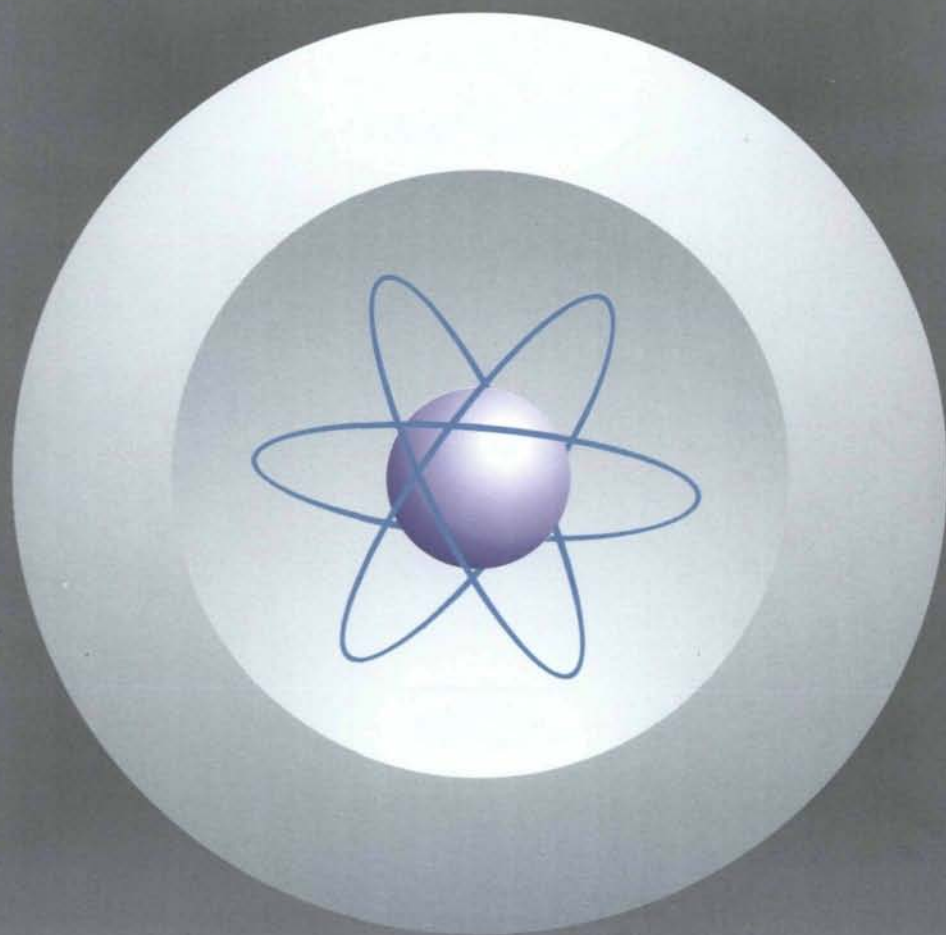


# AIEA BULLETIN

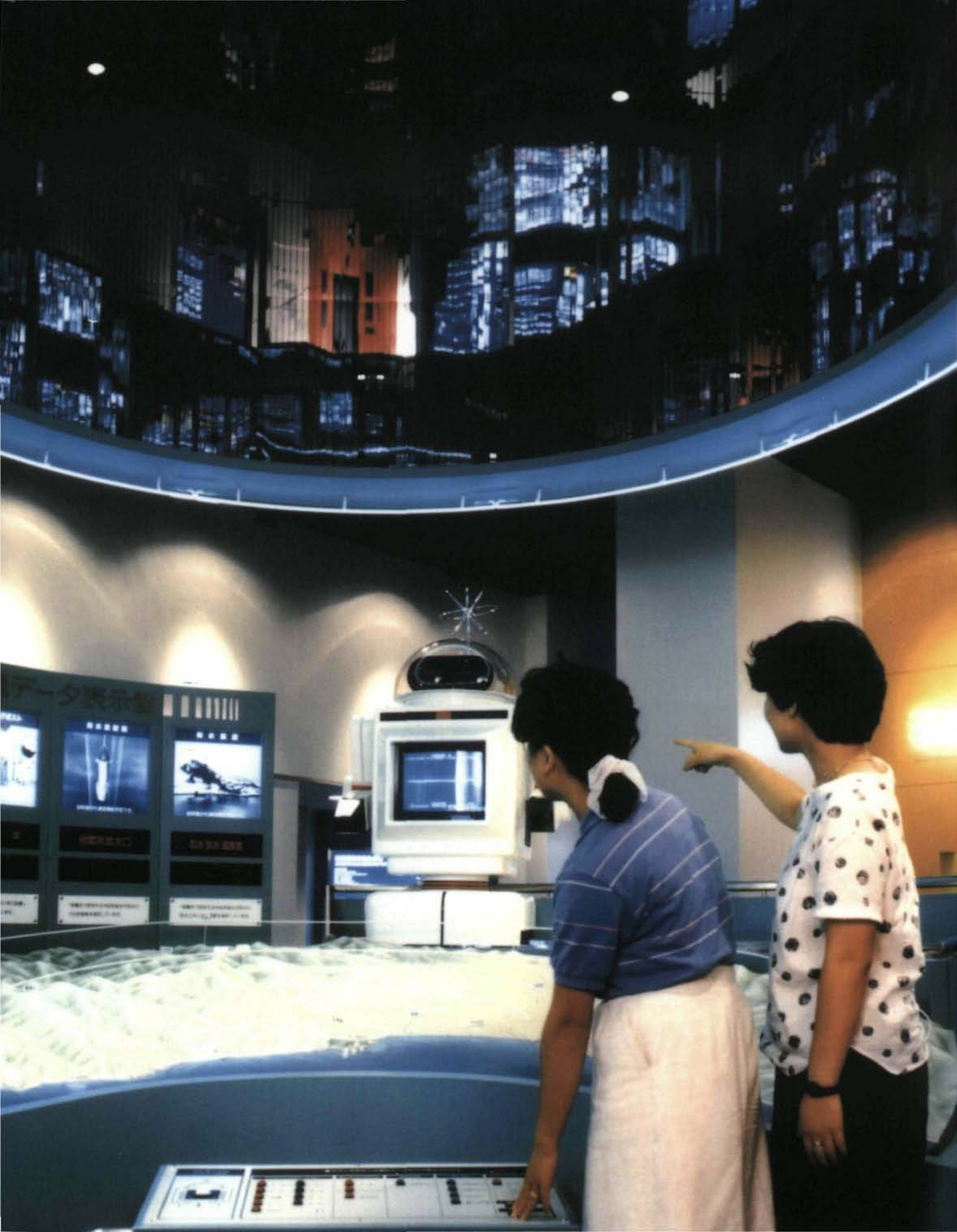


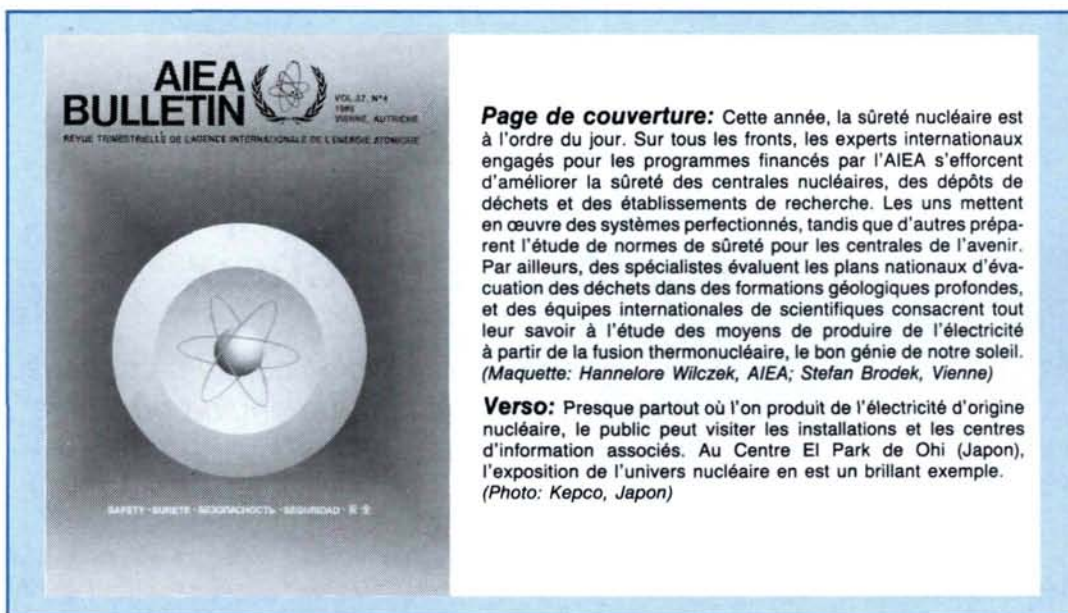
VOL.37, N°4  
1995  
VIENNE, AUTRICHE

REVUE TRIMESTRIELLE DE L'AGENCE INTERNATIONALE DE L'ENERGIE ATOMIQUE



SAFETY • SURETE • БЕЗОПАСНОСТЬ • SEGURIDAD • 安全





**Page de couverture:** Cette année, la sûreté nucléaire est à l'ordre du jour. Sur tous les fronts, les experts internationaux engagés pour les programmes financés par l'AIEA s'efforcent d'améliorer la sûreté des centrales nucléaires, des dépôts de déchets et des établissements de recherche. Les uns mettent en œuvre des systèmes perfectionnés, tandis que d'autres préparent l'étude de normes de sûreté pour les centrales de l'avenir. Par ailleurs, des spécialistes évaluent les plans nationaux d'évacuation des déchets dans des formations géologiques profondes, et des équipes internationales de scientifiques consacrent tout leur savoir à l'étude des moyens de produire de l'électricité à partir de la fusion thermonucléaire, le bon génie de notre soleil. (Maquette: Hannelore Wilczek, AIEA; Stefan Brodek, Vienne)

**Verso:** Presque partout où l'on produit de l'électricité d'origine nucléaire, le public peut visiter les installations et les centres d'information associés. Au Centre El Park de Ohi (Japon), l'exposition de l'univers nucléaire en est un brillant exemple. (Photo: Kepco, Japon)

## SOMMAIRE

- Perspectives** L'énergie nucléaire et le débat écologique: le contexte des choix  
*Evelyne Bertel et Johan Van de Vate / 2*
- Centrales nucléaires: vers plus de sûreté  
*Keith Hide / 8*
- Les centrales nucléaires de l'avenir: harmoniser les impératifs de sûreté  
*Leonid Kabanov / 12*
- Coopération mondiale à la fusion nucléaire: un historique de progrès constants  
*T.J. Dolan, D.P. Jackson, B.A. Kouvshinnikov et D.L. Banner / 16*
- Fusion nucléaire: préciser les objectifs de la sûreté et de la protection de l'environnement  
*Franz-Nikolaus Flakus, John C. Cleveland et T.J. Dolan / 22*
- Supplément** *Radiographie de la coopération technique: l'atome au service de la médecine*
- Repères** Gestion des déchets radioactifs: examens par des homologues internationaux  
*Ernst Warnecke et Arnold Bonne / 26*
- L'évacuation des déchets radioactifs: principes et normes radiologiques  
*J.O. Snihs / 30*
- Rubriques** Actualités internationales/Données statistiques / **34**
- Nouvelles publications de l'AIEA / **46**
- Vacances de postes à l'AIEA / **48**
- Bases de données en ligne / **50**
- Colloques et séminaires organisés par l'AIEA/  
Programmes de recherche coordonnée de l'AIEA / **52**

# L'énergie nucléaire et le débat écologique: le contexte des choix

*Plusieurs organismes climatologiques internationaux étudient les effets de l'énergie d'origine nucléaire et d'autres options énergétiques*

par Evelyne Bertel et Johan Van de Vate

Les problèmes écologiques sont à l'ordre du jour dans le monde entier. Les gouvernements, les groupes concernés et l'homme de la rue sont chaque jour plus conscients de la nécessité de limiter l'impact des activités humaines sur l'environnement. Dans le secteur de l'énergie, les gaz à effet de serre qui risquent de modifier le climat mondial sont mis à l'index. Cela déterminera probablement le choix des options énergétiques pour la production d'électricité au cours des prochaines décennies. Nul doute que l'énergie d'origine nucléaire sera au centre du débat, ainsi que son avenir, car elle peut contribuer à atténuer l'impact du secteur de l'électricité sur l'environnement.

Du point de vue scientifique, il est très probable que la concentration atmosphérique croissante des gaz à effet de serre tels que le dioxyde de carbone et le méthane modifiera le climat à l'échelle mondiale. Toutefois, les variations climatiques naturelles sont encore plus amples que celles que provoque la contribution estimée de l'activité humaine.

Les doutes mis à part, le risque d'une évolution du climat mondial demeure sérieux à long terme. Il faut concevoir des scénarios jusqu'à l'horizon 2100 et même au-delà, fondés sur l'évolution à long terme des modes de vie, des conditions socio-économiques et de la technologie. Ces scénarios ont un caractère normatif mais sont intrinsèquement subjectifs. Ce qui est certain, c'est que la consommation d'énergie est l'une des principales causes des émissions de gaz à effet de serre, et que les rejets de CO<sub>2</sub> dans le monde sont actuellement inférieurs de 8 % à ce qu'ils seraient sans l'énergie nucléaire.

Deux grandes instances internationales s'occupent de l'évolution du climat: la Conférence des Parties à la Convention-cadre concernant les changements climatiques, qui s'est réunie pour la première

fois à Berlin en mars-avril 1995, et le Groupe intergouvernemental de l'évolution du climat, qui fonctionne depuis 1988. Comme les gaz à effet de serre d'origine anthropique sont imputables en majeure partie au secteur de l'énergie, les organisations internationales compétentes et mandatées dans ce domaine participent activement aux travaux de ces organismes.

L'AIEA a contribué à la préparation du deuxième rapport d'évaluation du Groupe intergouvernemental. Elle a fourni à celui-ci des documents et des résultats de ses programmes en cours sur le rôle potentiel de l'énergie nucléaire dans l'atténuation du risque de changement climatique mondial. En particulier, elle a préparé en collaboration avec l'Agence pour l'énergie nucléaire de l'Organisation de coopération et de développements économiques (AEN/OCDE) les passages sur l'énergie d'origine nucléaire du chapitre sur les options combinées de production d'énergie, lequel présente différentes solutions permettant de réduire les émissions de gaz à effet de serre, des scénarios de production d'énergie à faibles émissions de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) ainsi que des discussions sur les mesures à prendre pour appliquer des technologies et stratégies douces. L'AIEA et l'AEN/OCDE ont également préparé à l'appui du rapport un document intitulé *Nuclear Power in the Context of Alleviating Greenhouse Gas Emissions*, paru en avril 1995 dans la Collection TECDOC de l'AIEA.

Nous parlerons dans cet article des deux organismes internationaux mentionnés et de la contribution de l'AIEA au deuxième rapport d'évaluation du Groupe intergouvernemental qui est en cours de préparation pour être présenté au début de 1996 à la Conférence des Parties à la Convention-cadre.

---

## Les organismes mondiaux traitant de l'évolution du climat

En 1992, la Conférence des Nations Unies sur l'environnement et le développement (sommet «Planète Terre»), réunie à Rio, s'est occupée des

---

M. Van de Vate est membre de la Section de la planification et des études économiques de la Division de l'énergie d'origine nucléaire de l'AIEA. Mme Bertel, ancien membre de cette section, fait maintenant partie du personnel de l'AEN/OCDE, à Paris.

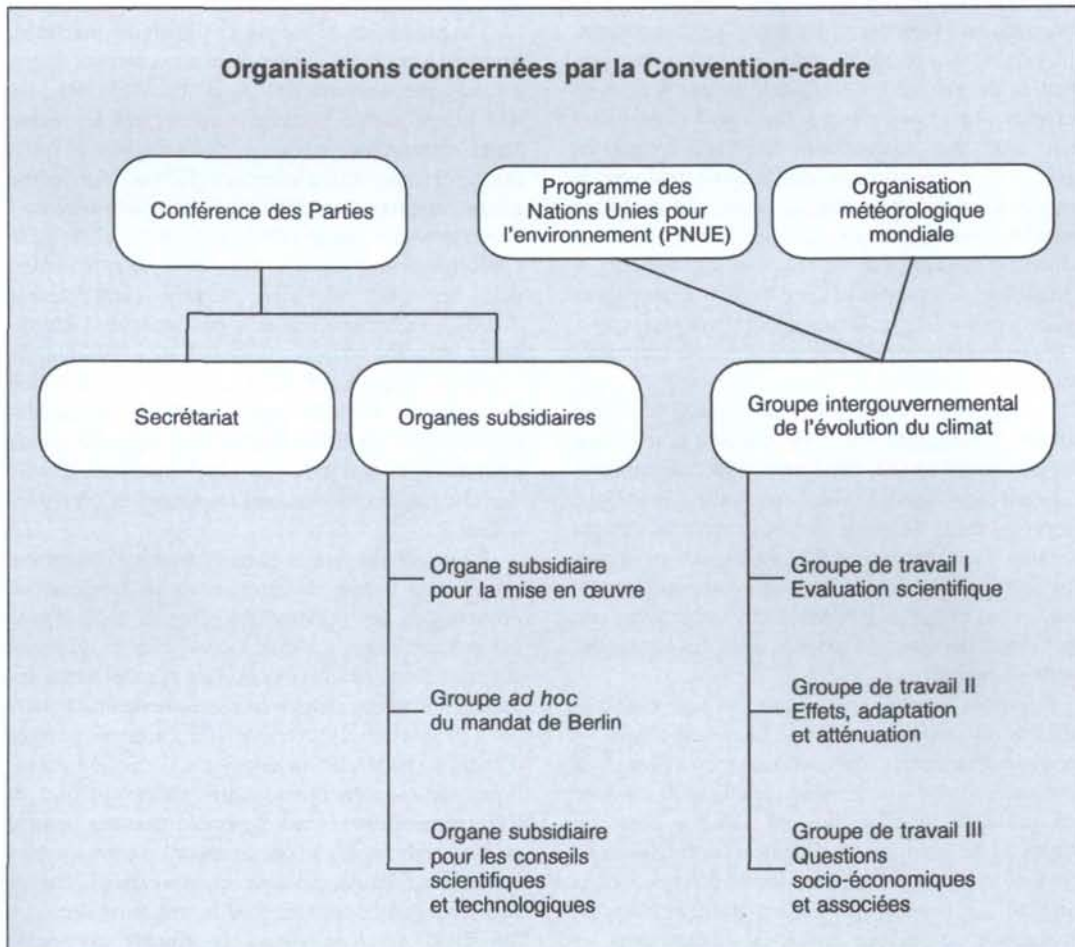
moyens de préserver la planète en évitant les changements climatiques, la pollution de l'environnement et l'épuisement des ressources. C'est à cette occasion qu'a été signée la Convention-cadre, laquelle est entrée en vigueur en 1994, après sa ratification par plus de 50 pays. Elle a pour objectif de réduire la concentration atmosphérique des gaz à effet de serre à des niveaux inoffensifs, ce qui exigera des mesures draconiennes, en particulier dans les pays industriels où les émissions de CO<sub>2</sub> par habitant sont plus de dix fois supérieures à celles des pays en développement. Les pays industriels devront en somme compenser l'augmentation des émissions de CO<sub>2</sub> inhérentes au développement socio-économique des populations toujours plus nombreuses des pays en développement. Ce souci d'équité, inscrit dans la Convention, donne souvent lieu à des discussions politiques lors des réunions intergouvernementales sur l'évolution du climat.

