

# Les réacteurs à neutrons rapides et l'AIEA

---

par E.I. Inyoutine, Secrétaire scientifique, Groupe de travail international sur les réacteurs à neutrons rapides.

*A présent que l'énergie d'origine nucléaire entre dans une nouvelle phase de son développement, plusieurs pays poursuivent des recherches intensives sur les caractéristiques techniques essentielles à donner aux réacteurs surgénérateurs rapides.*

*Le 16 juillet 1973, l'Union soviétique a mis en service le réacteur à neutrons rapides à double fin BN-350, de 350 MW(e), destiné au dessalement de l'eau (120 000 m<sup>3</sup> par jour) et à la production d'électricité. En France, le réacteur Phénix [250 MW(e)] a été porté à pleine puissance tandis qu'au Royaume-Uni le réacteur PFR [250 MW(e)] a atteint l'état critique. En République fédérale d'Allemagne on a commencé à construire le réacteur rapide prototype SNR-300 [300 MW(e)]. L'Italie a entrepris la construction du réacteur PEC [140 MW(th)]. Les Etats-Unis construisent en ce moment le réacteur FFTF – prédécesseur d'un réacteur prototype. Le Japon entreprendra bientôt la construction du réacteur rapide MONJU [300 MW(e)]. L'Union soviétique a entrepris la construction de son prochain réacteur prototype BN-600 qui aura une puissance de 600 MW(e). L'état actuel de la technologie des réacteurs surgénérateurs au sodium est tel que même avant l'achèvement des programmes de la génération actuelle de réacteurs prototypes, des études peuvent être entreprises – et en fait l'ont déjà été – sur les réacteurs rapides industriels de 1000 MW(e) et davantage.*

*Les problèmes de sécurité des réacteurs rapides et leur influence sur l'environnement font actuellement l'objet d'études théoriques et pratiques approfondies. Les résultats de ces études démontrent de plus en plus qu'en combinant des mesures actives et passives, comme le fait de prévoir des dispositifs de contrôle et de commande appropriés, et parfois des enceintes de confinement, et en utilisant une technologie de pointe pour la fabrication de l'instrumentation de la centrale, il est possible d'atteindre un niveau suffisant de sécurité dans le fonctionnement des réacteurs rapides. Il faudra toutefois du temps avant que cette opinion ne soit généralement admise. Dans ce contexte, l'expérience acquise avec les réacteurs rapides prototypes dans différents pays aura une importance décisive.*

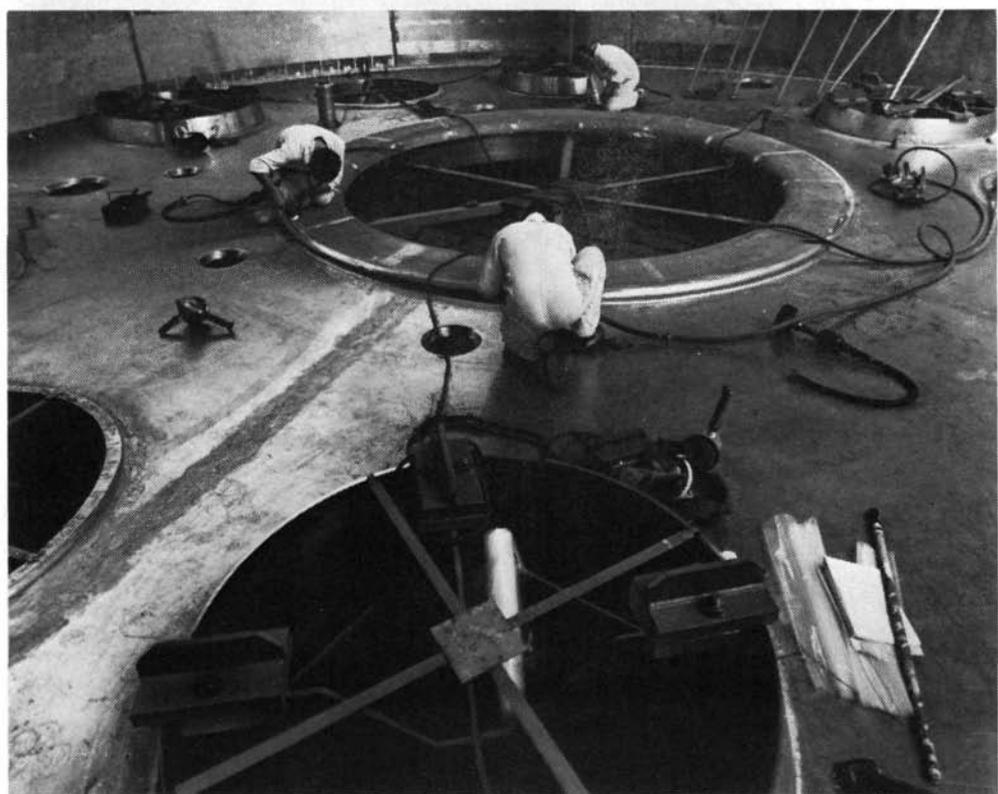
*Comme on le sait, la principale caractéristique des réacteurs rapides est d'ouvrir la voie à l'utilisation des isotopes d'éléments lourds qui ne subissent pas la fission induite par les neutrons thermiques. Le cycle du combustible peut utiliser les réserves d'uranium-238 et de thorium-232, qui sont beaucoup plus abondantes dans la nature que l'uranium-235, principal combustible utilisé dans les réacteurs thermiques.*

