tels travaux. C'est ainsi que l'on a eu recours à des techniques de chimie des corps radioactifs, pour déterminer des paramètres détaillés à l'intérieur de la cellule ; ces renseignements ont été obtenus par des mesures fondées sur la capture des neutrons dans l'uranium-238 ou sur la fission dans l'uranium-235. Les indicateurs de ces réactions sont respectivement le neptunium-239 et le produit de fission molybdène-99. Là encore, on a mis au point des barres de contrôle qui entrent et sortent périodiquement

du réacteur, permettant ainsi une modulation de la réactivité et, partant, de la réponse de puissance du réacteur. Un autre exemple est l'utilisation des impulsions de neutrons pour mesurer la cinétique du réacteur.

CINETIQUE DES REACTEURS

On a construit deux barres de modulation rotatives différentes que l'on a utilisées pour faire varier l'absorption des neutrons dans le coeur en fonction du temps. Les variations dans le temps du flux de neutrons ont été mesurées dans divers coeurs, comprenant des coeurs à eau lourde, à eau ordinaire et à spectre variable. On a utilisé ces résultats pour vérifier les possibilités de prévision du comportement cinétique de ces coeurs par des méthodes théoriques. L'étude des effets cinétiques spatiaux dans les coeurs ralentis à eau lourde, qui sont si importants pour les réacteurs de grande puissance, présente un intérêt particulier.

On a entrepris en 1963 une étude du bruit du réacteur - c'est-à-dire des variations statistiques dans la densité des neutrons. Les premières mesures effectuées au moyen de techniques courantes ont donné des résultats que les théories actuelles ne permettent pas d'expliquer. On a ensuite amélioré le matériel expérimental et on a procédé, en 1965, à une série de mesures complètes en recourant à plusieurs méthodes complémentaires. Les nouveaux résultats obtenus ont confirmé les observations précédentes. Les travaux théoriques menés parallèlement aux expériences ont depuis lors conduit les spécialistes à formuler à nouveau la théorie.

Outre plusieurs autres travaux qui doivent être effectués dans le domaine du bruit, on entreprendra également en 1966 des travaux sur les neutrons pulsés. Un générateur de neutrons pulsés doit être prochainement installé dans le réacteur NORA; il servira surtout à la mise au point d'une méthode permettant de mesurer avec précision le coefficient de réactivité des barres de contrôle.

QUELQUES RESULTATS RECENTS

On ne peut évaluer comme il convient les résultats du projet NORA qu'en consultant les nombreux rapports et publications auxquels ces travaux ont donné lieu. De l'avis de l'auteur, d'importantes contributions ont été faites dans le domaine des réseaux à ralentisseur mixte, tant en ce qui concerne l'analyse théorique de ces systèmes que la mise au point de techniques expérimentales. De même, les recherches sur la cinétique spatiale des réacteurs et le bruit du réacteur ont donné des résultats inédits qui présentent un intérêt considérable.

Le succès du projet NORA est dû dans une grande mesure à l'assistance généreuse de la Commission de l'énergie atomique des Etats-Unis, qui a fourni le combustible, du personnel scientifique et des subventions à la recherche. Le niveau scientifique élevé qui a été atteint est dû en grande partie à l'appui enthousiaste du personnel permanent de NORA et des spécialistes détachés par des Etats Membres de l'AIEA. Le Brésil, le Canada,

les Etats-Unis d'Amérique, la Hongrie, l'Inde, le Japon, les Pays-Bas, le Pakistan, la Pologne, la Tchécoslovaquie et la Yougoslavie ont fourni les services de spécialistes pour ce projet.

On s'est parfaitement rendu compte, pendant l'exécution de ce projet, de l'importance et de l'utilité que présente l'établissement d'un centre international de ce genre. Ce centre donne l'occasion à de jeunes physiciens d'entrer dans un milieu de chercheurs actifs, et des contacts fructueux ont été établis entre les divers laboratoires nationaux intéressés.

L'assistance précieuse du Secrétariat de l'AIEA a été accueillie avec gratitude.

LE LABORATOIRE DE SEIBERSDORF ETUDIE LE PROBLEME DE LA MOUCHE DES FRUITS

Dans le cadre du Programme des Nations Unies pour le développement, l'exécution d'un projet dont la durée sera de trois ans a commencée le 1er juillet 1965 en Amérique centrale. Il s'agit de démontrer par une opération portant sur 25000 hectares qu'il est possible de détruire la mouche des fruits à l'aide des rayonnements.

Le projet a été approuvé à la suite d'une demande présentée par les pays suivants: Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, Mexique,