La Conférence des Parties, instance suprême de la Convention, a été instituée par le sommet «Planète Terre» en 1992. Elle examine la mise en œuvre de la Convention et prend les décisions qui s'imposent pour encourager son application. Elle a créé divers organes subsidiaires dont l'un s'occupe de la mise en œuvre et un autre des conseils scientifiques et techniques. Par ailleurs, elle a chargé un groupe *ad hoc*

de rédiger un protocole pour après l'an 2000. Le premier organe subsidiaire formulera des recommandations pour aider la Conférence des Parties dans l'examen et l'évaluation de la mise en œuvre. Le second fera la liaison entre, d'une part, les évaluations scientifiques et techniques, y compris l'information communiquée par les organismes internationaux et, d'autre part, les directives que la Conférence des Parties est appelée à formuler. L'Agence prendra part aux activités de ces organismes.

Le Groupe intergouvernemental est un organe scientifique et technique indépendant qui a pour mission d'aider les dirigeants à freiner l'évolution du climat mondial. Sa tâche consiste notamment à établir des rapports scientifiques d'évaluation de cette évolution. Le premier rapport a été publié en 1990 et assorti d'un supplément en 1992. Le deuxième rapport, approuvé par le Groupe lors de sa réunion de Madrid, à la fin de 1995, devrait être publié au début de 1996. Un troisième rapport est prévu pour 1998.

En collaboration avec l'OCDE, le Groupe intergouvernemental a également publié, sous le titre *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*, une série de directives pour aider les gouvernements à rendre compte régulièrement à la Confé-



rence des Parties de l'application des mesures nationales visant à réduire les émissions de gaz à effet de serre.

Les rapports d'évaluation sont faits par des experts de diverses spécialités scientifiques et examinés par des experts nationaux et internationaux avant d'être soumis pour approbation aux séances plénières du Groupe intergouvernemental et de ses trois groupes de travail. Le groupe de travail I sur l'évaluation scientifique s'occupe de climatologie. Le groupe de travail II sur les effets, l'adaptation et l'atténuation étudie l'élévation du niveau des mers, l'énergie et la désertification, tandis que le groupe de travail III, chargé des questions socio-économiques et associées, dépouille les publications concernant l'évolution du climat. Les groupes I et II ont évalué des scénarios d'émission de CO<sub>2</sub> à divers horizons jusqu'à 2100.

L'AIEA participe à ces évaluations et a souligné le rôle potentiel de l'énergie nucléaire relativement aux évaluations comparatives globales.

### Le contexte des choix

Toutes les options de production d'électricité affectent plus ou moins l'environnement mais, si elles bénéficient des techniques modernes, elles fonctionnent à moindre risque pour l'environnement. En particulier, plusieurs solutions techniques permettent de réduire les émissions de gaz à effet de serre du secteur énergétique. Des mesures concrètes telles que taxes, subventions et permis d'émission servent aussi à donner une idée du coût total pour la société des options de remplacement. Le problème pour les décideurs du secteur énergétique consiste à concevoir et à appliquer en temps utile des stratégies comportant des combinaisons d'options énergétiques visant à minimiser les dommages à l'environnement, à la santé et à la société, au moindre coût pour cette dernière.

Les options techniques envisagées dans le secteur vont de l'amélioration des rendements à la réduction des émissions de CO<sub>2</sub> par l'emploi de combustibles à teneur en carbone faible ou nulle. Toutefois, au niveau de la décision, il faut prendre en compte certains facteurs technico-économiques et autres obstacles aux réalisations. L'amélioration des rendements a ses limites et son coût tente à augmenter très rapidement dès que l'on passe le stade des économies faciles à réaliser.

Certaines options techniques — qui peuvent paraître très séduisantes sur le plan scientifique — sont loin d'en être au stade industriel ou même de la démonstration de leur viabilité technique. Il est donc peu probable qu'elles puissent aider à court ou moyen terme à réduire sensiblement les émissions de gaz à effet de serre ou autres inconvénients pour la santé et l'environnement. Par exemple, la rétention du dioxyde de carbone et son évacuation dans les

profondeurs océaniques ainsi que les systèmes énergétiques fondés sur l'hydrogène pourraient largement contribuer, à longue échéance, à réduire les gaz à effet de serre, mais il n'y a aucune chance qu'ils atteignent leur maturité industrielle ou deviennent compétitifs avant plusieurs décennies. Les sources renouvelables, à l'exception de l'hydroélectricité et de la biomasse, n'offrent pas de possibilités réalistes d'assurer la charge de base à grande échelle.

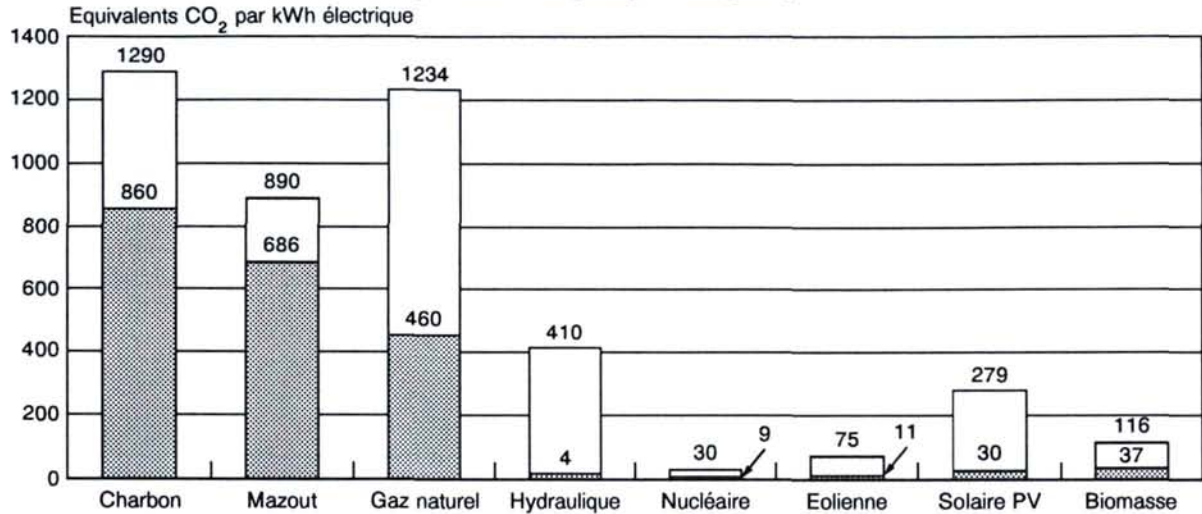
### L'énergie nucléaire et les autres options

La technologie nucléo-électrique est aujourd'hui éprouvée et peut largement contribuer à réduire les émissions de gaz à effet de serre et autres agressions du secteur énergétique sur l'environnement, et donc à atteindre les objectifs écologiques. A la longue, comme le précisent les conclusions du chapitre du rapport d'évaluation scientifique sur les options douces de production d'énergie, l'énergie nucléaire peut remplacer les combustibles fossiles pour assurer la charge de base dans la plupart des parties du monde, si l'on sait répondre de façon acceptable aux préoccupations concernant la sûreté des réacteurs, l'élimination des déchets radioactifs et la prolifération nucléaire.

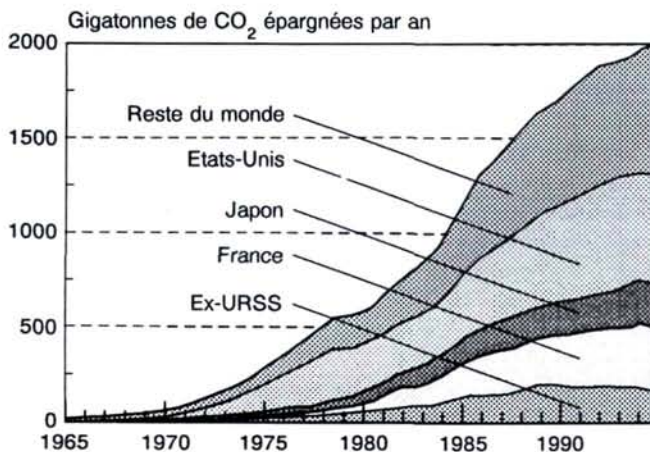
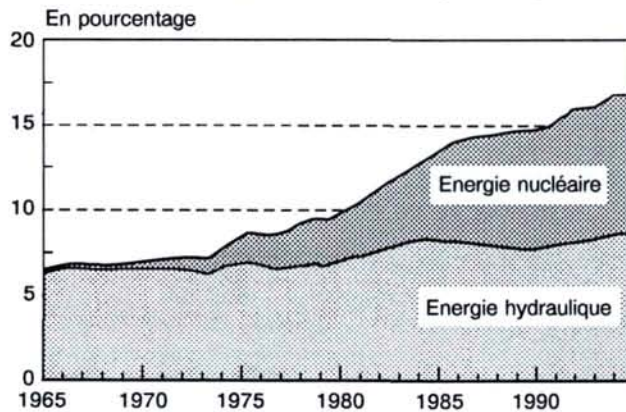
La production d'électricité d'origine nucléaire remonte à la fin des années 50 et a maintenant atteint sa maturité industrielle. A la fin de 1994, les 432 unités nucléo-électriques connectées au réseau représentaient une puissance installée totale de quelque 340 gigawatts électriques (GWe). La même année, la production électrique mondiale dépassait 2 300 térawatts-heure (TWh) et assurait 17 % de la consommation totale. L'expérience d'exploitation des centrales nucléaires totalise actuellement 7 200 années de réacteur et la performance d'exploitation moyenne ne cesse de s'améliorer, le facteur de disponibilité étant supérieur à 70 % depuis le milieu des années 80. Cette expérience place le nucléo-électrique parmi les technologies que les décideurs peuvent envisager pour un développement durable des réseaux électriques dans les années et décennies à venir.

Il est probable que le souci écologique demeurera un puissant facteur de choix, mais la compétitivité économique des options énergétiques n'en restera pas moins l'élément clé de l'évaluation et du choix des sources de remplacement. Des percées technologiques pourraient réduire très sensiblement les coûts de la production d'électricité avec certaines sources d'énergie renouvelables autres que l'énergie hydraulique, telles l'énergie solaire photovoltaïque et l'énergie éolienne, mais il semble que ces options ne parviendront pas à concurrencer les combustibles fossiles ou l'énergie nucléaire pour assurer la charge de base avant la deuxième ou la troisième décennie du siècle prochain. Dans la plupart des pays,

### Facteurs d'émissions d'équivalent CO<sub>2</sub> des différentes sources d'énergie (chaîne énergétique complète)



### Dioxyde de carbone mondial épargné grâce à l'énergie nucléaire et hydraulique



### Evolution des taux d'émission de CO<sub>2</sub> 1965-1993

	Taux d'émission en 1993 (Pg/a)	Augmentation annuelle (Pg/a)	Augmentation en pourcentage
Union européenne	3,5	0,025	0,8
Pays de l'OCDE	12,1	0,15	1,4
Europe non OCDE (1988)	5,5	0,11	2,6
Pays moins développés	7,7	0,21	4,4
Monde	24,0	0,39	2,1

L'évolution des taux d'émission de CO<sub>2</sub> varie selon les régions en fonction du développement des programmes nucléo-électriques depuis le milieu des années 60. Dans l'ensemble, la production d'électricité nucléaire a augmenté beaucoup plus rapidement que celle d'hydroélectricité et les émissions de CO<sub>2</sub> évitées par ces deux secteurs sont à peu près égales. La comparaison de toutes les émissions de gaz à effet de serre de toutes les sources d'énergie révèle la faible contribution de l'énergie nucléaire, hydraulique et éolienne. L'histogramme indique les valeurs maximales et minimales relevées dans les études de l'AIEA et d'autres organisations. Le faible taux d'émission d'équivalent CO<sub>2</sub> du secteur nucléaire résulte d'un consensus international.

Source: British Petroleum Statistical Review of World Energy, 1995.

le mazout n'est pas utilisé pour assurer la charge de base, vu l'instabilité des prix du pétrole sur le marché et les problèmes éventuels d'approvisionnement. Par conséquent, le choix pour les centrales assurant la charge de base qui seront mises en service dans les dix à 20 prochaines années se portera essentiellement sur le charbon et le gaz, l'énergie nucléaire, et l'énergie hydraulique dans les sites favorables.

Les coûts relatifs de l'électricité produite à partir de ces sources d'énergie varient d'un pays à l'autre et sont fortement tributaires des conditions, des taux d'escompte et de l'évolution des prix du charbon et du gaz à prévoir. Le charbon est et demeurera une option économiquement intéressante dans les pays qui disposent de ressources nationales exploitables à bon compte. Vu la mise au point de techniques à cycle mixte extrêmement efficaces, le gaz est devenu compétitif pour la production d'électricité en charge de base dans plusieurs pays. Toutefois, le coût de cette production est très sensible aux variations des prix du gaz qui risquent de beaucoup augmenter si la demande croît rapidement. Lorsque les sites sont favorables, les centrales hydro-électriques produisent de l'électricité à bon compte, mais leur implantation est souvent impossible en raison de l'impact social et environnemental des grands barrages. De plus, selon des publications récentes, cette option pourrait nuire au climat à cause des gaz à effet de serre qui se dégagent des lacs artificiels.

Bien que les centrales nucléaires nécessitent de gros investissements, elles concurrencent favorablement les centrales à combustible fossile dans la plupart des pays. Cela est vrai en particulier là où les programmes nucléaires sont judicieusement exécutés et gérés et où les combustibles fossiles sont chers. Les études et réalisations en cours devraient améliorer encore la performance des centrales nucléaires et faire baisser les coûts de leur production. En outre, vu l'approche globale adoptée pour calculer les coûts de production de l'électricité nucléaire, les coûts incidents au titre social, sanitaire et écologique sont infimes par rapport aux coûts directs estimés et bien inférieurs à ceux des systèmes à combustible fossile. Si l'on en tient compte, la marge concurrentielle des centrales nucléaires s'en trouve accrue.

**Impacts écologiques.** Quant à ses effets sur l'environnement, le nucléaire présente certains avantages. En période d'exploitation normale, les centrales nucléaires et les installations du cycle du combustible rejettent de petites quantités de matières radioactives. Or, la réglementation mise en œuvre il y a plusieurs dizaines d'années pour limiter les rejets d'effluents radioactifs respecte les critères de protection de la santé publique et suffit pour préserver l'environnement. Les autres émissions, résidus et rejets des centrales nucléaires et du cycle du combustible sont inférieurs à ceux des chaînes de production d'électricité à base fossile et sont compa-

rables ou même inférieurs à ceux des systèmes utilisant les énergies renouvelables. Si l'on considère les chaînes énergétiques amont et aval de la production d'électricité, l'énergie nucléaire émet entre 40 et 100 fois moins de dioxyde de carbone que les chaînes à combustible fossile en exploitation. Les émissions de gaz à effet de serre imputables à la chaîne nucléaire sont essentiellement dues à l'emploi de combustibles fossiles pour l'extraction, le traitement et l'enrichissement de l'uranium, et pour la production de l'acier et du ciment nécessaires à la construction des réacteurs et des installations du cycle du combustible. Elles sont négligeables par rapport à celles dues à l'emploi direct d'un combustible fossile pour la production d'électricité et peuvent être encore réduites par une amélioration des rendements de l'énergie qui consisterait, par exemple au stade de l'enrichissement, à remplacer le procédé par diffusion gazeuse par des procédés exigeant moins d'énergie, telles la centrifugation et la séparation isotopique par laser.

Le nucléaire contribue déjà dans une large mesure à réduire le risque de changement du climat mondial; en effet, à supposer que l'on remplace les centrales nucléaires actuellement exploitées dans le monde par des centrales à combustible fossile, les émissions de dioxyde de carbone du secteur énergétique augmenteraient de plus de 8 %. Une réduction de cette importance, pratiquement égale à celle que l'on doit aux centrales hydro-électriques, a été obtenue dans un certain nombre de pays en une vingtaine d'années de développement du nucléaire.

L'analyse des statistiques de plusieurs pays portant sur les 20 dernières années montre que les pays qui ont mis en œuvre de vastes programmes nucléaires, tels la Belgique, la France et la Suède, ont considérablement réduit, de ce fait, leurs émissions de dioxyde de carbone. En France, par exemple, les rejets de dioxyde de carbone et d'anhydride sulfureux ont été réduits de plus des deux tiers entre 1982 et 1992, bien que la production d'électricité ait presque doublé. Aux Etats-Unis, environ 1 750 millions de tonnes métriques supplémentaires de dioxyde de carbone auraient été rejetées dans l'atmosphère entre 1973 et 1994 si l'énergie nucléaire n'avait pas été utilisée. Dans les pays ou régions où le nucléaire n'est pas largement utilisé — dans les pays en développement par exemple — le taux d'augmentation des émissions de CO<sub>2</sub> est relativement élevé.

---

### Les perspectives à long terme

A longue échéance, les ressources de combustible nucléaire et les infrastructures industrielles en place permettent un large déploiement de programmes nucléo-électriques dans bon nombre de pays. S'il y avait moins d'obstacles au développement du secteur



nucléo-électrique, sa production pourrait augmenter à partir de maintenant et pendant le siècle prochain, ainsi que le montre le scénario à long terme élaboré par l'AIEA en collaboration avec l'AEN/OCDE à l'intention du Groupe intergouvernemental de l'évolution du climat.

Ce scénario a été conçu compte tenu des prévisions de la demande mondiale d'énergie et d'électricité présentées dans le chapitre du rapport d'évaluation scientifique sur les options douces de production d'énergie. Il part de l'hypothèse que le nucléaire se généralisera afin d'atténuer le risque d'un changement du climat mondial et pénétrera le marché du fait de sa compétitivité économique. Il implique que les directives qui s'y opposent actuellement — par exemple les moratoires sur la construction de nouvelles centrales nucléaires et les décisions politiques qui font fi de l'option nucléaire — seront progressivement annulées et que les projets d'équipement nucléaire des pays en développement seront facilités par une meilleure adaptation et un transfert plus actif de la technologie, et par l'aide financière des banques de développement. Les hypothèses retenues pour évaluer la pénétration du nucléaire dans différentes régions tiennent compte de la nécessité de diversifier la production et de la compétitivité des options de remplacement éventuelles que sont le pétrole et le gaz au Moyen-Orient et, à longue échéance, la biomasse et autres sources renouvelables. Les applications potentielles de l'énergie nucléaire pour produire de la chaleur et de l'hydrogène n'ont pas été considérées, car il n'est pas certain qu'elles soient compétitives.

En 2100, selon ce scénario, la part du nucléaire dans la production totale d'électricité serait de moins de 20 % en Afrique, en Australie et Nouvelle-Zélande, et au Moyen-Orient, et atteindrait 75 % en Europe occidentale. La puissance installée totale, actuellement de 340 GWe, passerait à quelque 3 300 GWe et le nucléaire assurerait 46 % de la consommation mondiale d'électricité, contre 17 % aujourd'hui.

Les contraintes techniques considérées pour estimer les taux de croissance possibles du parc nucléo-électrique sont les délais de construction et les possibilités industrielles de construire les centrales et les installations du cycle du combustible. La question des sites pour les installations nucléaires, y compris les dépôts de déchets radioactifs, a également été étudiée par région, compte tenu de la sismicité, des besoins d'eau de refroidissement et de la nécessité d'implanter les installations dans des zones relativement peu peuplées. L'accès à des ressources naturelles pour la fabrication de combustible nucléaire n'influerait guère sur le développement du secteur nucléo-électrique, vu les ressources connues d'uranium et de thorium et les progrès techniques prévus de l'utilisation des matières fissiles. Le scénario postule la mise en service de réacteurs surgénérateurs vers 2025 afin d'assurer la produc-

tion d'électricité nucléaire jusqu'à 2100 à l'aide des ressources d'uranium actuellement connues. D'ailleurs, des ressources complémentaires seront probablement mises en exploitation dans l'intervalle, lorsqu'il le faudra. D'autres types de centrales, dotés par exemple de réacteurs au thorium, de systèmes hybrides et même de réacteurs à fusion, seront peut-être mis au point et offerts sur le marché.