*Les réacteurs rapides permettent dans la pratique de produire du combustible nucléaire. Ceci signifie que dans ces réacteurs la fission d'un noyau de combustible produit en moyenne un peu plus d'un noyau nouveau, qui peut subir la fission. Le combustible*

---

Vue de nuit du réacteur rapide prototype Dounreay de l'UKAEA, de 250 mégawatts, à Caithness (Ecosse). Ce réacteur fonctionne maintenant à faible puissance, mais après les derniers essais, sa puissance sera progressivement augmentée et il commencera à produire de l'électricité. Photo: UKAEA. ▲

Le réacteur français rapide de 250 MW(e) Phénix, à Marcoule, pendant l'ajustage du couvercle du réacteur en 1972. Phénix a atteint l'état critique en août 1973. Photo: P. Jahan. ►



excédentaire ainsi formé peut être récupéré et utilisé pour faire fonctionner de nouveaux réacteurs nucléaires. Ceci résoudra pendant longtemps encore le problème du combustible créé par un développement intensif de l'énergie d'origine nucléaire à partir de réacteurs thermiques.

Jusqu'à présent, les efforts ont surtout porté sur la technologie des réacteurs rapides refroidis au sodium. On étudie aussi l'utilisation de différents gaz, par exemple l'hélium, l'anhydride carbonique et le bioxyde d'azote pour le refroidissement des réacteurs rapides.

La mise au point de centrales utilisant des réacteurs rapides pose un problème plus complexe que celle des centrales à réacteurs thermiques. La différence de cinétique et de dynamique entre les réacteurs, le spectre des neutrons durs, les doses intégrales de rayonnement supérieures au combustible et aux matériaux de structure, les températures plus élevées du coeur ainsi que l'utilisation d'un fluide de refroidissement essentiellement nouveau créent tout un ensemble de problèmes que seuls les pays à potentiel scientifique et technique élevé sont en mesure de résoudre globalement.

Plusieurs pays en voie de développement s'intéressent à la mise au point de réacteurs rapides et quelques-uns d'entre eux effectuent eux-mêmes des travaux de recherche. Avec le temps, les surgénérateurs rapides considérés comme sources d'énergie et de combustible nucléaire prendront leur place dans les programmes énergétiques non seulement des pays avancés, mais aussi des pays en voie de développement.

Afin d'encourager la coordination internationale dans la mise au point des réacteurs rapides refroidis par un métal liquide, l'AIEA a créé en 1967 le Groupe de travail international sur les réacteurs rapides (GTIRR) composé de représentants des Etats-Unis, de la France, de l'Italie, du Japon, de la République fédérale d'Allemagne, du Royaume-Uni et de l'URSS, pays ayant les programmes nationaux les plus étendus dans ce domaine. Les membres du Groupe de travail ont été désignés par leurs Gouvernements et ne peuvent être remplacés que par eux.