La mise en œuvre de ce scénario permettrait de ramener les émissions mondiales de dioxyde de carbone au tiers de leur volume actuel. Sans l'énergie nucléaire, une réduction de cet ordre ne serait réalisable que si les sources d'énergie renouvelables, qui n'en sont pas encore au stade industriel, se présentaient sur le marché au début du prochain millénaire et se développaient à un rythme très accéléré pendant tout le siècle prochain.

### **Le développement énergétique durable**

Les prochaines années verront croître la demande d'énergie et, plus spécialement, le besoin d'un complément de puissance installée. La solution devra tenir compte de la nécessité de réduire le fardeau que l'emploi des combustibles fossiles fait peser sur la santé et l'environnement. Globalement, il s'agira d'exploiter toutes les sources d'énergie et toutes les options techniques disponibles permettant d'atteindre dans l'immédiat, ainsi qu'à moyen et long terme, les objectifs de la protection de l'environnement et de la rentabilité.

L'énergie nucléaire est certes une option capable de réduire les effluents et les résidus de la production d'électricité et d'atténuer les effets du secteur énergétique sur la santé et l'environnement. Pour contribuer largement à la mise en œuvre dans le monde entier de stratégies durables d'approvisionnement en électricité, le nucléaire doit devenir plus concurrentiel vis-à-vis des systèmes à combustible fossile et, à longue échéance, des sources renouvelables. Il faudrait abaisser les obstacles au développement du parc nucléo-électrique en démontrant sans relâche que les réacteurs et les installations du cycle du combustible sont fiables et sûrs et que l'on dispose d'ores et déjà, pour l'élimination définitive de tous les déchets radioactifs, de solutions techniques applicables où que ce soit en cas de besoin.

La performance technique, la sûreté et la compétitivité des centrales nucléaires sont en progrès constant. Cela devrait faire valoir la viabilité de l'option nucléaire dans un nombre croissant de pays. La continuation ou la réactivation des programmes énergétiques nucléaires — après une évaluation des avantages économiques et écologiques que le nucléaire présente par rapport à d'autres sources d'énergie — contribuerait dans une large mesure à garantir une production durable d'énergie.

# Centrales nucléaires: vers plus de sûreté

*De nombreux exploitants ont recours à des méthodes d'auto-évaluation pour examiner et améliorer les niveaux de sûreté de leurs centrales*

par Keith Hide

Après les accidents de Three Mile Island (1979) et de Tchernobyl (1986), l'industrie nucléaire a mis en œuvre des programmes destinés à évaluer et à améliorer la sûreté de ses centrales. C'est ainsi que les exploitants des Etats-Unis ont créé l'Institute of Nuclear Power Operations (INPO), chargé de procéder régulièrement à des évaluations de la sûreté de toutes les centrales nucléaires du pays. Cet organisme fournit de nombreux autres services aux compagnies d'électricité des Etats-Unis et les propose également dans le monde entier à des exploitants intéressés, afin de les aider à améliorer la sûreté de leurs installations.

Au niveau international, l'AIEA a lancé son programme OSART (Examen de la sûreté d'exploitation) d'aide volontaire à l'évaluation de la sûreté des centrales nucléaires dans le monde entier. Elle est à l'origine d'autres programmes analogues, tels ASSET (Analyse des événements importants pour la sûreté), ASCOT (Evaluation de la culture de sûreté dans les organismes) et IRS (Système de notification des incidents), destinés à aider les exploitants à évaluer et à renforcer la sûreté de leurs centrales.

En septembre 1994, les Etats Membres de l'AIEA ont abordé le processus de ratification de la nouvelle Convention sur la sûreté nucléaire, qui établit pour la première fois, au niveau international, un ensemble d'obligations relatives à la sûreté des centrales nucléaires que les Etats signataires s'engageront à respecter. En vertu de cette convention, les Etats Membres dotés de ces installations devront adresser régulièrement à leurs homologues des rapports sur les mesures adoptées pour s'acquitter de ces obligations.

Bien que la teneur de ces rapports reste encore à définir, les Etats Membres devront préciser, d'une

manière ou d'une autre, dans quelle mesure leur programme nucléo-électrique est conforme aux obligations de la Convention. Les examens de la sûreté effectués par des organisations indépendantes comme l'AIEA pourraient renseigner à cet égard, mais le volume des ressources extérieures qu'ils requièrent en limite l'offre.

Maintes compagnies ont opté pour leur propre système d'auto-évaluation afin de fournir à leurs responsables l'information courante relative à la sûreté. Les organes de réglementation ont de plus en plus recours à ce mode d'évaluation. L'expérience prouve en effet que l'auto-évaluation objective permet de mieux comprendre la nécessité et les raisons d'améliorer la sûreté, et contribue fort utilement à la rédaction des rapports requis par la Convention.

Pour fixer les idées, on peut grouper les pratiques d'auto-évaluation sous trois rubriques générales:

- Contrôle fréquent ou continu des opérations et comparaison des résultats avec l'objectif de performance défini par l'exploitant;
- Etude périodique et approfondie de l'efficacité d'un certain nombre d'activités ou de programmes par des équipes internes de spécialistes et de techniciens expérimentés;
- Examen unique et approfondi visant à déterminer avec précision l'étendue et les causes essentielles des faiblesses constatées dans certains secteurs.

Nous allons voir maintenant, dans leurs grandes lignes, quelles sont ces méthodes d'auto-évaluation, avec les avantages qu'elles présentent.

---

## Contrôle de la performance

De nombreux exploitants utilisent désormais un ensemble d'indicateurs pour définir et communiquer leurs objectifs ou prévisions de performance concernant les équipements, les programmes ou le personnel des centrales nucléaires dans des domaines liés à

---

M. Hide est chef de la Section de la sûreté d'exploitation des centrales nucléaires, Division de la sûreté nucléaire de l'AIEA.

la sûreté, à la production et au rendement. Il est préférable d'exprimer ces indicateurs en valeur numérique. Il s'agit en général des dix principaux indicateurs de performance que les exploitants du monde entier signalent à l'Association mondiale des exploitants de centrales nucléaires (AMECEN), et de nombreux autres relatifs aux besoins spécifiques des installations ou équipes de chimie, de radioprotection et de maintenance dont sont dotées les centrales. Bon nombre de celles-ci se réfèrent aux résultats obtenus par les meilleures entreprises ou aux normes industrielles confirmées pour définir leurs objectifs de performance et les améliorations à prévoir.

Un relevé systématique des résultats réels comparés aux objectifs de performance selon les indicateurs agréés fournit à la direction et aux autres services d'une centrale des indications utiles sur la performance effective et sur les points à surveiller de plus près. Certains exploitants calculent pour chaque indicateur ou groupe d'indicateurs connexes un ensemble de valeurs numériques qui traduisent, par exemple, une nette insuffisance, une amélioration nécessaire, une performance satisfaisante ou un point fort évident. Ainsi, les rapports périodiques adressés aux responsables de la gestion d'une centrale peuvent être établis de façon à rendre compte non seulement de la performance effective, mais également de sa tendance générale. Un code de couleur est parfois utilisé pour mettre en lumière certains résultats ou tendances.

La comparaison des résultats avec les objectifs définis renseigne régulièrement et objectivement sur le fonctionnement d'une centrale dans tel ou tel domaine, tout en appelant l'attention de la direction sur les secteurs sensibles nécessitant une intervention. Autre avantage majeur de cette procédure: l'information contenue dans les rapports peut être aisément communiquée à l'ensemble du personnel de la centrale par l'intermédiaire de graphiques et de présentations visuelles. De cette façon, chaque membre du personnel reste en permanence informé de la performance de son propre secteur et des secteurs qui en dépendent. Dans certains cas, ces rapports sont diffusés dans toute la centrale sous forme de panneaux en couleur indiquant les résultats par catégorie. Cette méthode permet au personnel de mieux comprendre et soutenir les objectifs de performance définis par la direction, chaque membre du personnel étant mieux à même d'établir un lien entre ces derniers et sa propre activité.

### Examens périodiques de l'efficacité

Bien que les indicateurs et objectifs de performance soient une source permanente d'informations, leur intérêt se limite au secteur surveillé et ils n'expliquent guère les causes profondes des faiblesses constatées. Les études d'efficacité portant sur



Membres d'une équipe OSART à la centrale nucléaire de Hamaoka, au Japon. (Photo: Taylor/AIEA)

l'aspect à la fois quantitatif et qualitatif des données sont des outils d'évaluation qui ont fait leurs preuves. Elles aident notamment à s'assurer du respect de la réglementation ou de conditions extérieures; toutefois, les plus utiles sont celles qui déterminent dans quelle mesure les différents programmes et activités atteignent leurs objectifs. L'étude des opérations importantes telles que la mise à l'arrêt ou le démarrage d'une centrale donne souvent de précieuses indications sur la performance de cette dernière ou de son personnel. Elle sert également à évaluer l'efficacité du soutien interne ou de l'aide d'autres organisations qui influeraient sur l'exploitation de la centrale ou sur sa performance en matière de sûreté.

Les études d'efficacité sont parfois faites par des équipes composées de personnes ne participant pas à l'activité examinée ou, au contraire, de personnes qui y participent étroitement et en permanence ou, bien mieux encore, par des équipes mixtes. Elles sont confiées au personnel chargé de l'assurance de la qualité, s'il possède les compétences et l'expérience requises dans le secteur concerné. Nombre d'exploitants ont toutefois constaté qu'il y avait intérêt à former les équipes avec du personnel direc-

tement impliqué ou ayant des responsabilités dans l'activité étudiée. Ces personnes apportent des connaissances très utiles à l'ensemble du processus et contribuent à améliorer la qualité de l'étude. En outre, et surtout, leur participation leur ouvre de nouvelles perspectives et les sensibilise davantage aux problèmes, à la nécessité de les résoudre et aux moyens d'y parvenir. Enfin, la formation acquise du seul fait de leur participation les rend mieux aptes à évaluer en continu la performance des secteurs dont ils sont responsables.

Le ferme soutien de la direction s'est avéré essentiel à la réalisation de bonnes études d'efficacité. Aussi faut-il constituer une équipe d'examen compétente comprenant du personnel de gestion et de supervision, l'aider à déceler tous les problèmes et leurs causes, et exploiter de façon positive les résultats de l'étude en évitant toute sanction ou autre incommodité. Ce sont là des facteurs essentiels pour favoriser un libre échange d'informations et d'opinions entre contrôleurs et contrôlés, nécessaire pour obtenir de bons résultats.

Les programmes d'assurance de la qualité donnent toujours l'occasion de contrôler les programmes ou activités des centrales selon des calendriers prévoyant l'examen périodique des secteurs importants et la vérification du respect des règles et conditions des programmes de qualité. Toutefois, l'auto-évaluation va souvent bien au-delà et comporte des examens, à la demande de la direction ou du personnel, visant essentiellement à déterminer si les programmes et les activités atteignent leurs objectifs. Dans certaines installations, plus de 50 % des évaluations sont effectuées à la demande du personnel technique, du personnel de direction et d'autres services faisant partie des équipes d'examen.

### Examens uniques des secteurs en difficulté

La plupart des exploitants considèrent que le ciblage de l'auto-évaluation sur des secteurs en difficulté ou supposés l'être est l'un des moyens les plus efficaces d'améliorer la performance. Un cadre supérieur d'une compagnie a déclaré que la principale responsabilité du directeur était de déceler les problèmes et les possibilités d'amélioration, et de prendre les mesures nécessaires. Les possibilités d'amélioration sont définies à l'aide des indicateurs de performance, de l'expérience acquise dans l'industrie ou dans les centrales, de comparaisons entre centrales nucléaires, etc. Les principes à respecter pour réaliser un bon contrôle ponctuel sont les mêmes que pour les contrôles périodiques.

Pour illustrer la pratique de l'examen unique, prenons l'exemple du système utilisé dans une centrale nucléaire pour marquer le matériel mis hors

service pour maintenance. Après plusieurs erreurs mineures de marquage, les directeurs de centrale ont décidé de revoir sérieusement les procédures de marquage et les activités connexes. Pour ce faire, ils ont constitué une équipe comprenant du personnel de maintenance, d'exploitation et d'appui technique et autre, et l'ont chargée d'examiner tous les aspects du système de marquage. L'équipe a essayé, en vain, d'établir une fiche de suivi du processus de marquage et a conclu à de nombreux défauts du système, le principal étant sa complexité et le fait qu'il n'était pas compris par ceux appelés à l'utiliser quotidiennement. Une méthode totalement nouvelle, plus simple, plus facile à comprendre et plus fiable a été mise au point.

Citons également l'exemple d'une compagnie qui, après avoir constaté une baisse de la performance de secteurs importants, a décidé de faire une étude complète de la gestion et de l'efficacité de toutes les activités de la centrale. Vu la multiplicité des problèmes, les responsables se sont résolus à intégrer des experts extérieurs à l'équipe chargée de ce travail. Un groupe de grands spécialistes de l'exploitation et de la gestion des centrales a donc été constitué et a reçu tout le soutien nécessaire pour déterminer les causes principales de dysfonctionnement. Ses conclusions ont permis d'améliorer fondamentalement la gestion des activités de la centrale et la répartition des tâches du personnel. Les services nationaux de réglementation ont jugé que les problèmes essentiels de la centrale étaient bien en main et qu'un contrôle réglementaire complet était inutile. D'accord avec les responsables de la centrale, ils ont estimé que l'auto-évaluation s'avérait plus efficace que leur contrôle, en raison de la haute compétence de l'équipe d'examen et de l'attitude positive et responsable de la direction de la centrale.

### Programmes d'examen par des homologues

Dans quatre pays au moins, les exploitants ont mis en œuvre leurs propres programmes d'examen par des homologues et confient à leur personnel compétent l'évaluation de la performance de toutes leurs centrales nucléaires. Ils ont préparé des programmes pour les homologues travaillant dans d'autres centrales pour faire évaluer chaque centrale à intervalles réguliers. Grâce à ces programmes, de nombreux agents ont une bonne connaissance des méthodes d'examen éprouvées et mettent ensuite en pratique dans leurs propres centrales les compétences et l'expérience acquises. Ils sont alors en mesure de considérer plus objectivement et dans une optique nouvelle, et bien souvent d'améliorer, la performance de leurs propres secteurs.

### Supervision par les services de réglementation

Certains organes de réglementation considèrent que le fait d'encourager l'auto-évaluation et d'en vérifier le sérieux et les résultats leur fournit de précieux renseignements tout en favorisant l'initiative du personnel de la centrale dans la recherche des problèmes et de leur solution, ce qui importe le plus. De ce fait, ils s'efforcent désormais de faire en sorte que tous les exploitants procèdent à des auto-évaluations pour déceler leurs problèmes d'exploitation et en déterminer les causes à temps. Ils estiment que la vérification des résultats d'une auto-évaluation peut être préférable à leurs inspections pour s'assurer que les centrales se maintiennent à un niveau élevé de performance.

### Initiatives internationales

Les exploitants qui pratiquent l'auto-évaluation s'accordent à penser que la méthode est un des meilleurs facteurs de progrès car elle présente les avantages suivants:

- Elle est exécutée par des personnes qui connaissent bien le personnel et les pratiques de la centrale;
- Elle peut s'adapter aux besoins particuliers de chaque centrale;
- Elle minimise le risque de divulguer les faiblesses d'une centrale tout en favorisant la discussion franche et ouverte des questions sensibles entre les membres du personnel et les personnes chargées de l'examen;
- Elle permet de mieux connaître les problèmes de performance ainsi que leurs causes et leurs effets à tous les niveaux, et facilite par là même les améliorations;
- Elle peut être réalisée fréquemment ou en continu et fournir à la direction une information actualisée sur l'efficacité d'un large éventail de programmes et d'activités.

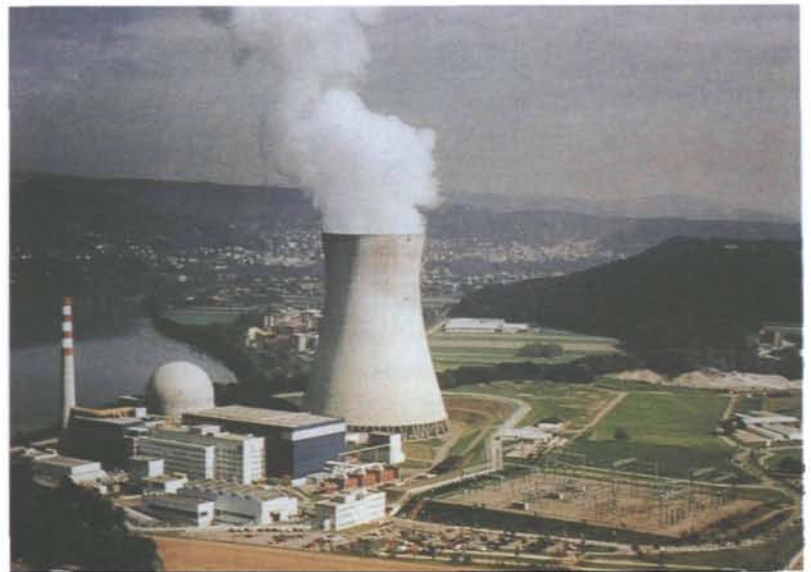
L'AIEA étudie actuellement comment contribuer le plus utilement au développement et à l'application de l'auto-évaluation en tant que moyen de renforcer la sécurité d'exploitation des centrales nucléaires. Les activités en cours ou à l'étude sont les suivantes:

- Donner des conseils aux exploitants et aux organes de réglementation sur les méthodes d'auto-évaluation. Un guide de sûreté de l'AIEA (50-SG-QA10) est en préparation;
- Compléter le processus et les directives du programme OSART (IAEA-TECDOC-744, mai 1994) en vue d'un examen de l'efficacité des activités d'auto-évaluation menées dans les centrales visitées;

- Utiliser le programme OSART pour déterminer et répertorier les meilleures pratiques d'auto-évaluation et les diffuser dans l'industrie par l'intermédiaire de la base de données OSMIR (résultats des missions du programme OSART);
- Parrainer des conférences et des réunions de travail internationales sur l'auto-évaluation;
- Aider les Etats Membres, sur demande, à mettre en œuvre des programmes d'auto-évaluation;
- Examiner sur demande les processus d'auto-évaluation et leurs résultats.

En matière de sûreté d'exploitation, les exigences ne cessent de se multiplier et la communauté internationale manifeste un intérêt croissant pour les conditions de sûreté de toute installation nucléaire. Dans ce contexte, il est probable que le recours à des méthodes efficaces d'auto-évaluation se généralisera, tant dans le cadre des programmes nucléaires bien établis que dans celui des programmes en développement. La performance des centrales en matière de sûreté devra faire l'objet d'autovérifications critiques et fréquentes pour s'assurer qu'elle est maintenue à un niveau acceptable et durable. Au titre des services qu'elle offre à ses Etats Membres dans le domaine de la sûreté, l'AIEA fera tout son possible pour encourager et faciliter l'application des méthodes d'auto-évaluation dans le secteur nucléaire.

Centrale nucléaire de Leibstadt, en Suisse.



# Les centrales nucléaires de l'avenir: harmoniser les impératifs de sûreté

*Une coopération féconde met en vedette les caractéristiques techniques des réacteurs nucléaires de demain*

par Leonid Kabanov

Les centrales nucléaires actuelles dont la conception et l'exploitation se conforment aux objectifs et aux critères en vigueur sont très sûres. Bien que la majorité d'entre elles aient un bon dossier de sûreté, les spécialistes discutent beaucoup des moyens de faire encore mieux.

Plusieurs raisons expliquent cette quête de l'excellence. En premier lieu, toute industrie cherche à améliorer sa sûreté et son rendement. Pour l'industrie nucléaire, il s'agit de relever le niveau de sûreté des installations en exploitant l'expérience acquise pendant maintes années de réacteurs et lors des accidents. Par ailleurs, les problèmes de sûreté sont détectés grâce à la recherche, aux essais et autres analyses, telle l'évaluation probabiliste de la sûreté (EPS). En second lieu vient le souci de maintenir à son minimum actuel le risque que le nucléaire peut représenter pour le public à mesure que les centrales nucléaires se multiplient; en troisième lieu, celui de réduire encore la probabilité et les conséquences d'un important rejet de radioactivité hors du site. Si l'on minimise ce risque potentiel pour la santé publique, les mesures de protection à l'extérieur du site deviennent moins impératives. Enfin, l'amélioration de la sûreté est, dans certains pays, une condition préalable de l'acceptation par le public du lancement ou de l'expansion d'un programme nucléaire.

En 1992, le Groupe consultatif international pour la sûreté nucléaire (INSAG), chargé de donner des avis au Directeur général de l'AIEA, a proposé des mesures qui visent à renforcer la sûreté des futures centrales nucléaires et se fondent sur de nouveaux concepts de sûreté, en ce qui concerne notamment les facteurs humains et les caractéristiques spécifiques de conception\*.

A propos des facteurs humains, les propositions précisent que la conception doit faciliter la tâche de l'exploitant, tenir compte des modalités d'exploitation et de maintenance, et moins reposer sur l'intervention rapide des opérateurs, afin de laisser à ceux-ci plus de temps pour prendre les mesures de sûreté, ce qui renforce la protection contre tout rejet éventuel de radioactivité dans l'environnement.

Quant à la conception de l'installation, les propositions recommandent en particulier de réduire la probabilité d'un accident grave et d'en atténuer les effets, de prévoir un confinement résistant aux pressions et aux températures qui caractérisent ce genre d'accident, d'assurer une protection suffisante contre le sabotage et les attaques aux armes classiques, et d'envisager des dispositifs de sûreté passifs obéissant à des forces naturelles, telles que la convection et la pesanteur, afin que les fonctions de sûreté soient moins dépendantes de systèmes et de composants actifs tels que les pompes et les vannes.

En fait, certains de ces éléments sont déjà incorporés dans les centrales modernes en construction ou récemment mises en service. D'autres encore sont inclus dans les plans des centrales actuellement à l'étude.

Le présent article décrit l'activité internationale visant à élaborer les objectifs et principes de sûreté auxquels devront répondre les centrales nucléaires de l'avenir, et orientée vers une harmonisation des doctrines de sûreté afin de garantir le haut degré de sûreté des futurs réacteurs.

## Les centrales nucléaires de l'avenir

Centrales «de la nouvelle génération», «de pointe» ou «de l'avenir» sont autant d'expressions couram-

M. Kabanov est chef de la Section de la sûreté au stade des études, Division de la sûreté nucléaire.

\* Voir *The Safety of Nuclear Power*, INSAG-5, publié par l'AIEA (1992).

ment et indifféremment utilisées, dans cet article comme ailleurs, pour désigner les installations conformes aux objectifs et principes de sûreté nationaux et internationaux mis au point pour les réacteurs nucléaires de la prochaine génération.

Essentiellement trois prototypes nouveaux sont à l'étude:

- un réacteur refroidi et ralenti à l'eau;
- un réacteur rapide dont le fluide de refroidissement est un métal liquide, par exemple le sodium;
- un réacteur refroidi par un gaz, par exemple l'hélium, et ralenti au graphite.

Environ 85 % des réacteurs en exploitation sont refroidis à l'eau. La plupart des modèles dont l'étude est bien avancée le sont également. On en distingue deux types principaux: le réacteur à eau légère ralenti et refroidi à l'eau ordinaire et le réacteur à eau lourde qui utilise l'oxyde de deutérium ( $D_2O$ ). Le réacteur à eau légère se présente à son tour sous deux formes: à eau bouillante et à eau sous pression. Deux versions du modèle de pointe, appelé parfois *évolutif*, sont à l'étude: un grand modèle d'une puissance de 1 300 à 1 500 mégawatts électriques (MWe) et un modèle moyen de 600 MWe environ. Le réacteur à eau lourde, étudié surtout par l'Energie atomique du Canada, existe aussi en deux versions, l'une de 900 MWe et l'autre de 500 environ.

Le réacteur à eau légère de grande puissance est étudié en plusieurs versions, dont certaines par divers pays travaillant en collaboration. Ces grandes unités sont analogues à celles qui sont en service mais comportent des perfectionnements (sûreté, commande, etc.) et des particularités de conception leur permettant de mieux résister aux accidents graves. Citons, aux Etats-Unis, le réacteur de pointe à eau bouillante de 1 300 MWe de General Electric et le système 80+ de 1 300 MWe de ABB Combustion Engineering, et le modèle européen de 1 500 MWe de Nuclear Power International, établissement franco-allemand. Les rapports définitifs d'évaluation de la sûreté et d'homologation de la conception des deux réacteurs américains ont été publiés en 1994 par la Commission de réglementation nucléaire des Etats-Unis.

La seconde version du réacteur de pointe à eau légère retient pour l'essentiel la technologie actuelle, avec toutefois d'importantes modifications pour lui incorporer maintes caractéristiques de sûreté passive. Citons, aux Etats-Unis, le réacteur passif de pointe à eau sous pression (AP-600) de 600 MWe de Westinghouse et le réacteur simplifié à eau bouillante (SBWR) de 600 MWe de General Electric, et le VVER-640 (V-407) de 640 MWe de Atomenergoprojekt et Gidropress, en Russie. La Commission de réglementation nucléaire examine actuellement l'AP-600 et le SBWR en vue de l'homologation de leur conception, et le VVER-640 en est au stade de son homologation préliminaire par Gosatomnadzor, organisme de réglementation russe.

Sur le plan de la sûreté des centrales, ce processus *évolutif* de développement est largement accepté. Dans le même temps, on discute sur le point de savoir s'il y a lieu de lancer une génération de réacteurs *innovateurs* d'une conception tout à fait nouvelle visant à prévenir les accidents graves. Les projets ne sont encore que des ébauches et leur développement pose en particulier des problèmes de financement et de capacité technique pour l'essai et la vérification des conceptions.

### L'harmonisation des objectifs de sûreté

Nombre de pays et d'organisations participent à l'effort mondial pour harmoniser les objectifs de sûreté des centrales nucléaires de l'avenir. Outre l'AIEA, des organisations intergouvernementales, dont l'Agence pour l'énergie nucléaire de l'Organisation de coopération et de développement économiques (AEN/OCDE) et la Commission européenne, sont très engagées dans cette activité.

Une des tâches de l'AIEA consiste à élaborer des normes de sûreté pour toutes les activités nucléaires. Pour le secteur nucléo-électrique, ces normes, mises au point avec l'aide d'Etats Membres, visent notamment à concilier les points de vue et à aboutir à un consensus. Les normes agréées sont hiérarchisées sur quatre plans: au sommet, les Fondements de la sûreté; ensuite, les Normes de sûreté (codes NUSS), puis les guides de sûreté et, enfin, les pratiques de sûreté.

L'échange d'informations sur la recherche en sûreté nucléaire se fait au sein des groupes de travail de l'AEN/OCDE. Le groupe de travail sur la sûreté des réacteurs de la Commission européenne, composé des représentants de services de réglementation, de fournisseurs et d'exploitants, participe activement à l'échange d'informations et facilite l'harmonisation des règles et directives qui président à la conception et à l'exploitation des centrales. Divers organismes de réglementation procèdent également à des échanges bi- et multilatéraux, souvent parrainés par l'AIEA, l'AEN/OCDE et le groupe de travail sur la réglementation nucléaire de la Commission européenne.

L'Institut de protection et de sûreté nucléaires (IPSN, France) et la Gesellschaft für Anlagen und Reaktorsicherheit (GRS, Allemagne) se sont efforcés tout spécialement d'harmoniser le traitement de la sûreté, notamment en publiant, en 1993, le document *GPR/PSK Proposal for a Common Safety Approach for Future Pressurized Water Reactors*.

Nombre d'exploitants sont soucieux de préciser leurs besoins et leurs objectifs en ce qui concerne les centrales nucléaires de l'avenir. Pour ce faire, maintes compagnies ont envisagé une coopération au niveau tant national qu'international. En 1985, les exploitants américains ont lancé un programme.

Celui-ci, géré par l'Institut de recherche sur l'énergie électrique, englobe tout le secteur en vue d'établir les fondements techniques de la conception du réacteur de pointe à eau légère, et compte sur la participation et l'appui de plusieurs compagnies internationales, ainsi que sur l'étroite collaboration du Département de l'énergie des Etats-Unis. Il est fondé sur un document qui présente les exigences des compagnies en matière de conception; les Européens font de même de leur côté.

Cette démarche vise à faire connaître les desiderata des compagnies, y compris les objectifs de sûreté qu'elles ont fixés, pour faciliter l'homologation des réacteurs de conception nouvelle. Le document américain, par exemple, fait l'exposé complet des desiderata des compagnies en ce qui concerne la prochaine génération de centrales nucléaires, en insistant sur les directives de sûreté relatives au réacteur de pointe à eau légère. Celles-ci prévoient une étude intégrée de la sûreté fondée sur le concept de défense en profondeur et comportant trois niveaux de sûreté qui se recoupent: la résistance aux accidents, la prévention de l'endommagement du cœur et l'atténuation de l'impact des accidents. Les spécifications essentielles de conception pour la sûreté sont élaborées à partir des directives de sûreté énoncées pour chaque niveau de protection et pour un modèle de réacteur déterminé.

Le document européen émane des principaux exploitants et associations de producteurs d'électricité d'Europe et résume les exigences communes relatives aux futurs réacteurs à eau légère d'Europe. Son intention est de faciliter l'harmonisation, notamment des objectifs et exigences de la sûreté.

De nombreux exploitants d'Asie, d'Europe et d'Amérique du Nord ont participé à la rédaction et à la révision des deux documents qui, tout en exposant les desiderata concernant en général l'ensemble de la centrale, traitent plus spécifiquement des objectifs de sûreté et du détail des approches de la sûreté. On peut voir dans cet effort une importante contribution à l'harmonisation de ces objectifs et approches dans le monde entier.

### L'apport de l'AIEA

La participation de l'AIEA dans ce domaine a été activée en 1991 par une résolution de sa Conférence générale l'invitant à mettre au point des principes de sûreté pour la conception des futures centrales nucléaires, selon une approche progressive fondée notamment sur les travaux de l'INSAG.

Depuis lors, l'Agence a organisé une série de réunions visant à obtenir un accord sur des définitions, une terminologie et une classification concernant la sûreté des réacteurs de l'avenir, et à préciser les améliorations souhaitables de la sûreté et les sujets intéressant l'élaboration de nouveaux principes. Les parties des rapports de l'INSAG traitant

des principes de sûreté pour les futures centrales ont été examinées et les passages appelant des précisions ou un plus ample développement ont été notés.

En juin 1995, à la suite de l'étude de l'INSAG et des observations reçues des Etats Membres, l'Agence a publié un document technique intitulé *Development of Safety Principles for the Design of Future Nuclear Power Plants* (IAEA-TECDOC-801) proposant une mise à jour des objectifs et principes de sûreté en vigueur, qui servirait à élaborer ceux qui devraient s'appliquer à la conception des futures centrales nucléaires. Ce document sera donc utile aux bureaux d'étude de réacteurs, aux propriétaires, aux exploitants, aux chercheurs et aux organes de réglementation. La proposition vise à donner des directives générales qui, consciencieusement appliquées, permettront d'améliorer les caractéristiques de sûreté des réacteurs à l'étude par rapport à celles des réacteurs en exploitation. Elle est issue de l'expérience acquise dans nombre de domaines — exploitation des centrales, recherche et développement, conception, essais et analyses, sans oublier les initiatives obéissant à l'évolution actuelle de la conception des réacteurs, telle l'adoption de nouvelles technologies. Elle contribue ainsi à la réalisation du consensus international sur un ensemble de principes techniques applicables à la conception des réacteurs futurs. Le document s'appuie sur les objectifs et principes agréés formulés par l'INSAG dans son rapport sur les Principes fondamentaux de sûreté pour les centrales nucléaires, publiés par l'AIEA en 1988. Selon les définitions, les objectifs sont ce qu'il faut atteindre, tandis que les principes indiquent comment y parvenir.

Les objectifs et principes applicables aux centrales d'aujourd'hui valent également, dans une large mesure, pour celles de l'avenir. Cela dit, le document technique de 1995 propose certaines modifications des objectifs techniques et quelques nouveaux principes. Le point essentiel est que les accidents plus graves que l'accident de référence actuel devront être systématiquement pris en considération et expressément traités au cours de l'étude technique des futurs réacteurs.

Le document souligne également qu'il faut réduire davantage encore le risque d'effets radiologiques graves et faire en sorte que l'intervention rapide hors du site devienne moins impérative ou même inutile. La défense en profondeur demeure la principale stratégie pour faire face à un accident grave dans les centrales nucléaires à venir et implique des mesures efficaces de prévention et d'atténuation.

### L'intensification de la coopération

Dans plusieurs domaines, un surcroît d'efforts est nécessaire pour harmoniser les solutions techniques et les directives concernant les centrales nucléaires



futures. Dans la plupart des cas, les possibilités sont bonnes, dans d'autres, non. Les domaines non rationalisés le resteront pendant longtemps encore vu que la géographie, la culture, la politique et la réglementation varient considérablement d'un pays à l'autre. Dans d'autres domaines, il est probable que les forces du marché maintiendront une certaine souplesse.

Dans l'ensemble, une coopération plus étroite est indispensable pour corriger les décalages sur le plan de la technique et de la politique. Une harmonisation plus poussée ne manquerait pas d'améliorer la sûreté, le coût et la disponibilité des futures centrales et rendrait probablement la procédure d'homologation plus cohérente et efficace. Elle pourrait aussi favoriser indirectement l'acceptation par le public. Si les spécialistes de la sûreté, les responsables de la réglementation et les organisations exploitantes du monde entier se mettaient d'accord sur un ensemble d'objectifs et de principes techniques, leurs conclusions n'en seraient que plus convaincantes.

Il existe des possibilités certaines d'harmonisation en ce qui concerne l'évaluation de la sûreté et des accidents graves. Il faudrait d'abord que les nombreux organismes qui procèdent à cette dernière se mettent d'accord sur des approches plus uniformes. Un effort concerté s'impose dans les domaines suivants:

- les EPS et leur rôle dans la décision en matière de sûreté, y compris le compromis entre les EPS, les méthodes déterministes et les considérations techniques;
- les méthodes et critères du choix des séquences d'accident grave à considérer lors de la conception des centrales futures;
- les méthodes et critères pour le traitement des incertitudes et la mise en pratique des directives qui exigent l'analyse de toutes les composantes d'un accident grave à considérer;
- les méthodes à suivre pour faire la distinction entre les accidents de référence analysés aux fins de l'homologation et les accidents graves également pris en considération pour la conception et pour la réglementation;
- les méthodes d'évaluation de la sûreté aux fins de l'homologation dans chaque pays, y compris la documentation technique nécessaire; il faudrait également considérer des mesures d'harmonisation propres à faciliter l'homologation d'une installation conçue selon les codes et les normes d'un autre pays;
- la rationalisation des méthodes d'évaluation du terme source et autres méthodes de calcul des conséquences radiologiques d'un accident.

A noter que les pratiques nationales dans le cas des dangers extérieurs varient considérablement. Leur harmonisation pour les centrales de l'avenir apparaît difficile car la nature et la gravité des dangers extérieurs sont étroitement liées au site.

La question des dangers extérieurs a acquis de l'importance depuis que la protection contre les dangers intérieurs a été améliorée.

En outre, il faudrait définir le haut degré de sûreté à atteindre afin de pouvoir fixer des objectifs de sûreté spéciaux pour les centrales nucléaires en rapport avec les problèmes plus généraux de protection de la santé publique et de sûreté qui se posent dans d'autres entreprises. Un pas dans cette direction a été fait par l'AIEA lorsqu'elle a publié son document technique intitulé *Policy for Setting and Assessing Regulatory Safety Goals* (IAEA-TECDOC-831) qui rend compte des débats d'un groupe de spécialistes de la réglementation de 22 Etats Membres.

Cet ouvrage témoigne de l'effort permanent de l'Agence pour faciliter un large débat international sur l'harmonisation des objectifs et des principes de la sûreté des futures centrales nucléaires, débat qui devrait permettre de tenir pleinement compte d'opinions diverses et variées et de les concilier dans le cadre d'une plus ample collaboration internationale dans cet important domaine.

# Coopération mondiale à la fusion nucléaire: un historique de progrès constants

*Plusieurs pays coopèrent et mettent en commun ressources et connaissances pour réaliser un réacteur à fusion expérimental*

par  
T.J. Dolan, D.P.  
Jackson, B.A.  
Kouvshinnikov  
et D.L. Banner

Les océans du globe renferment de l'énergie potentielle pour des millions d'années. Leurs eaux contiennent du deutérium, isotope lourd de l'hydrogène et principal combustible des réacteurs à fusion nucléaire. Après extraction, le deutérium contenu dans un litre d'eau pourrait produire autant d'énergie que 300 litres d'essence.

Il faudra certes des dizaines d'années encore pour concrétiser ce potentiel, mais de grands pas sont déjà faits. Les progrès techniques et scientifiques actuels rapprochent les techniques de fusion nucléaire de la phase de démonstration. Ce sont en grande partie les besoins énergétiques croissants, les préoccupations écologiques et les tendances démographiques qui, au niveau mondial, sont le moteur des progrès de la recherche-développement dans le domaine de la fusion.

Quatre facteurs, en particulier, limitent l'utilisation des combustibles fossiles pour la production d'énergie et d'électricité:

- les effets sur la santé humaine (emphysème, cancer);
- les effets sur l'environnement (pluies acides, effet de serre);
- la nécessité de préserver les hydrocarbures pour disposer de combustibles commodes et de matières premières pour l'industrie chimique;
- les réserves limitées de combustibles fossiles (charbon, pétrole, gaz naturel).

Dans son évaluation des ressources énergétiques mondiales, le World Resources Institute (WRI) estime à environ  $3,5 \times 10^{22}$  joules (J) les réserves énergétiques totales prouvées de la planète, dont  $2,44 \times 10^{22}$  J environ reviennent au charbon,  $0,56 \times 10^{22}$  J au pétrole, et  $0,50 \times 10^{22}$  J au gaz naturel.

M. Dolan est chef de la Section de la physique, Division des sciences physiques et chimiques de l'AIEA; M. Jackson est directeur du programme canadien de fusion nucléaire et président du CIRF; M. Kouvshinnikov est chargé de l'information au bureau d'ITER de l'AIEA; et M. Banner est l'ancien chef de la Section. Les auteurs remercient les collègues pour leurs renseignements et commentaires.

Il existe d'autres combustibles fossiles, appelés *ressources*. Toutefois, leur récupération est plus difficile et, dès lors, leur prix augmentera sensiblement au cours du passage de l'exploitation des *réserves* à celle des *ressources*.

La consommation mondiale d'énergie primaire était d'environ 11,6 térawatts (TW) en 1994, dont 87 % provenaient de combustibles fossiles. A ce rythme, les réserves mondiales de combustibles fossiles seront épuisées dans 120 ans environ. En dépit de mesures efficaces de conservation, le niveau de consommation énergétique augmente parallèlement à l'amélioration du niveau de vie des nations en développement. Dans l'hypothèse d'un taux de croissance annuel de cette consommation égal à 2 %, la durée de ces réserves n'excéderait pas 61 ans.

De nombreuses centrales électriques devront être construites dans les prochaines décennies en vue d'augmenter la capacité totale nécessaire pour satisfaire la demande d'électricité et de remplacer les centrales vieillissantes et les centrales à combustibles fossiles, pour des motifs liés à l'environnement, à la santé et aux coûts. Dans le plus optimiste des scénarios, les chercheurs prévoient un déficit de plus de 5 TW d'ici à 2030; ce chiffre impressionnant équivaut à la production de 5 000 centrales électriques d'une puissance de 1 000 mégawatts chacune. Dans les 40 prochaines années, il faudra exploiter des sources énergétiques non fossiles importantes capables d'assurer plus de 10 % de la production énergétique mondiale\*.