La coordination internationale assurée avec l'aide du GTIRR revêt diverses formes.

Tout d'abord, le Groupe de travail se réunit une fois par an avec pour objectif principal d'étudier et de discuter les programmes nationaux concernant les réacteurs rapides — les progrès réalisés au cours de l'année précédente et les plans pour l'année suivante. On a constaté que l'intervalle d'un an entre les réunions était commode pour l'échange de renseignements dans cette branche de la science et de la technologie en évolution rapide.

En deuxième lieu, le Groupe de travail discute des sujets d'intérêt actuel à étudier au cours de colloques et conférences internationaux sur les réacteurs surgénérateurs rapides à métal liquide et présente des recommandations à ce sujet.

En troisième lieu, sur l'initiative du Groupe de travail, des réunions de spécialistes à participation restreinte (15 – 20 personnes) sont organisées régulièrement, trois ou quatre fois par an pour étudier des problèmes théoriques et pratiques importants mais très particuliers. Les sujets de ces réunions sont choisis avec le plus grand soin conformément aux vues de la majorité du Groupe de travail.

Quatrièmement, à la suite des discussions qui ont eu lieu aux réunions annuelles du Groupe de travail ou à des réunions tenues sur sa recommandation, des suggestions sont formulées en vue de faire un effort commun pour la comparaison internationale de méthodes particulières de recherche, de calcul ou d'élaboration de procédures agréées.

Le Groupe de travail entretient des relations étroites avec d'autres organisations internationales, par exemple l'Agence pour l'énergie nucléaire de l'OCDE et EURATOM, dont les représentants assistent à ses réunions.

*Les dépenses afférentes aux mesures recommandées par le Groupe de travail sont prises en charge par l'Agence et les Etats Membres représentés au Groupe. Pour aider le Groupe dans ses travaux, l'Agence fournit le Secrétaire scientifique, les services nécessaires aux réunions annuelles et fait reproduire ses rapports annuels, ainsi que les rapports des réunions de spécialistes.*

*Le développement des réacteurs de puissance soulève une vaste gamme de problèmes dans différents domaines: physique nucléaire et physique des réacteurs, thermophysique, chimie, physique et technologie des réfrigérants, matériaux de construction et combustible nucléaire, mise au point d'éléments combustibles et d'instruments fiables, contrôle et commande des réacteurs, retraitement du combustible irradié, économie du cycle du combustible, sécurité nucléaire, etc.*

*Dès le début, le Groupe de travail a fait porter à chaque étape son attention sur les principaux problèmes de la mise au point des réacteurs rapides refroidis au sodium. Depuis 1967, environ 30 réunions internationales ont eu lieu sous les auspices ou avec la coopération du Groupe de travail. Ce sont notamment la Conférence internationale sur les essais d'irradiation exécutés dans les réacteurs à neutrons rapides et sur la physique de l'étude et de l'exploitation des réacteurs à neutrons rapides (1969), le Colloque de l'Agence sur l'évolution de la technologie des réacteurs rapides refroidis au sodium (1970), la Conférence internationale sur les réacteurs à neutrons rapides (1972), le Colloque de l'Agence sur le combustible et les éléments combustibles pour réacteurs rapides et le Colloque international sur la physique des réacteurs rapides (1973).*

*En mars 1974, une Conférence internationale sur les centrales à réacteurs rapides s'est réunie à Londres pour examiner l'expérience acquise dans la mise en service et les débuts de l'exploitation des premiers surgénérateurs prototypes en URSS, en France et au Royaume-Uni, ainsi que les perspectives dans ce domaine. Au cours de la seconde moitié de 1974, l'Agence se propose de réunir un groupe d'étude sur les générateurs de vapeur pour réacteurs surgénérateurs à métal liquide.*