La plupart des sources renouvelables d'énergie — même si elles sont précieuses dans certains cas — ne suffiront pas à produire toute l'énergie électrique requise. Toutefois, trois d'entre elles pourraient satisfaire les besoins mondiaux: l'énergie solaire, la fission et la fusion. Chacune a ses avantages et ses inconvénients.

\* Voir «The need for research and development in fusion: Economical energy for a sustainable future with low environmental impact», par B.G. Logan, L.J. Perkins, R.W. Moir et D.D. Ryutuv, dans *Fusion Technology* 28, pages 236-239 (1995).

L'énergie solaire est diffuse, intermittente, ne convient pas sous certains climats et coûte généralement cher. Les surgénérateurs à fission prolongeraient la durée des réserves mondiales de combustibles fissiles, mais ils ne sont pas universellement acceptés par l'opinion publique. Les réacteurs à fusion présenteraient de nombreuses caractéristiques souhaitables, mais des efforts considérables restent à faire pour les amener à maturité. Si leur développement était couronné de succès — et nombreux sont ceux qui le croient — ils pourraient améliorer sensiblement les perspectives énergétiques mondiales (voir l'encadré).

Il est également possible de construire un réacteur hybride fusion/fission en introduisant de l'uranium dans le manteau d'un réacteur à fusion, de manière à augmenter la puissance de sortie et à produire du combustible fissile. Ce type de réacteur présenterait des avantages économiques, mais les autorisations nécessaires seraient plus difficiles à obtenir pour des raisons de sûreté, d'environnement et de protection.

Il faut que le monde s'attache résolument à développer l'électricité nucléaire, à faciliter la mise en place de réacteurs à fission avancés, puis de réacteurs à fusion, avant que la pénurie de combustibles fossiles n'entraîne une escalade des prix des combustibles. De plus, les options nucléaires joueront un rôle essentiel en éloignant la menace de changement climatique mondial, conséquence chaque jour plus évidente du recours aux combustibles fossiles. D'ores et déjà, la fission nucléaire remplace en partie certains combustibles carbonés et, demain, la fusion nucléaire pourrait être plus attirante encore. Aussi quelque 40 Etats Membres de l'AIEA font-ils des travaux de recherche-développement sur la fusion, notamment des études de sûreté afin de concrétiser les avantages potentiels de la fusion nucléaire sur ce plan et sur celui de l'environnement.

Pour maintes raisons, la recherche-développement dans le domaine de la fusion est marquée par la coopération au niveau mondial, passant du domaine des expériences à échelle réduite à celui de la conception d'un réacteur thermonucléaire de grande taille. Nous donnerons ici un aperçu de ces efforts de coopération et de l'état actuel des travaux.

### Historique de la coopération internationale

La coopération mondiale dans la recherche sur la fusion a été particulièrement utile pour plusieurs raisons, notamment la nécessité de mettre en commun les connaissances spécialisées et de partager le coût des grands projets; le souci de hâter les progrès en échangeant les connaissances dans le domaine de la théorie du plasma, des résultats expérimentaux, des codes informatiques, des propriétés des matériaux et de l'évolution des techniques; et le souhait d'aider les pays en développement à former des spécialistes en physique et en technique de la fusion.

### Caractéristiques potentiellement favorables de la fusion nucléaire

La fusion nucléaire présente un certain nombre de caractéristiques séduisantes à maints égards du point de vue énergétique et écologique.

**Approvisionnement en combustible:** Extraction du deutérium de l'eau sans sous-produits nocifs; disponibilité à faible coût pour tous les pays; réserves suffisantes dans les océans pour des millions d'années.

**Extraction minière:** Extraction limitée de lithium, servant à produire le tritium pour les réacteurs à fusion (l'eau de mer contient également 0,17 mg/l de lithium).

**Ecologie:** La fusion ne présente pas de risque pour l'environnement.

**Prolifération des armes nucléaires:** Absence de plutonium ou d'uranium.

**Sûreté:** La quantité de combustible dans le plasma est si faible que même une combustion complète n'entraînerait pas d'explosion. Le caloportage ne présente pas de difficulté, vu le faible niveau de la chaleur de décroissance répartie sur un volume important. La quantité de tritium peut être réduite au minimum par une conception soignée. La dose d'irradiation potentielle hors site en cas d'accident serait si faible qu'elle ne nécessiterait pas de plans d'évacuation.

**Sous-produits radioactifs:** La production de radioactivité de longue période peut être réduite au minimum en choisissant les matériaux avec soin. L'alliage au vanadium, le fluide de refroidissement au lithium et le deutérium-tritium non brûlé pourraient être recyclés.

Dans les années 50, les expériences de fusion nucléaire étaient d'échelle réduite, réalisées par de petites équipes et d'un coût de l'ordre de un million de dollars des Etats-Unis. Aujourd'hui, certaines expériences sont à très grande échelle, font appel à des centaines de personnes hautement qualifiées (qui ne sont pas toutes d'un même pays) et peuvent coûter des milliards de dollars. Nombreuses sont aussi les expériences à petite et moyenne échelle dont la contribution à l'effort mondial est précieuse.

Etant donné l'importance potentielle future de la fusion nucléaire, les pays ont besoin, eux aussi, de programmes nationaux fortement structurés, afin de pouvoir appliquer les résultats scientifiques et technologiques de la collaboration internationale. La recherche sur la fusion se trouve certes à un stade pré-concurrentiel mais, dans certains domaines techniques, la protection de la propriété intellectuelle des pays participants est nécessaire, et il faut en tenir compte lors de la conclusion d'accords de coopération. Par ailleurs, l'échange de techniques qui pourraient connaître des applications militaires, notamment la fusion rapide, suscite quelques préoccupations.

Au début des années 50, la recherche sur la fusion nucléaire, protégée par le secret militaire, a débuté de manière autonome dans plusieurs pays. Les études ont porté sur les rhéostations, les miroirs magnétiques et les systèmes toroïdaux, et certains neutrons ont fait l'objet d'observations. On prévoyait avec optimisme que la «fusion nucléaire serait une réalité dans 20 ans». L'optimisme initial fut tempéré lorsqu'on se rendit compte que les neutrons ne provenaient pas de réactions thermonucléaires et que des instabilités du plasma portaient atteinte à son confi-

nement. Il était nécessaire de mieux comprendre le comportement du plasma, ce que pouvait faciliter l'échange des résultats avec d'autres pays.

En 1956, l'Union soviétique a montré la voie en partageant avec les pays occidentaux les résultats de sa recherche. La première grande manifestation de coopération internationale fut la Conférence de Genève de 1958 sur l'utilisation de l'énergie atomique à des fins pacifiques. Cette même année, l'AIEA a entamé ses activités. Sa première conférence sur la physique des plasmas et la recherche sur la fusion thermonucléaire contrôlée s'est tenue à Salzbourg en 1961; désormais intitulée «Conférence de l'AIEA sur l'énergie de fusion», elle a lieu tous les deux ans. En 1972, l'AIEA a institué un organe consultatif, le Conseil international de la recherche sur la fusion nucléaire (CIRF).

Au fil des ans, nombre d'accords bi- et multilatéraux de collaboration entre pays sont apparus, parallèlement aux activités de l'Agence. Ils étaient souvent la première étape de l'intégration d'acteurs nouveaux dans les activités internationales de recherche sur la fusion. Ils se sont avérés particulièrement utiles par ailleurs lorsqu'une collaboration réciproque de haut niveau était envisagée dans des domaines d'activité spécifiques. La participation du Japon aux projets «Tritium Systems Test Assembly» et «Doublet III» des Etats-Unis et celle du Canada à ITER (Réacteur thermonucléaire expérimental international) par le biais d'accords avec l'Union européenne en sont autant d'exemples.

L'Agence internationale de l'énergie (AIE), qui fait partie de l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE), a été créée dans les années 70 par les pays industrialisés en réponse à la crise du pétrole de 1973. Elle traite de tous les domaines de la recherche-développement en matière d'énergie, y compris la fusion, tandis que sa jumelle, l'Agence pour l'énergie nucléaire (AEN), s'occupe de la fission.

La collaboration de l'AIE s'articule autour d'accords de mise en œuvre, assortis d'annexes qui renvoient à des domaines spécifiques de travail. Tout Etat membre de l'AIE peut, en principe, adhérer à n'importe lequel de ces accords en contribuant, en tant que partie contractante, aux frais qu'il entraîne. Actuellement, les pays non membres peuvent également y adhérer au titre de partie contractante associée, comme l'a fait la Russie pour un certain nombre d'entre eux. Des accords de mise en œuvre sont en vigueur pour les tokamaks de grande taille; TEXTOR; la mise à niveau d'ASDEX; les stellarators; les strictions à champ inverse; les matériaux; les techniques de fusion nucléaire; et les aspects de l'énergie de fusion qui touchent à l'environnement, à la sûreté et à l'économie.

Ces activités sont placées sous le contrôle du Comité de coordination sur la fusion nucléaire, l'équivalent, au sein de l'AIE, du CIRF, les deux comités comptant un grand nombre de membres

communs. Ces dernières années, des efforts croissants ont été déployés en vue de coordonner, par le biais de ces comités de contrôle, les activités de l'AEN et de l'AIE liées à la fusion, afin d'éviter chevauchements et doubles emplois.

### Origines du projet ITER

En 1978, l'AIEA a organisé l'atelier INTOR (International Tokamak Reactor) en vue de définir le prochain grand tokamak expérimental, comme l'a recommandé le CIRF. Ce travail a permis de rassembler des informations sur le comportement du plasma, les sections efficaces et les propriétés des matériaux, ainsi que de produire un schéma de réacteur de référence et de définir les problèmes clés qu'il convient de résoudre. Les résultats ont été consignés dans une série de rapports de l'AIEA publiés entre 1982 et 1988.

La démonstration par INTOR de la faisabilité d'une collaboration technique suivie et les réunions du G-7 («Sommet économique des pays occidentaux») qui avaient identifié la fusion comme un des domaines présentant des potentialités de renforcement de la croissance économique par la coopération réciproque furent des facteurs favorables à l'adoption du projet ITER (*voir page suivante*). Ces derniers parmi d'autres ont fourni un terrain fertile à l'élan politique immédiat en faveur du projet ITER, proposé par M. Gorbatchev, secrétaire général (Union soviétique), au président Mitterrand (France), puis au président Reagan (Etats-Unis) lors du Sommet de Genève de 1985.

L'Activité d'étude conceptuelle (AEC) d'ITER fut finalement lancée en 1988 par quatre parties — la Communauté européenne, les Etats-Unis, le Japon et l'Union soviétique — qui, toutes, ont d'importants programmes de recherche sur la fusion. A l'issue de l'AEC, les quatre parties sont convenues de passer à l'Activité d'étude technique (AET) prévue de 1992 à 1998.

L'AIEA a joué un rôle déterminant dans le lancement d'ITER; elle patronne aujourd'hui la collaboration quadripartite et assure certains services, notamment l'administration des fonds communs d'ITER et la coordination avec le travail technique pertinent accompli par la Section des constantes nucléaires.

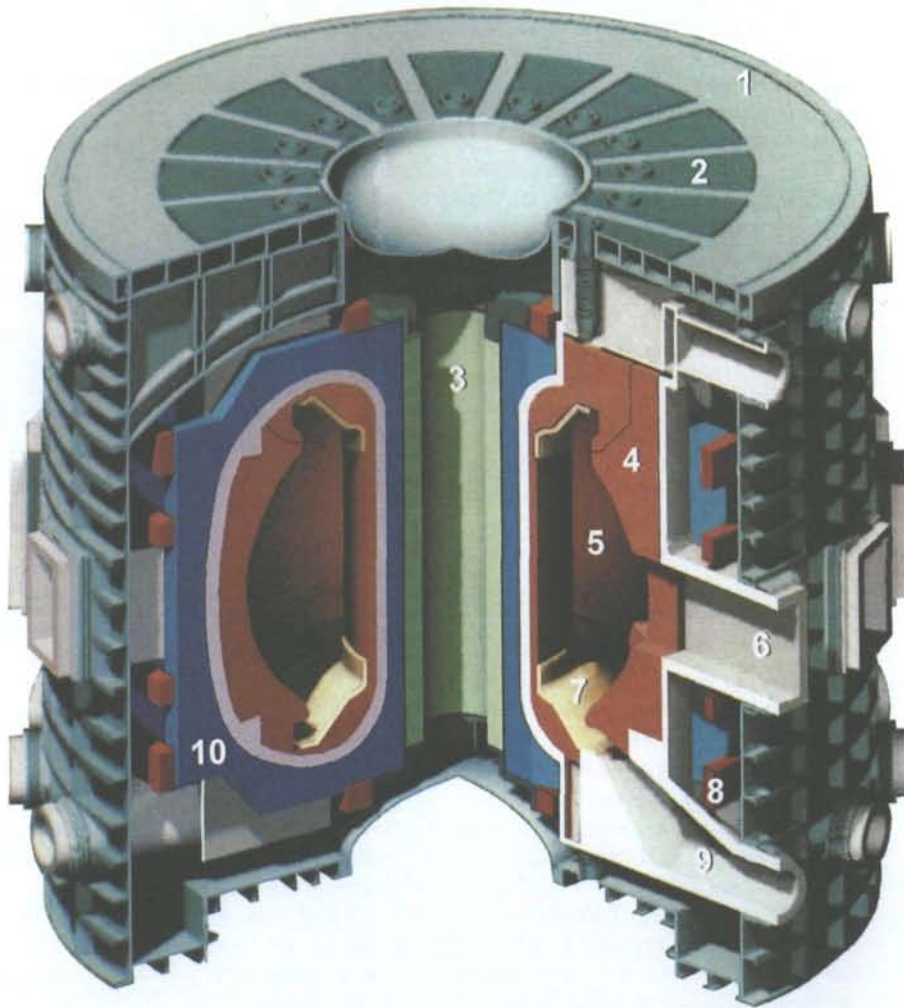
### Activités de l'AIEA liées à la fusion nucléaire

L'AIEA mène une série d'activités en faveur du développement de la collaboration internationale dans la recherche sur la fusion nucléaire (*voir l'encadré page 21*). Elle est, par définition, le point de rencontre pour ce type de collaboration.

La revue mensuelle *Nuclear Fusion* paraît depuis septembre 1960. En règle générale, la conférence biennale de l'Agence, qui traite d'un vaste éventail

### La position du Conseil d'ITER

En 1992, après trois décennies de progrès constants en matière de conception et d'expériences, les quatre principaux participants de la recherche mondiale sur la fusion nucléaire ont convenu des objectifs et des exigences de la phase optimale suivante du développement de la fusion comme source énergétique. ITER a été conçu en tant que projet destiné à la réalisation de ces objectifs, par l'association des quatre parties sur pied d'égalité. L'étendue et la complexité de la physique expérimentale, de la technologie, du savoir-faire et de la recherche nécessaires pour appuyer ITER, ainsi que le coût du projet plaident en faveur de la réalisation de cette phase dans le cadre d'une coopération internationale. Arrivé à mi-parcours de l'AET, le Conseil d'ITER réaffirme unanimement qu'il s'agit d'une étape utile; que les objectifs d'ITER demeurent réalisables et ne doivent pas être modifiés; que la conception permet d'atteindre les objectifs; que la coopération entre les quatre parties s'est avérée constituer un cadre efficace; et que le moment est opportun pour passer à cette phase. C'est de celle-ci que dépend le succès, à l'échelle mondiale, de la fusion, et ITER doit continuer à bénéficier de l'entière coopération internationale, de manière à ce que la physique de la fusion et le savoir-faire technologique puissent être orientés et consolidés dans le sens du soutien d'ITER en utilisant de manière optimale des ressources importantes mais limitées.



Modèle virtuel du Réacteur thermonucléaire expérimental international (ITER); sa hauteur approximative en taille réelle atteindrait 30 mètres. 1) chambre à vide du cryostat; 2) trou de visite vertical; 3) solénoïde central; 4) manteau/blindage; 5) chambre à plasma; 6) accès à la chambre à plasma; 7) écorceur; 8) inducteur poloidal; 9) conduit d'extraction de la pompe à vide; 10) inducteur toroidal.

de sujets relevant de la recherche sur la fusion nucléaire, compte quelque 500 participants. La Section des constantes nucléaires met à jour les bibliothèques de données, diffuse l'information parmi les chercheurs du monde entier et planifie la recherche en vue de combler les lacunes. Les données relatives aux interactions atomes-molécules et plasma-matériaux, rassemblées et évaluées par l'AIEA, sont particulièrement utiles au projet ITER.

Le CIRF assure la liaison avec les Etats Membres et les experts des diverses spécialités de la recherche sur la fusion, et oriente la planification des activités de recherche de l'AIEA. Ses membres sont nommés par le Directeur général de l'AIEA.

Certaines réunions de comités techniques sont organisées annuellement, notamment en ce qui concerne la recherche utilisant les petits tokamaks. D'autres ont lieu à intervalles de deux ou trois ans, comme celles consacrées à la conception des réacteurs à fusion et à la sûreté de la fusion. Quelques réunions de comités techniques ou de groupes consultatifs sont moins fréquentes, notamment celles sur la physique des particules alpha et sur la physique en mode H.

Les programmes de recherche coordonnée (PRC), dont la durée peut aller de deux à cinq ans, donnent lieu à des rapports scientifiques qui résument l'état de la recherche dans un domaine particulier. Généralement, plusieurs de ces PRC sont en cours et comptent chacun de cinq à 10 participants d'Etats Membres tant avancés qu'en développement. Le programme de coopération technique de l'Agence comprend aussi des bourses permettant à des scientifiques de pays en développement de travailler dans de grands laboratoires. Les Etats Membres sont incités à présenter un plus grand nombre de demandes, de manière à mieux exploiter ce programme dans le domaine de la recherche sur la fusion.

#### **Etat d'avancement des études techniques d'ITER**

Le travail ainsi que l'Equipe commune centrale (ECC) d'ITER se répartissent sur trois sites communs reliés électroniquement: Garching, en Allemagne (Union européenne) (composants intérieurs); San Diego, en Californie (Etats-Unis) (intégration des études, environnement, sûreté et santé); Naka, dans la préfecture d'Ibaraki (Japon) (composants extérieurs). Le siège officiel du Conseil de contrôle d'ITER est à Moscou (Fédération de Russie).

Chacune des quatre parties a une équipe nationale qui contribue à l'étude et assume les tâches associées de recherche-développement. Le Conseil d'ITER, composé de deux représentants de chacune des parties, dirige le projet et désigne le directeur d'ITER. Un comité consultatif technique, constitué de quatre scientifiques et techniciens éminents de chacune des parties, désignés par le Conseil d'ITER, donne des avis au Conseil, sur sa demande, concernant toutes les questions techniques. Un Comité

consultatif de gestion, formé de trois représentants désignés par chacune des parties, rend des avis au Conseil sur les questions de gestion et d'administration. Le système fonctionne bien, quoique complexe et dispersé à travers le monde.

L'AET d'ITER, prévue pour six ans, comprend un travail de *conception*, qui représente au total 1 340 années de professionnels, plus un travail de recherche-développement en technologie fondamentale et appliquée pour un total de 750 millions de dollars (de 1989). Le document *Rapport intérimaire sur la conception d'ITER — étude de coûts et analyse de sûreté* a été élaboré par l'ECC et accepté par le Conseil d'ITER en juillet 1995 pour examen par les parties. Il s'appuie sur une documentation technique détaillée: le *Rapport intérimaire de conception* et les *Documents descriptifs d'étude*, totalisant quelque 4 350 pages et 1 400 dessins.