*Sur les 14 réunions de spécialistes, deux ont été consacrées à la physique des réacteurs rapides: l'une au facteur «alpha» du plutonium (1969) et l'autre à la mesure et à l'interprétation des spectres de neutrons dans les réacteurs rapides. Les 12 autres réunions avaient pour objet d'étudier les problèmes technologiques associés à l'étude et à l'exploitation des surgénérateurs rapides prototypes et des grandes boucles au sodium: l'interaction entre le sodium et l'eau (1968 et 1971), le contrôle de la vapeur de sodium (1970), la mesure et le contrôle des impuretés contenues dans le sodium (1972), le comportement des produits de fission et de corrosion dans les circuits primaires des réacteurs rapides à métal liquide (1972), la lutte contre la contamination des composants de centrales par le sodium et la radioactivité (1973), la sécurité de fonctionnement des circuits au sodium (1971), la combustion du sodium et son extinction (1972), la détection des ruptures de gaines (1970), la manipulation et le transport des éléments combustibles irradiés des réacteurs surgénérateurs rapides à métal liquide (1972), la mise au point et l'application de matériaux absorbants pour les réacteurs rapides (1973) et les instruments de contrôle du coeur pour les réacteurs rapides refroidis au sodium (1969). En 1973, l'Agence a organisé un groupe d'étude des principes des calculs du point chaud des canaux des réacteurs rapides refroidis au sodium.*

*Des réunions de spécialistes sont organisées par les pays participant au Groupe de travail et ont lieu dans leurs centres de recherche respectifs, les participants ayant ainsi la possibilité de voir les progrès accomplis par le pays hôte dans leur sphère d'intérêt. Chaque réunion est préparée et menée de telle manière qu'il est possible de terminer les travaux par la discussion et l'adoption de conclusions et de recommandations. Par la suite, un*

*rapport succinct sur la réunion, contenant un bref exposé des communications et des discussions, les conclusions et recommandations et les textes des communications présentées, est distribué aux participants. Ainsi, chaque réunion de spécialistes forme un tout en soi et rend compte de l'état du problème à l'étude.*

*La réunion sur le facteur alpha du plutonium a recommandé que des calculs internationaux soient effectués sur un modèle simplifié de grand réacteur de puissance rapide afin de déterminer dans quelle mesure la charge critique et le rapport de surgénération dépendent du groupe de constantes nucléaires utilisées dans un pays ou une organisation donnés. Les résultats de 17 calculs pour 10 pays ont été étudiés dans le rapport succinct, et on a pu se faire une idée de l'influence que des constantes nucléaires différentes ont sur les calculs de la constante de multiplication efficace, le rapport de surgénération interne et externe, le spectre de neutrons, les indices spectraux et l'effet des différentes sections efficaces des produits de fission et des isotopes supérieurs du plutonium sur les résultats des calculs.*

*Le Groupe de travail a pris l'initiative d'établir des manuels sur les méthodes de premiers soins appliquées dans différents pays dans les cas de brûlures par le sodium. La Division de la sûreté nucléaire et de la protection de l'environnement de l'AIEA a présenté alors des observations au sujet de ces méthodes. Les méthodes et les commentaires dont elles font l'objet aideront les services sanitaires des pays qui mettent au point des surgénérateurs rapides refroidis au sodium à déterminer la manière la plus efficace d'aider les membres du personnel de l'installation qui ont été brûlés par le sodium.*

*Sur la recommandation de la réunion de spécialistes de la sécurité de fonctionnement des circuits de sodium, des experts du Royaume-Uni ont établi un avant-projet de manuel sur les principes à appliquer pour assurer le bon fonctionnement des circuits de sodium. Ce projet est maintenant soumis à l'examen de spécialistes d'autres pays. Leurs recommandations seront prises en considération pour l'élaboration de la version définitive du manuel, qui rendra ainsi compte de l'expérience internationale et sera utile aux ingénieurs d'étude des circuits de sodium et aux opérateurs.*

*Les participants au Groupe d'étude de l'AIEA des principes des calculs du point chaud des canaux des réacteurs rapides refroidis au sodium sont convenus qu'il faudrait procéder à une comparaison internationale des différentes méthodes de calcul en prenant comme base un échantillon. On suppose que suivant les résultats obtenus à ce stade, le Groupe de travail envisagera l'étape suivante – comparaison internationale des méthodes de calcul des «sous-facteurs» qui déterminent le calcul du facteur de point chaud et formulera alors ses recommandations.*

*D'après ce qui précède, il est évident que l'AIEA fait beaucoup à peu de frais en organisant une coordination internationale des efforts visant à mettre au point les réacteurs rapides refroidis au sodium. Ce succès est dû à l'intérêt dont font preuve les pays représentés au Groupe de travail. Si ce groupe peut fonctionner efficacement, c'est parce que ses membres ont de hautes qualifications, le sens de leurs responsabilités qu'ils sont peu nombreux et que la composition du Groupe ne change pas. L'expérience du Groupe de travail a été utile, dans l'ensemble, et pourrait avec profit servir à organiser des activités dans d'autres régions.*

*En dehors des travaux du Groupe de travail international des réacteurs rapides, il existe plusieurs domaines voisins de la science et de la technologie dans lesquels l'AIEA aide activement à la mise au point des réacteurs rapides.*

*On croit que de toutes les nouvelles sources d'énergie intéressantes, ce sont les surgénérateurs rapides à métal liquide qui seront probablement les premiers disponibles pour la production effective d'énergie.*

*C'est pour cette raison que l'AIEA a résolu d'étudier attentivement ces réacteurs pendant une période donnée; pour la même raison, l'AIEA doit étudier de près la phase suivante de*

*la mise au point des surgénérateurs rapides, c'est-à-dire les réacteurs rapides refroidis par un gaz. Ces réacteurs présentent un grand nombre d'avantages évidents par rapport aux modèles à métal liquide, mais sont encore plus complexes du point de vue technique.*

*En 1972, l'AIEA a organisé à Minsk (URSS) un Groupe d'étude des réacteurs surgénérateurs à neutrons rapides refroidis par un gaz. Les conclusions auxquelles les participants sont parvenus au cours de cette réunion ont trouvé un écho favorable dans la presse scientifique.*

*Reconnaissant que les réacteurs surgénérateurs rapides peuvent contribuer de plus en plus à répondre aux besoins énergétiques mondiaux, l'Agence internationale de l'énergie atomique poursuivra ses efforts en vue d'assurer une coordination internationale dans ce domaine.*

---

**Extraits des allocutions d'ouverture et de clôture prononcées  
au Colloque sur les applications des constantes nucléaires  
dans la science et la technologie, réuni à Paris en 1973**

# Applications des constantes nucléaires

**Le développement de la technologie nucléaire au cours des vingt dernières années a accentué le besoin d'un ensemble cohérent et facilement accessible d'informations nucléaires pour la communauté scientifique. Les options de l'industrie nucléo-énergétique, telles que la mise au point de réacteurs nucléaires plus efficaces et l'étude des réacteurs à fusion thermonucléaire, ainsi que l'emploi accru des méthodes et techniques nucléaires dans pratiquement tous les domaines de la science et de la technologie multiplient chaque jour la demande de données nucléaires numériques — on en d'autres termes, de constantes nucléaires — plus précises et plus abondantes.**

Au cours de ces dernières années, la compilation et l'utilisation des constantes nucléaires ont pris une extension considérable, tant en volume qu'en diversité et en portée, et l'on prévoit que cette évolution continuera. Telle était l'impression dominante des participants au Colloque international sur les applications des constantes nucléaires dans la science et la technologie, réuni l'année dernière à Paris par l'Agence internationale de l'énergie atomique, qui a permis de confronter les résultats actuels de la compilation des constantes nucléaires avec les besoins de la science et de la technologie dans ce domaine.

Une des conclusions dégagées est que si l'énergie nucléaire continue d'être le stimulant le plus important et le plus sérieux de la compilation des constantes nucléaires, le nombre croissant des applications scientifiques et technologiques des méthodes nucléaires, ainsi que la nécessité toujours plus impérieuse de protéger l'homme des rayonnements ionisants, exigent qu'on élargisse considérablement la diversité et la portée de ces compilations. Des constantes nucléaires, précises et aisément accessibles, deviennent chaque jour plus importantes pour les scientifiques utilisant les rayonnements et les isotopes en radiobiologie, dans