L'AIEA publiera séparément au début du printemps de 1996 le *Rapport intérimaire de conception* dans la Série documentaire d'ITER. La plupart des questions techniques sont en bonne voie de solution.

On estime que la construction d'ITER s'étendra sur dix années environ, entre la décision de construire et le premier plasma.

#### **Perspectives de collaboration future**

D'importants travaux de recherche seront menés essentiellement par une seule partie, mais feront quand même appel à des experts d'autres pays. Les chercheurs de par le monde ont appris à respecter leurs compétences respectives et à apprécier la valeur de l'échange de points de vue. Le projet ITER a permis d'accomplir des progrès considérables dans le domaine de la collaboration internationale et de démontrer qu'il était possible de surmonter les problèmes résultant des intérêts et de l'orgueil nationaux, de la dispersion géographique des équipes de recherche et des différences culturelles. L'expérience d'ITER en matière de gestion d'un grand projet multinational pourrait aussi être utile à de futures entreprises.

D'autres systèmes à fusion possibles, notamment une source à neutrons de 14 MeV pour les essais de matériaux et un réacteur tokamak de démonstration, seront très coûteux et il est donc probable que l'on recherchera, pour ces projets également, un financement conjoint par plusieurs parties. Le partage des coûts des grands projets de recherche sur la fusion est à encourager, vu les pressions politiques qui, partout dans le monde, vont dans le sens des restrictions budgétaires.

Les possibilités de participation accrue, aux grands projets, de scientifiques novateurs des pays en développement constituent un autre aspect positif de la collaboration internationale. Amener ces scientifiques à prendre part aux activités d'un laboratoire contribue à accélérer les progrès de la recherche sur la fusion, tout en aidant les pays en développement.

### Activités de l'AIEA concernant la collaboration internationale en matière de recherche sur la fusion

Publication de la revue scientifique mensuelle *Nuclear Fusion* et de ses suppléments, notamment le *World Status of Activities in Controlled Fusion Research* (périodique) et *Atomic and Plasma-Material Interaction Data for Fusion* (annuel).

Publication de l'*International Bulletin on Atomic and Molecular Data for Fusion* (semestriel), distribué à plus de 800 institutions et chercheurs des Etats Membres de l'Agence.

Organisation de la Conférence biennale de l'AIEA sur l'énergie de fusion et publication des actes de la Conférence.

Constitution de bibliothèques de données (telles que la Bibliothèque de constantes neutroniques sur l'énergie de fusion), de constantes atomiques et moléculaires, et de données sur l'interaction plasma-matériaux qui présentent un intérêt pour la recherche sur la fusion. L'utilisation de ces données dans le cadre de la recherche sur la fusion et de la conception des réacteurs a été recommandée au niveau international. Les données sont réunies dans le Système de documentation de l'Agence sur les constantes nucléaires (NDIS) et dans le Système de documentation sur les constantes atomiques et moléculaires (AMDIS), et sont accessibles en ligne par l'intermédiaire d'Internet. Le Système international de documentation nucléaire (INIS) dispose également d'un spécialiste de la fusion.

Conseil international de la recherche sur la fusion nucléaire (CIRF)

Réunions de comités techniques sur divers sujets, notamment:

- La recherche au moyen de petits tokamaks
- Les progrès dans la modélisation informatique des plasmas de fusion
- La physique des particules alpha
- Le régime stabilisé des tokamaks
- La physique en mode H
- La sûreté de la fusion
- La conception des réacteurs à fusion

Réunions de groupes consultatifs

- Recherche sur les plasmas dans le tiers monde
- Fusion à confinement inertiel

- Aspects techniques du traitement des constantes atomiques et moléculaires

Programmes de recherche coordonnés (PRC), notamment:

- Elaboration de logiciels pour la modélisation numérique et le traitement des données
- Systèmes de chauffage et de diagnostic des plasmas dans les pays en développement
- Prédiction de la durée de vie de la première enceinte d'un réacteur à fusion
- Erosion des matériaux des réacteurs à fusion due aux interactions avec le plasma
- Vitesses de refroidissement radiatif des impuretés du plasma de fusion
- Données de référence sur les propriétés thermomécaniques des matériaux en contact avec le plasma dans les réacteurs à fusion
- Rétention et dégagement de tritium par les composants en contact avec le plasma dans les réacteurs à fusion
- Données d'interactions atomiques et d'interaction plasma-paroi pour la modélisation des écorceurs des réacteurs à fusion

Coordination de l'activité d'un réseau international de centres de constantes atomiques et moléculaires, comprenant 15 centres nationaux.

Ouvrage intitulé *Energy from Inertial Fusion* (1995)

Rapport d'activité sur la fusion thermonucléaire contrôlée, résumé élaboré par le CIRF en vue de décrire l'état actuel de la recherche dans le monde, numéro anniversaire de *Nuclear Fusion*, vol. 30, n° 9 (1990)

Projets de coopération technique avec les pays en développement, notamment des bourses

Patronage de l'Activité d'étude technique (AET) du Réacteur thermonucléaire expérimental international (ITER)

Dans le monde entier, des applications industrielles des plasmas sont en voie de commercialisation: pistolets à plasma, traitement des surfaces, synthèse de matériaux nouveaux, activation des réactions chimiques et traitement des contaminants chimiques. L'AIEA lance actuellement un PRC visant à promouvoir la collaboration dans ce domaine.

Le programme de recherche sur la fusion implique notamment l'achèvement du projet ITER; une expérience de fusion à confinement inertiel; des recherches sur des concepts nouveaux en matière de fusion; la mise au point de matériaux pour les réacteurs à fusion (les tests d'irradiation supposent une source puissante de neutrons); une théorie solide des plasmas et un programme de simulation; et le soutien à la recherche universitaire et à la formation des étudiants du deuxième cycle à la science des plasmas et aux techniques de fusion. La collaboration internationale peut contribuer à satisfaire la plupart de ces besoins avec plus d'efficacité que ne pourraient le faire les pays pris séparément.

En résumé, le monde a besoin de la recherche sur la fusion nucléaire en tant que source énergétique

complémentaire de l'énergie solaire et des réacteurs à fission nucléaire. La collaboration internationale permet de mettre en commun les connaissances spécialisées et de partager le coût des grands projets; d'accélérer les progrès par l'échange des connaissances; et d'aider les pays en développement à créer leur infrastructure en science des plasmas et technologie de la fusion.

L'AIEA, l'AIE et divers accords bilatéraux favorisent cette collaboration. Actuellement, l'AIEA déploie un large éventail d'activités, notamment la publication de sa revue mensuelle; la conférence biennale; la coordination des données concernant les interactions atomes-molécules et plasma-matériaux; les réunions de comités techniques; et les PRC.

Au cours des 50 dernières années, le programme mondial de recherche sur la fusion nucléaire — de la première initiative soviétique à l'AET d'ITER en passant par les activités de l'AIEA — est devenu un parfait exemple de coopération scientifique. Il devrait être profitable à tous, si des centrales à fusion nucléaire sont créées en vue de satisfaire les besoins mondiaux en énergie et en électricité.

# Fusion nucléaire: préciser les objectifs de la sûreté et de la protection de l'environnement

*L'analyse du potentiel de l'énergie de fusion sous l'angle de la sûreté, de la fiabilité et de l'écologie est au cœur de la recherche*

par  
Franz-Nikolaus  
Flakus, John C.  
Cleveland et  
T.J. Dolan

Depuis plusieurs décennies, certains pensent que la source d'énergie de notre soleil — la fusion nucléaire — résoudra le problème de l'énergie sur la Terre. Mais cela reste encore à voir: les problèmes technologiques auxquels se heurtent les concepteurs d'une centrale à fusion sont complexes, et cette centrale reste à construire. Les progrès dans ce sens sont néanmoins remarquables.

Dans plusieurs pays, la recherche sur la fusion nucléaire a commencé il y a des dizaines d'années. JT-60 a fourni d'importantes données pour améliorer le confinement du plasma, D-III-D tokamak a permis d'obtenir des pressions records du plasma par rapport à la pression du champ magnétique, et TFTR (Tokamak Fusion Test Reactor) a produit 10 millions de watts d'énergie thermique de fusion. JET (Joint European Torus) approche du point critique où l'énergie produite excède l'énergie consommée. Les problèmes de physique en suspens — pureté du plasma, perturbations et maintien du courant — devraient être résolus par le réacteur thermonucléaire expérimental international (ITER) sur lequel travaillent des experts de la Communauté européenne, des Etats-Unis, de la Fédération de Russie et du Japon (voir l'article page 16).

Des difficultés d'ingénierie se présentent au niveau des aimants supraconducteurs, des systèmes à

vide, des systèmes cryogènes, des systèmes de chauffage du plasma, de diagnostic du plasma et de refroidissement du manteau, mais il semble qu'elles pourront finalement être surmontées. De gros problèmes de sûreté et d'économie se posent aussi. Nous parlerons ici de sûreté, des questions connexes et de la coopération internationale dans ce domaine.

## Considérations et objectifs de sûreté

Il est impossible de faire des prédictions valables du coût de l'électricité produite par la fusion en ignorant les détails de la conception d'une centrale thermonucléaire industrielle. Pour l'instant, il est dit qu'il ne serait pas très inférieur à celui d'autres sources d'énergie.

En matière de sûreté, en revanche, la fusion semble présenter des avantages par rapport à d'autres sources d'énergie. Pratiquement toutes les études tiennent de plus en plus compte des considérations de sûreté et d'écologie, et les objectifs de sûreté ont été très largement discutés. Il s'agit de protéger les travailleurs contre les rayonnements, les champs électromagnétiques et autres dangers, le public contre les matières radioactives et toxiques, l'environnement contre les polluants et les déchets, et les investisseurs contre les dommages dus à des accidents.

**Le processus de fusion.** A certaines températures suffisamment élevées, presque tous les noyaux légers entrent en réaction de fusion et peuvent, en principe, servir de combustible dans une centrale thermonucléaire. Toutefois, les difficultés techniques augmentent rapidement avec la charge nucléaire

M. Flakus et M. Cleveland sont des cadres de la Division de la sûreté nucléaire et de la Division de l'énergie d'origine nucléaire, respectivement, du Département de l'énergie et de la sûreté nucléaires de l'AIEA; M. Dolan est chef de la Section de la physique de la Division des sciences physiques et chimiques de l'AIEA.



des isotopes en réaction. C'est pourquoi, dans la pratique, seuls le deutérium, le tritium et les isotopes de l'hélium, du lithium et du bore sont envisagés.

La première génération de réacteurs à fusion utilisera très probablement le deutérium-tritium (DT) comme combustible, le plus facile à «allumer». Le principal produit de la réaction DT, l'hélium 4, ne comporte pas de risque pour la santé, et son principal produit énergétique est un neutron de 14 MeV. Pratiquement toutes les matières sont plus ou moins activées par un bombardement de neutrons de haute énergie. Dans un réacteur DT, les neutrons produiront inévitablement des radio-isotopes. Les principales matières radioactives seront donc le tritium et les matériaux de structure entourant le volume utile, activés par les neutrons.

**Considérations de sûreté.** Les études spéciales de la sûreté d'un réacteur à fusion, qui viennent compléter maintes autres études de sûreté, concernent la protection contre le tritium, celle contre les produits d'activation, l'évaluation des rejets de tritium, l'élimination des déchets radioactifs, et l'analyse des accidents éventuels et de leurs conséquences.

Le dégagement de tritium pendant le fonctionnement du réacteur doit être maintenu dans des limites acceptables; il est modélisé selon des codes informatiques qui tiennent compte de la filtration du tritium à travers les matériaux de l'installation. Les principaux laboratoires de recherche sur cet élément se trouvent en Allemagne, au Canada, aux Etats-Unis, en Fédération de Russie, en Italie et au Japon.

Les produits de l'activation neutronique ne posent pas de sérieux problèmes s'ils sont de courte période et peuvent être confinés. Ce sont des sous-produits qui ne proviennent pas directement de la réaction. Ils apparaissent dans le manteau et dans les structures du réacteur, de sorte que le concepteur peut en réduire la production par des solutions appropriées et un choix judicieux de matériaux. L'emploi de divers matériaux peu activables fait l'objet d'études très poussées.

Une réaction de fusion ne peut pas s'emballer; le problème, c'est de l'entretenir. En principe, toutes les défaillances de matériel provoquent l'arrêt de la fusion; celle-ci comporte de toute manière un frein intrinsèque de par sa nature même et le réacteur ne contient que relativement peu de combustible. En revanche, d'autres accidents potentiels, au niveau des électro-aimants, par exemple, sont étudiés plus spécialement et des «calculs de conséquences» sont effectués. Pour classer les accidents selon les séquences d'événements et estimer leur fréquence, il faut disposer de données spécifiques sur la fiabilité des composants.

Pour faire une étude générale de la sûreté d'un réacteur à fusion, on adopte une approche analogue à celle de la conception des autres grandes installations nucléaires (voir l'encadré, page 25). D'après les résultats des analyses, une centrale thermonucléaire peut répondre aux impératifs de sûreté

souhaitables. L'étude ESECOM compare divers types de réacteurs à fusion du point de vue de la sûreté et de l'économie\*. Les problèmes généraux de sûreté que pose ITER ont été examinés et les résultats préliminaires font l'objet d'un projet de rapport.

Il y a plus de 20 ans que l'on étudie la sûreté d'une centrale thermonucléaire en suivant constamment l'évolution des concepts et des impératifs de sûreté radiologique internationalement agréés.

En 1994, l'Agence a publié une version révisée des *Normes fondamentales internationales de protection contre les rayonnements ionisants et de sûreté des sources de rayonnements*, en collaboration avec cinq organisations internationales: l'Agence pour l'énergie nucléaire de l'Organisation de coopération et de développements économiques (AEN/OCDE), le Bureau international du Travail (BIT), l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), l'Organisation mondiale de la santé (OMS) et l'Organisation panaméricaine de la santé (OPS). Les Normes révisées tiennent compte des nouvelles recommandations de la Commission internationale de protection radiologique (CIPR). Le système de limitation des doses est centré sur le principe de «l'optimisation de la protection» et la fusion semble bien se prêter à l'application de celui-ci. Le meilleur moyen d'assurer l'optimisation consiste à incorporer l'évaluation de la sûreté dès le début de l'étude d'un projet.

Les premières centrales thermonucléaires utiliseront très certainement le cycle du combustible DT. Lorsqu'elles seront construites, des combustibles plus étudiés permettront de réduire les quantités de tritium. Par la suite, elles utiliseront des combustibles au deutérium-hélium 3, par exemple, qui produisent moins de neutrons, donc moins de radioactivité dans les matériaux de structure. Ainsi, le passage au nouveau cycle du combustible fera que la fusion deviendra, avec le temps, encore plus avantageuse du point de vue de la sûreté. Peut-être sera-t-il possible de concevoir des centrales contenant si peu de radionucléides que les plans d'intervention d'urgence seront inutiles.

### Réalisation pratique de la fusion

On compte entre 50 et 100 milliards de dollars d'investissements pour rendre l'énergie de fusion exploitable. Les progrès de la recherche sont conditionnés par le rythme du financement qui, selon les

\* Voir «Report of the Senior Committee on Environmental, Safety, and Economic Aspects of Magnetic Fusion Energy», par J.P. Holdren, D.H. Berwald, R.J. Budnitz, et coll., UCRL-53766 (1989).

estimations, est de l'ordre de 1,5 milliard de dollars par an dans le monde entier.

Il est prévu que ITER commence à fonctionner au DT avec un bon rendement vers 2005-2010, et qu'une centrale de démonstration soit construite et mise en service une vingtaine d'années plus tard. Si les résultats sont bons, autrement dit si l'expérience d'exploitation est suffisante pour justifier le financement d'une centrale industrielle, les premières de ce type entreraient en service vers 2050.

Ce calendrier provisoire varierait dans un sens ou dans l'autre. Il serait retardé si le financement était insuffisant ou si des difficultés imprévues se présentaient au niveau du plasma ou de la technologie. Il serait abrégé en raison d'un bon en avant dans la recherche sur le comportement du plasma (comme le récent succès remporté avec le tokamak exploité en «mode de cisaillement inversé»), d'une amélioration du confinement du plasma ou d'un rythme de financement accéléré.

Un confinement du plasma autre que celui du tokamak est aussi à l'étude pour des réacteurs dont la production d'électricité serait plus économique. Par exemple, de grands stellarators sont en construction en Europe et au Japon. Cela dit, il est certain que les études de sûreté joueront un grand rôle si l'on veut gagner et garder la confiance du public, répondre à ses souhaits et lui faire accepter l'énergie thermonucléaire.

### L'AIEA et la sûreté de la fusion

Encouragée par le Conseil international de la recherche sur la fusion nucléaire (CIRF), l'AIEA mène toute une série d'activités visant à promouvoir la coopération internationale pour développer les avantages de la fusion du point de vue de la sûreté et de l'environnement. Son action consiste à assister le projet ITER, dont l'étude technique est plus qu'à mi-chemin. Les protections seront incorporées dans la conception pour éviter tout rejet mortel de radioisotopes en cas d'accident grave. En 1995, l'Agence a publié le compte rendu d'une discussion sur la sûreté des réacteurs à fusion laser.

Maintes activités de l'Agence concernent les normes de sûreté aux fins de la radioprotection, le transport des matières radioactives et la gestion des déchets radioactifs, les directives pour la manipulation du tritium et la limitation des rejets de radioactivité dans l'environnement.

Depuis 1973, la sûreté de la fusion est un point important du programme de l'Agence, qui a organisé, au cours des 20 dernières années, plusieurs réunions de comité technique pour discuter des progrès accomplis, des besoins en matière de recherche et des plans d'avenir. Une cinquantaine d'experts d'une douzaine d'Etats Membres ont assisté à ces réunions qui ont eu lieu tous les trois ou quatre ans. Les

### Doctrine de sûreté pour la fusion

Cette philosophie se fonde sur les concepts suivants:

- systèmes passifs et caractéristiques de sûreté intrinsèque;
- sûreté intégrée;
- fiabilité (redondance de composants — pompes, vannes, etc.; diversification — par exemple, deux sources différentes d'énergie; indépendance: la défaillance d'un composant ou d'un système ne provoque pas la défaillance d'un système associé; simplicité; et surveillance pour détecter les composants défectueux avant que l'accident ne survienne);
- étude des facteurs humains;
- possibilités de télémaintenance;
- culture de sûreté parmi le personnel;
- assurance de la qualité (codes et normes; vérification et validation; analyse de la sûreté);
- contrôle des opérations (détection des anomalies, rectification automatique);
- systèmes de sûreté pour atténuer les effets des défaillances;
- moyens d'intervention et gestion des accidents, pour préserver l'intégrité du confinement;
- plan d'intervention d'urgence pour réduire les effets des rejets de radioactivité, le cas échéant.

comptes rendus de la dernière réunion de la série, tenue en 1993 à Toronto (Canada), ont été publiés dans le *Journal of Fusion Energy* de juin 1993. La prochaine réunion est prévue pour octobre 1996, au Japon.

### Perspectives et orientations futures

Les réacteurs à fusion promettent un fonctionnement sûr et sans risque pour l'environnement. La sûreté des centrales thermonucléaires, qui n'est encore que sur papier, ne saurait se comparer directement à celle des centrales nucléaires à fission ou des autres sources d'énergie en exploitation. Dans le cas de la fusion, les matières radioactives sont, pour l'essentiel, un sous-produit de l'activation neutronique, d'où la possibilité d'optimiser la protection en choisissant ou en étudiant de nouveaux matériaux, ou en utilisant des combustibles plus évolués.

Pour compter sur les avantages potentiels de la fusion en matière de sûreté et d'écologie, il faut incorporer les caractéristiques techniques de sûreté aux plans des réacteurs à l'étude. C'est ce qui se passe avec ITER qui n'est cependant qu'un réacteur thermonucléaire expérimental et ne devrait pas être considéré comme un prototype.

### Analyse de sûreté pour la fusion

Comme dans l'étude de la sûreté de n'importe quelle grande installation nucléaire, l'analyse des accidents pouvant survenir dans une centrale thermonucléaire comporte plusieurs démarches.

Chaque séquence d'événements peut être représentée par un «arbre d'événements» dont chaque branche est affectée d'une certaine probabilité. Par exemple, si une vanne reçoit l'ordre de se fermer, la probabilité qu'elle ne le fasse pas est finie. S'il s'agit d'une perte de fluide de refroidissement ou d'un arrêt de la circulation, l'augmentation de la température dans la première enceinte et le manteau doit être calculée en fonction du temps, et l'on peut alors estimer dans quelle mesure divers éléments sont mobilisés, à partir d'analyses en laboratoire.

La quantité de radio-isotopes libérés lors d'un accident constitue le «terme source». Si celui-ci est un aérosol d'oxyde, ce qui est parfois le cas, la plupart se fixera sur les surfaces intérieures du bâtiment. Pendant un accident grave avec endommagement du confinement, une partie de l'aérosol risque de s'échapper dans l'atmosphère. Des codes informatiques très raffinés sont utilisés pour modéliser les phénomènes suivants:

- propagation des neutrons et des photons gamma dans la première enceinte, le manteau et le bouclier;
- production de radio-isotopes par absorption de neutrons;
- augmentation de la température due à la chaleur résiduelle et aux réactions chimiques au cours de l'accident;
- libération de radio-isotopes pendant l'accident;
- transport des aérosols à l'intérieur de l'enceinte de confinement (libérés par la réaction);
- transport des particules et des gaz libérés vers les limites du site;
- dose de rayonnement à «l'individu le plus exposé» à la limite du site.

A mesure qu'elles avancent, les études de sûreté demandent davantage de travaux interdisciplinaires. A longue échéance, on peut compter que la sûreté des centrales thermonucléaires sera renforcée grâce aux progrès de conception. Dans l'avant-propos d'une étude faite il y a 20 ans, M. C.M. Braams, président du CIRF, écrivait ce qui suit:

*« ... bien que les possibilités d'exploiter les mérites écologiques de la fusion soient bonnes, il est clair que les réacteurs à fusion, s'ils deviennent réalité, auront un impact sur l'environnement — et comporteront des risques d'irradiation — dont l'importance dépendra des progrès de la recherche, des matériaux qui seront disponibles et du prix que la société sera prête à payer pour réduire cet impact au minimum».*

Cela est encore vrai aujourd'hui.

### Analyse d'un accident de centrale thermonucléaire

#### I. Examen des risques potentiels

- rayonnement gamma
- rejet courant de tritium
- rejet accidentel de matières radioactives provenant:
  - des structures
  - du fluide de refroidissement
  - des produits de corrosion
  - des poussières
  - du tritium présent dans les parois, le manteau, le fluide de refroidissement, le système à vide, le système d'alimentation en combustible
- matières toxiques (béryllium, vanadium, plomb)
- champs électromagnétiques
- vide
- fluides cryogènes
- gaz asphyxiants (N<sub>2</sub>, He)
- réactions chimiques:
  - métaux liquides avec l'eau, l'air ou le béton
  - surfaces chaudes avec l'eau ou l'air
  - dégagement d'hydrogène et explosion
- haute tension
- organes à mouvement rotatif
- levage de masses pesantes
- objets projetés par des aubes de turbine, des arcs électriques au niveau des bobinages, ou des gaz sous haute pression

#### II. Analyse des sources d'énergie pouvant libérer des matières radioactives

- chaleur résiduelle [910] GJ la première semaine
- réactions chimiques [800] GJ
  - fluide de refroidissement
  - eau/air + composants en contact avec le plasma chaud
- énergie retenue dans le fluide de refroidissement 300 GJ
- énergie retenue dans le bobinage de l'électro-aimant 120 GJ
- pleine puissance de la réaction de fusion 1,5 GJ/seconde
- énergie magnétique du plasma 1,3 GJ
- énergie thermique du plasma 1,2 GJ
- énergie thermique du caisson faible
- vide faible

#### III. Analyse d'accidents possibles

- événements dans le plasma
  - surpuissance de fusion
  - rupture de confinement
  - arrêt retardé
- perte de fluide de refroidissement
- arrêt de circulation
- perte de vide
- panne d'électro-aimant
- perte de fluide cryogène
- panne du circuit tritium
- panne de systèmes auxiliaires

# Gestion des déchets radioactifs: examens par des homologues internationaux

*L'AIEA offre un service d'évaluation et d'examen technique  
des programmes nationaux de gestion des déchets*

par Ernst  
Warnecke et  
Arnold Bonne

Les examens par des homologues internationaux sont aujourd'hui le fleuron des services de l'AIEA concernant la sûreté. Dans le domaine de la gestion des déchets radioactifs, les pays s'y intéressent de plus en plus car ils y voient un moyen efficace d'évaluation technique objective et d'information en retour.

Le programme d'évaluation et d'examen technique de la gestion des déchets (WATRP), inspiré de programmes consultatifs antérieurs, a été lancé en 1989. Les experts participants sont là pour donner des avis et des conseils sur les programmes de gestion des déchets radioactifs envisagés ou en cours, sur la planification, l'exploitation ou le déclassement d'installations de traitement de déchets, ou sur les questions de législation, d'organisation et de réglementation. Il peut s'agir de concepts ou d'installations de conditionnement, de stockage et d'évacuation des déchets, ou encore des aspects techniques et autres des programmes de recherche et développement prévus ou en cours. Les missions sont en mesure de contribuer à l'amélioration des systèmes et des plans de gestion des déchets, et d'amener le public à oublier sa méfiance, cela dans le cadre de l'action menée par l'Agence pour assurer une gestion sûre des déchets radioactifs.

Après un bref rappel des récentes missions au titre du programme, nous exposerons l'essentiel de la procédure d'examen (*voir l'encadré*).

## Récents examens par des homologues

**Norvège.** En décembre 1994, le Service norvégien de radioprotection a demandé que l'on examine

M. Warnecke est membre de la Section de la sûreté radiologique, Division de la sûreté nucléaire du Département de l'énergie et de la sûreté nucléaires, et M. Bonne est chef par intérim de la Section des matières nucléaires et de la technologie du cycle du combustible, Division du cycle du combustible nucléaire et de la gestion des déchets, du même Département de l'AIEA.

son projet de création d'une installation de stockage/ évacuation de déchets de faible et moyenne activité. Le but principal de la mission était d'examiner la méthode de choix du site sous l'angle de la sûreté, ainsi que la conception technique et la sûreté à long terme de l'installation.

Après avoir étudié la documentation pertinente reçue en juin et juillet 1995, une équipe de cinq experts — un Allemand, un Américain, un Canadien, un Français et un Suisse — formée pour cette mission a préparé un questionnaire à l'intention des experts norvégiens en prévision d'une réunion commune qui s'est tenue la dernière semaine de septembre 1995. Elle a ensuite rédigé son rapport final et l'a présenté au Service norvégien de radioprotection.

Les experts ont conclu que la législation et la procédure d'homologation applicables au projet étaient conformes aux normes internationales. Les critères utilisés pour le choix du site étaient exhaustifs et ne négligeaient pas les facteurs importants pour la protection de l'environnement et la sûreté à long terme.

L'équipe a jugé que le moment était venu d'arrêter le plan définitif de l'installation et d'en mettre au point les détails, en précisant qu'il fallait envisager la conversion ultérieure de la zone de stockage en dépôt pour les déchets contenant du plutonium, ou l'enlèvement de ces derniers.

**République slovaque.** En décembre 1993, le Service de réglementation nucléaire de la République slovaque a demandé que soit examiné le dépôt de Mochovce réservé aux déchets de faible et moyenne activité de courte période. L'examen s'est donc limité aux parties du rapport de sûreté pré-opérationnel relatives à l'évaluation de la sûreté de l'installation. L'équipe s'est fondée sur la documentation présentée, sur ses entretiens avec les experts slovaques et leurs consultants, et sur l'évaluation des rapports archivés sur la conception et la construction de l'installation.

Cinq experts — un Allemand, un Canadien, un Espagnol, un Finlandais et un Français — constituaient l'équipe qui s'est réunie en mai 1994 à la

# RADIOGRAPHIE DE LA COOPERATION TECHNIQUE

Agence internationale de l'énergie atomique



Février 1996 vol. 1, n° 2

## SOMMAIRE

Le Sri Lanka voit loin . . . . .	1
Bon appétit! . . . . .	1
La médecine infantile . . . . .	2
Technétium en gelée . . . . .	4
L'atome et la santé . . . . .	4
Contre le cancer . . . . .	6
En bref . . . . .	7
Les pionniers de la coopération . .	8
Modernisation du matériel . . . . .	8

## Le Sri Lanka voit plus loin que l'œil

A Colombo, capitale du Sri Lanka, on met la dernière main à une grande installation d'irradiation et de conservation de divers tissus humains à usage médical, pour l'île et toute la région. Un irradiateur de 10 000 curies fabriqué aux Etats-Unis et financé par la Coopération technique de l'AIEA est maintenant en place et la banque de tissus fonctionne déjà.

Tout a commencé il y a près de 20 ans lorsqu'un homme, le docteur Hudson Silva, se mit à conserver dans son réfrigérateur des yeux donnés par ses patients pour rendre la vue aux aveugles.

L'organisation non gouvernementale qu'il a créée, la Sri Lanka Eye Donation Society ou banque des yeux, est déclarée œuvre de bienfaisance par le gouvernement. Au Sri Lanka, plus de 10 000 personnes ont recouvré la vue et plus de 30 000 cornées ont déjà été expédiées dans le monde à des ophtalmologues de 60 pays, à titre gratuit. En échange, les établissements bénéficiaires ont envoyé des dons en espèces qui ont permis à la banque de prospérer, laquelle a créé 325 antennes dans tout le pays, servies par 15 000 volontaires.

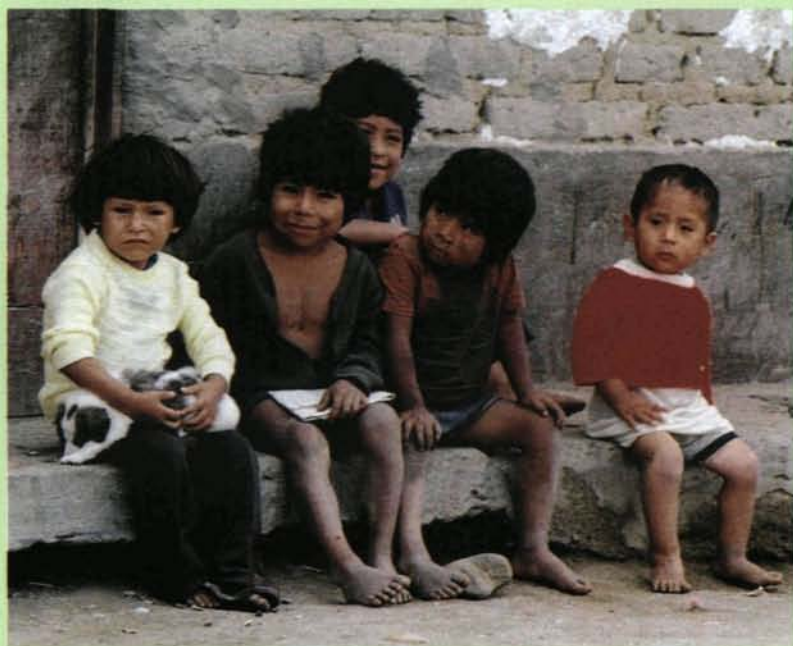
suite page 5

## Bon appétit!

Au Pérou, le district d'Acobamba situé sur l'altiplano rocaillieux à quelque 350 kilomètres à l'est de Lima, la capitale, a été choisi pour une opération peu commune qui s'est déroulée pendant l'été et l'automne derniers sans toutefois perturber le cours de la vie quotidienne. Il s'agissait d'une étude nutritionnelle sur un groupe de 300 élèves de quatre écoles primaires, âgés de 6 à 11 ans.

Cette opération est le premier volet d'un projet modèle mis en œuvre en juillet 1995 et qui doit apporter 700 000 dollars à un programme de 15 millions de dollars lancé par le gouvernement: 524 000 petits déjeuners sont offerts chaque jour à des enfants pauvres et le président Alberto Fujimori a promis de porter ce chiffre à 3 millions en 1996.

suite page 3



Les études de nutrition sont une des mesures prises au Pérou pour améliorer la santé des enfants. (Photo: C. Fjeld, AIEA)

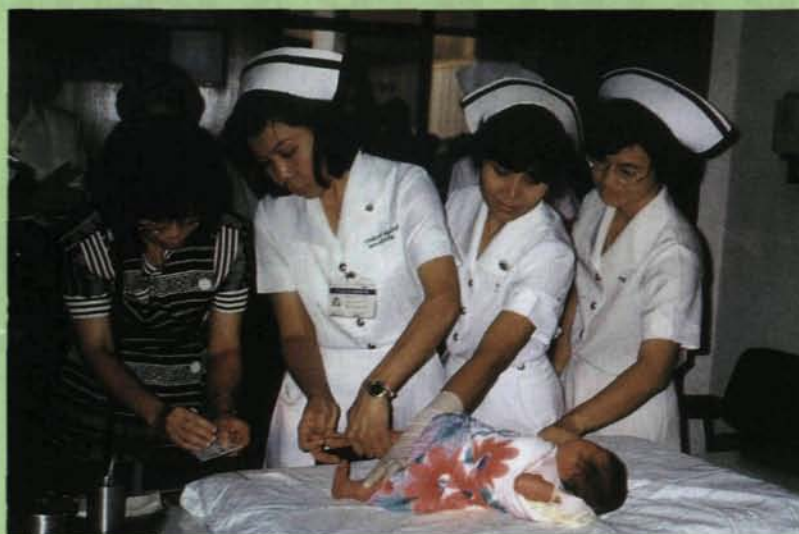
# La médecine nucléaire infantile

Les affections congénitales peuvent être mortelles pour les nouveau-nés ou causer aux survivants des infirmités permanentes. L'hypothyroïdie néonatale, par exemple, est souvent due à une carence d'iode chez la mère, ce qui n'est pas rare parmi les populations mal nourries. Dans certains cas, les terres cultivées appauvries en iode naturel en sont la cause principale. Cette affection est rarement mortelle, mais le sort réservé à la victime et à sa famille risque d'être pire que la mort si la croissance physique et mentale de l'enfant est sérieusement retardée.

Fort heureusement, si le diagnostic intervient dans les quelques jours après la naissance, un traitement hormonal suppléatif permet à l'enfant de mener une vie active presque normale. La technique nucléaire dite radio-immunoanalyse (RIA) est une méthode simple, sûre, relativement peu onéreuse aujourd'hui et d'un emploi très courant grâce à laquelle nombre d'affections sont détectées avant l'apparition des symptômes habituels.

La Coopération technique a facilité la diffusion de cette technologie dans maints pays en développement. Le thème de la RIA a ses variations car chaque maladie exige ses réactifs et sa technique de diagnostic. Deux parmi les plus récents projets modèles visent l'hypothyroïdie néonatale en Tunisie et en Uruguay. Dans les deux cas, les critères fondamentaux sont respectés: les projets sont accordés avec la politique nationale; ils s'adaptent bien au programme de santé publique du pays; ils ne peuvent manquer d'atteindre l'enfant et sont assurés de l'appui formel de l'Etat.

Les deux pays ont éliminé les obstacles juridiques et administratifs qui risqueraient de nuire au projet: la Tunisie par des directives prises au niveau ministériel et l'Uruguay par une loi exigeant le dépistage de l'hypothyroïdie chez les nouveau-nés. Ils sont au courant de la pratique de la RIA grâce à des programmes antérieurs de l'Agence et du RCA (voir page 8), et disposent de l'infrastructure nécessaire pour le dépistage, l'analyse des échantillons et la prescription des traitements. La forte incidence de l'hypothyroïdie néonatale (un cas pour 1 000 naissances



*En Asie, pour détecter l'insuffisance thyroïdienne cause d'arriération, la prise de sang se fait au talon le nouveau-né.*

vivantes en Tunisie et un pour 3 500 en Uruguay) justifie amplement la dépense.

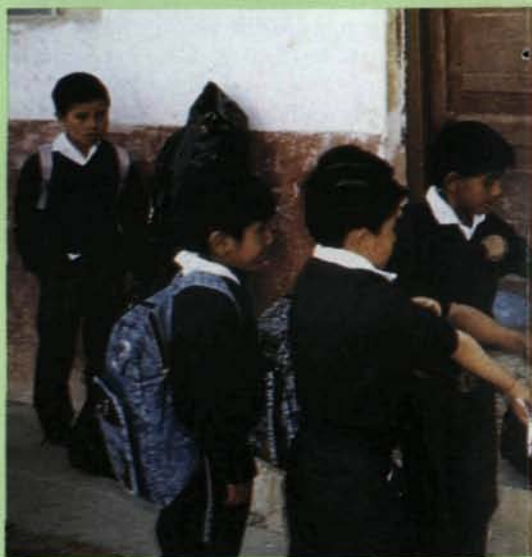
En Tunisie, dans les premiers mois du projet, un cas s'est présenté (et est actuellement traité) parmi les 1 500 nouveau-nés examinés. Si l'on considère une espérance de vie active de 30 ans et un revenu par habitant de 2 000 dollars par an, la contribution de cet enfant à l'économie tunisienne sera de 60 000 dollars, soit presque autant que l'investissement total dans les premiers neuf mois du projet.

L'Uruguay a entrepris il y a quelques années une campagne de dépistage beaucoup moins intense qui n'a relevé que sept cas parmi les 21 500 nouveau-nés examinés entre 1990 et 1994. Sans traitement, ces enfants seraient devenus mentalement et physiquement handicapés, potentiellement improductifs, et à la charge de leur famille et de l'Etat. Or, avec une incidence estimée de 1/3 500, une vaste campagne de dépistage a été entreprise avec l'aide de l'Agence et en collaboration avec plus de 60 hôpitaux et cliniques. Quelque 33 000 nouveau-nés (60 % de l'effectif total) ont été examinés en 1994. En extrapolant, 18 cas seront relevés chaque année. Un traitement immédiat permettra à ces enfants de mener une vie normale et productive. La modeste contribution de 150 000 dollars versée par l'AIEA se traduirait par un gain économique de 1,4 million de dollars pour l'Uruguay (dans l'hypothèse

d'une espérance de vie active de 30 ans et d'un PNB par habitant de 2 560 dollars).

Aucune substance radioactive n'est administrée aux nouveau-nés avec la RIA. Les réactifs utilisés provoquent des réactions chimiques dans les spécimens de sang, lesquelles révèlent si le bébé est porteur de la maladie recherchée. Le plus désagréable, c'est la piqûre dans le talon pour prélever quelques gouttes de sang, mais c'est pour la bonne cause et un jour viendra peut-être où le petit patient vieux de quatre jours en saura gré.

*Ces écoliers péruviens montrent fièrement le bras où l'on vient de leur faire une prise de sang.*



Le projet ne se bornera pas à mesurer l'apport nutritionnel de ce modeste festin, car on espère qu'il contribuera à des stratégies d'intervention parmi d'autres populations sous-alimentées des pays en développement.

La faim existe partout dans nombre de ces pays. Des programmes d'alimentation complémentaire s'adressent à maintes populations qui en souffrent, et bénéficient souvent d'une aide bilatérale et internationale. Ces campagnes apaisent peut-être la faim mais ne garantissent pas toujours un apport nutritionnel convenable. La **faim latente**, dont parle l'Organisation mondiale de la santé (OMS), touche tout particulièrement les groupes sensibles que sont les mères allaitantes, les nouveau-nés et les enfants.

Les diététiciens connaissent parfaitement les effets des insuffisances alimentaires sur la santé et les médecins prescrivent de plus en plus souvent des **régimes alimentaires pour traiter** certains de leurs patients, mais le problème se complique lorsqu'il s'agit de nourrir des collectivités entières ou des groupes cibles comme les femmes en âge de procréer ou les jeunes enfants, ceux du Pérou par exemple, qui bénéficient du petit déjeuner scolaire. Certes, les aliments sont enrichis en vitamines et en protéines, mais on ne sait jamais au juste si ces suppléments assurent une alimentation équilibrée.

Le projet vise essentiellement à déterminer à l'aide de méthodes isotopiques si la qualité des aliments répond aux critères nutritionnels.



Par exemple, l'OMS ainsi que la plupart des diététiciens recommandent de consommer des légumes pour combattre les carences de vitamine A, cause la plus commune de cécité infantile. Or, trop souvent, l'apport d'un complément de vitamine A ne donne pas les résultats escomptés. Cela est probablement dû au manque de matières grasses dans les aliments ou à un défaut de conversion de la provitamine en vitamine A. La carence de cette dernière non seulement provoque une cécité précoce, mais aussi affaiblit le système immunitaire et retarde la croissance et le développement mental.

Le projet a pour but de préciser quels composants (les matières grasses en quantité suffisante et les meilleures sources de provitamine A) optimiseront la conversion de la provitamine. Les isotopes serviront également à mesurer la teneur de l'organisme entier en vitamine A. Les collectivités locales préparent et distribuent les suppléments aux enfants, et 87 % en moyenne des parents concernés participent à la surveillance et à l'échantillonnage.

On a décidé de recourir aux méthodes isotopiques car aucun autre moyen ne permet d'obtenir des résultats aussi rapides et aussi sûrs. L'opération comporte la mesure de l'eau totale du corps et de la composition de celui-ci, afin de déterminer son état nutritionnel et le nutriment avec lequel intervenir, ainsi que celle de la consommation totale d'énergie par jour en vue de planifier l'absorption des calories nécessaires et de savoir si une intervention augmentera l'énergie productive. Ces mesures pourraient être faites avec des moyens classiques dans un hôpital bien équipé, mais cela est impossible au niveau des collectivités rurales de l'altiplano péruvien.

La mesure de l'apport de protéines à l'organisme et de son rythme permet de composer le régime alimentaire qui a le meilleur rendement de croissance, c'est-à-dire le rythme auquel les protéines absorbées se transforment en tissus. La méthode isotopique peut être appliquée sans perturber la vie quotidienne du sujet. Les méthodes classiques obligent celui-ci à demeurer pendant des jours dans des locaux spéciaux, à souffler dans

des ballons, etc., sont coûteuses, et exigent éventuellement des compétences spéciales et du temps. Elles permettent évidemment de suivre la croissance à long terme des enfants, mais c'est un long processus et les résultats peuvent être faussés par divers facteurs sans rapport avec le supplément alimentaire.

Les mesures faites à Acobamba portent également sur le fer, le zinc, l'iode, l'acide folique et l'état immunitaire. Deux des quatre groupes d'élèves bénéficient du petit déjeuner du programme national, tandis que les deux autres servent de témoins et n'y auront droit que dans les prochains six mois.

Le projet sera étendu à d'autres régions du Pérou et durera quatre ans. Des données fiables, recueillies sur place, permettront d'améliorer à l'avenir les compléments alimentaires enrichis. Cette information aidera les gouvernements, les institutions de bienfaisance et l'industrie alimentaire du monde entier à mettre sur pied des campagnes efficaces au profit des enfants et autres groupes à risque.

Le projet est déjà coordonné avec un programme OMS d'alimentation enrichie en vitamine A et une campagne d'immunisation au Pérou et au Ghana.

D'autres organisations participent à ces activités. Un expert de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) travaille actuellement avec l'AIEA, à Vienne, sur des projets de nutrition. Des organismes internationaux — le Fonds des Nations Unies pour l'enfance (FISE) et le Fonds des Nations Unies pour les activités en matière de population (FNUAP) — s'intéressent également à ces méthodes isotopiques.

En octobre dernier, l'Agence a accueilli une réunion d'experts chargée de planifier ses activités de recherche et d'évaluation en matière de nutrition pour la prochaine décennie. Les participants, venus des Etats-Unis, des Pays-Bas et de divers organismes de l'ONU, ont donné leur avis sur les moyens de stimuler la contribution de la diététique à la production alimentaire et à l'action des pouvoirs publics.

# Technétium en gelée pour la Chine

Dans le sud-ouest de la Chine, un demi-million de malades en attente pourront se présenter pour un examen scintigraphique dès cette année lorsqu'un générateur de **technétium** (Tc) d'un type tout à fait nouveau sera produit industriellement. Dès 1994, la Coopération technique a envoyé des experts et du matériel pour aider les Chinois à obtenir un produit de qualité.

Le Tc, extrait d'un générateur par un procédé chimique simple, est l'élément le plus utilisé comme indicateur en médecine nucléaire. Son «précurseur» est le molybdène 99 ( $^{99}\text{Mo}$ ), normalement obtenu par fission dans un réacteur nucléaire, dont la puissance doit être au moins de 5 mégawatts pour produire un molybdène très pur et, de ce fait, très cher.

Il faut en effet faire appel à une technique très raffinée pour extraire les six pour cent de  $^{99}\text{Mo}$  de la masse des produits de fission radioactifs qui contient des centaines d'autres éléments, dont le plutonium. Le coût à l'importation de  $^{99}\text{Mo}$  est extrêmement élevé, car ce radio-isotope doit être transporté sous un épais blindage et le traitement de la quantité de déchets de haute activité qui résulte de sa préparation est très délicat et onéreux.

Un procédé plus simple et moins coûteux vient d'être mis au point, qui consiste à irradier du molybdène stable ( $^{98}\text{Mo}$ ) dans un réacteur sous un flux intense de neutrons. Il suffit en somme d'ajouter un neutron à  $^{98}\text{Mo}$  pour obtenir  $^{99}\text{Mo}$ , conservé dans un gel spécial et non dans l'encombrante capsule en plomb que comportent les générateurs classiques. Le Tc, dont la période est très brève, est extrait de ce gel par un procédé analogue à celui qui sert à l'extraire du  $^{99}\text{Mo}$  produit par fission. Cette nouvelle méthode est désormais utilisée dans plus de 100 hôpitaux chinois et les résultats cliniques sont aussi bons qu'avec le Tc obtenu des générateurs à fission.

Les experts chinois et leurs homologues de l'AIEA prévoient qu'il faudra améliorer la technique et la qualité avant de pouvoir produire industriellement des générateurs au gel tout aussi acceptables que ceux à fission.

Plusieurs obstacles sont à éliminer: il faut normaliser la production du gel, réduire la contamination par le  $^{98}\text{Mo}$  et affiner le procédé de fabrication avant de passer à une production en masse. Le projet modèle de trois ans, lancé en 1994, a déjà permis de corriger quatre points faibles et d'améliorer le système de production. L'effort porte actuellement sur l'amélioration de la performance du générateur, et cela de plusieurs façons: comparaison expérimentale de différents procédés; amélioration du matériel et des méthodes de contrôle de la qualité, ainsi que des conditions et de l'environnement du laboratoire; et modification de la conception et de la construction de la chaîne de production en vue d'un meilleur rendement.

Un rapport technique sur les études comparées de la performance des générateurs au gel est en cours de

préparation. Il examinera le comportement du Tc vis-à-vis des molécules sensibles marquées en vue de son utilisation en pratique clinique.

La Chine a affecté des ressources humaines, des installations (dont deux réacteurs de recherche) et plus de 500 000 dollars à ce projet. La Coopération technique, avec un budget d'un peu plus de 300 000 dollars sur trois ans (1994-1996), offre des services d'experts et une formation. Les spécialistes chinois ont visité des centres scientifiques de l'étranger, et deux boursiers ont terminé l'année dernière leur stage en Inde et en Norvège.

## Pourquoi ce projet est-il important?

Parce que la Chine y gagnera beaucoup économiquement et médicalement. Elle importe chaque année 1 800 générateurs obtenus par fission. On prévoit que la demande atteindra

suite page suivante

## L'atome et la santé

Le monde se soucie de la qualité des soins médicaux auxquels peuvent recourir les familles et les amis.

Les examens et traitements médicaux dont le jeune «tigre» de notre photo pourra bénéficier au long de son existence détermineront la qualité de sa vie et peut-être aussi ses possibilités de succès dans l'avenir. Les collectivités et les gouvernements du monde entier s'efforcent d'améliorer les services de santé publique afin d'offrir aux citoyens un avenir plus souriant.



L'AIEA a pour mission d'aider ses Etats Membres à recourir aux techniques nucléaires pour résoudre les problèmes que posent les besoins et les priorités de chaque pays. Ses activités en matière de santé visent en tout premier lieu les traitements curatifs et palliatifs du cancer, le lancement de programmes globaux d'assurance de qualité en dosimétrie des rayonnements, le dépistage des affections de l'enfance, l'évaluation de l'état nutritionnel, ainsi que la planification et l'évaluation de campagnes de nutrition adaptées aux besoins de la femme et de l'enfant. Elles englobent de nombreuses disciplines et techniques nucléaires médicales — radio-immunoanalyse, radiothérapie (en particulier, téléthérapie et curiethérapie), production radiopharmaceutique, nutrition humaine, stérilisation d'organes et de peau pour greffes, et instrumentation médicale.



10 000 à la fin du siècle et le projet a pour objectif immédiat de répondre à la demande de générateurs dans le sud-ouest du pays, de sorte qu'il servira d'abord la population de cette région — 500 000 personnes de plus chaque année pourront se faire faire des scintigraphies du squelette, du foie et autres organes — et améliorera la productivité et la rentabilité des services de santé. Il est également important en ce qu'il pourrait avoir un impact analogue dans maints autres pays en développement grâce à cette nouvelle source de Tc plus simple et moins chère.

Lorsque le procédé sera bien au point en Chine, le pays pourra réduire progressivement ses importations de générateurs obtenus par fission. Il sera possible alors de transférer la technologie à d'autres pays en développement dont les malades sont encore privés de ce moyen idéal de diagnostic. Ce transfert pourrait relever de la coopération technique entre pays en développement, activité prévue dans le cadre de l'Accord régional de coopération conclu sous les auspices de l'Agence (voir en dernière page).

**Le Sri Lanka voit loin: suite de la page 1**

Vu cet exploit, et le fait que les banques de tissus ont désormais démontré leur viabilité, la Coopération technique n'a pas hésité à aider le Sri Lanka à créer un nouveau centre sur un terrain situé dans une zone résidentielle de Colombo et offert par le Ministère de la santé. L'Agence versera environ 375 000 dollars sur quatre ans (1995-1998) et, en plus de l'apport du gouvernement, la banque des yeux et certaines œuvres charitables locales feront une donation de près de 150 000 dollars.

L'oblation de son corps est inhérente à la tradition religieuse du Sri Lanka, de sorte que la banque des yeux n'a jamais manqué de cornées. L'exploitation de l'amnios a commencé l'été dernier et, depuis lors, au moins une douzaine de corps ont été offerts pour le prélèvement de tissus et d'os longs.

L'amnios est la membrane interne du placenta qui contient le fœtus. C'est un tégument opaque et très fin extrêmement riche en hormones, générale-



*Ces deux jeunes Libanaises semblent très heureuses d'avoir recouvré la vue grâce à la banque des yeux du Sri Lanka.*

ment éliminé après l'accouchement. Les sociétés pharmaceutiques le récupèrent dans les maternités pour en extraire les hormones. Il est aussi couramment utilisé pour soigner des blessures et des brûlures au deuxième degré, et maintes autres applications médicales sont à l'étude (voir page 8).

La banque de tissus de Colombo a commencé à livrer des amnios aux hôpitaux publics et privés. Elle en prépare et irradie sous double emballage environ 350 par mois alors que les besoins locaux courants sont estimés à 200, le reste étant exporté selon les besoins. Elle envisage également de traiter et de conserver des tissus épidermiques et osseux ainsi que des méninges, du tissu intramusculaire, des valvules cardiaques, et des greffons artériels et cardio-vasculaires.

En plus du matériel, la Coopération technique enverra des experts chargés d'installer un service complet d'assurance de la qualité pour veiller à ce que les opérations respectent les normes internationales les plus strictes, et de former des cadres, afin que les activités puissent continuer lorsque le projet prendra fin. Elle a déjà attribué cinq bourses de perfectionnement en Allemagne, en Inde, au Japon et au Royaume-Uni, ainsi que des voyages d'étude à l'étranger.

La banque disposera certainement de stocks de tissus supérieurs aux besoins du pays et, tout comme la banque des yeux, pourra faire des livraisons gratuites à l'étranger. Dans

nombre de pays, les coutumes religieuses et culturelles s'opposent au don d'organes de sorte qu'il existe une demande permanente de tissus humains dans la région Asie et Pacifique et au-delà.

La banque est un projet modèle et doit se conformer aux critères rigoureux de viabilité écologique et économique et avoir un meilleur rendement que les solutions habituelles. Elle doit aussi répondre aux besoins prioritaires du pays et pouvoir compter sur l'aide des autorités nationales ou locales ou des collectivités. Au fil des ans, l'Agence a assisté plusieurs banques de tissus de taille modeste, mais la banque des yeux du Sri Lanka a fait ses preuves et dispose d'un réseau international qui permet à la nouvelle installation de stérilisation de greffons humains de servir efficacement le pays et l'étranger.

Le projet est d'un intérêt social et économique primordial en ce qu'il multipliera les greffes de tissus au profit des victimes d'accidents, de maladies et de défauts congénitaux. Le principal bénéficiaire sera le secteur à très faible revenu de la population qui n'a pratiquement pas accès aujourd'hui à ce genre de traitement. Actuellement, le Sri Lanka importe des greffons à raison de 200 000 dollars par an, en moyenne. C'est autant que le pays aura l'avantage de pouvoir économiser, sans compter le précieux service rendu aux bénéficiaires étrangers des dons de greffons.

# Contre le cancer dans le monde en développement

L'AIEA participe directement à la campagne anticancéreuse parce que la radiothérapie — bien souvent le plus efficace des traitements — exige des matières radioactives et une formation. Elle est le seul organisme des Nations Unies compétent pour transférer cette technologie et veiller à son application sûre et efficace. La coopération technique en radiothérapie, modeste au début parce qu'il fallait d'abord mettre en place les infrastructures nationales, s'est rapidement accrue au cours des dix dernières années, passant de moins de dix projets à près de 50 aujourd'hui.

Certains pays en développement, notamment d'Afrique, restent dépourvus de services de radiothérapie, essentiellement parce que le matériel, la formation et l'infrastructure coûtent cher, ou encore parce que les installations sont périmées et les compétences ont disparu.

La Mongolie et le Ghana sont des exemples de ces deux situations. La Coopération technique a élaboré des projets modèles pour aider à résoudre les grands problèmes qui se posent.

L'assistance comporte: le transfert de la technologie par des experts, la livraison de matériel et de fournitures, et une formation grâce à des voyages d'étude et des bourses à l'étranger ainsi qu'à des ateliers et stages pratiques dans le pays. Dans tous les cas, la formation d'un personnel autochtone fait l'objet d'un effort spécial, afin que l'activité se maintienne lorsque le projet prend fin. Aussi les gouvernements doivent-ils s'engager résolument à atteindre les objectifs des projets modèles.

La **Mongolie** dispose depuis longtemps de services de radiothérapie du cancer, mais les installations ont été mal entretenues ces dernières années; il faut les remettre en état et recycler le personnel.

En août 1995, un appareil de téléthérapie, fabriqué en Chine et équipé d'une nouvelle source au cobalt 60, a été mis en service à Ulan Bator. Il a été fourni par la Coopération technique pour remplacer un appareil devenu inutilisable. Une partie du personnel est recyclé sur place par des experts de pays voisins plus avancés,



*Un comité national présidé par la Première Dame du Ghana, Mme Nana Konadu Agyeman-Rawlings, surveillera les progrès du centre de radiothérapie. (Photo: P. Pavlicek/AIEA)*

tandis que les radiothérapeutes, radioprotectionnistes et autres spécialistes indispensables bénéficient de bourses de la Coopération technique, la plupart pour la Chine, l'Inde et la Thaïlande, afin de se mettre au courant des modalités les plus modernes de traitement du cancer.

La formation dans une optique régionale est une des règles de la Coopération technique. Elle est nettement plus économique et l'expérience acquise chez des voisins est souvent plus utile. Les rapports sur le plan régional sont plus personnels et plus durables, ce qui est très important, et des relations directes avec des centres voisins aident beaucoup les pays bénéficiaires à maintenir les projets sur leur lancée quand l'AIEA ne s'en occupe plus.

Lorsque le projet viendra à terme, en 1998, une douzaine de boursiers auront été formés, les qualifications du personnel se seront améliorées et le matériel sera, pour l'essentiel, réparé ou remplacé. Se fondant sur ce programme, le gouvernement envisage de créer un second service de radiothérapie, cette fois sans aide de l'Agence.

Au **Ghana**, le projet modèle d'équipement radiothérapeutique obéit aux vœux de la Coopération technique et vise à faire profiter les pays voisins de ses avantages. Il faut dire que la situa-

tion est très différente de celle de la Mongolie. Au Ghana et dans la plupart des pays voisins, il n'existe aucun service de radiothérapie et la possibilité de traiter le cancer par la chirurgie et la chimiothérapie est d'autant plus restreinte qu'il n'y a pas de spécialistes en oncologie.

Le Ghana est résolu à remédier à cette situation en mettant à profit ses compétences en matière de techniques nucléaires, méthodiquement acquises grâce à l'aide que lui prodigue l'AIEA depuis des années. Il dispose d'une bonne infrastructure médicale et de deux écoles de médecine avec hôpitaux associés, à Accra et à Kumasi. Le projet est basé sur ces deux villes et vise à assurer des services de curiethérapie et de téléthérapie pour les cancéreux du Ghana et des pays voisins.

Volet important du projet, la formation de personnel ghanéen et régional. Jusqu'à présent, il n'existe pas dans la région, ni même au Nigeria, de centre de formation de personnel médical en radiothérapie ou en oncologie clinique. La formation de Ghanéens pour gérer de tels centres a déjà commencé. Radiothérapeutes, radiologues, radioprotectionnistes et autre personnel médical et infirmier recevront cette formation en Afrique du Sud, en Chine, en Inde et au Royaume-Uni.

### Croisière de la Caspienne

Le navire océanographique *Alif Gadgiev*, de l'Azerbaïdjan, affrété par la Coopération technique, a pris la mer pour la première fois en septembre 1994. En croisière scientifique de formation et de recherche entre le 12 et le 27 septembre dernier, il est revenu avec des échantillons dont l'analyse promet de révéler pourquoi le niveau de cette mer fermée s'est élevé de façon spectaculaire au cours des 15 dernières années.

L'expédition avait trois missions principales: donner une formation de base à l'emploi de techniques isotopiques dans l'environnement pour l'étude du cycle hydrique; mesurer les concentrations actuelles des isotopes naturels et artificiels, ainsi que les paramètres physiques et chimiques de la mer Caspienne; et créer un nouvel espace de coopération entre les pays riverains pour résoudre la crise écologique de la région.

Des échantillons d'eau ont été prélevés à diverses profondeurs en 13 points de la mer Caspienne. Leur analyse devrait contribuer utilement au projet international intégré, coordonné par le Programme des Nations Unies pour l'environnement, visant à étudier et à atténuer les effets de la montée des eaux.

### Opération tsé-tsé

La bataille n'est pas encore gagnée mais le projet modèle qui vise à débarrasser l'île de Zanzibar de la mouche tsé-tsé, fléau pour l'homme et l'animal, a bien avancé récemment. L'effectif de la colonie de femelles pondueuses de l'Institut de recherche sur la mouche tsé-tsé et la trypanosomiase de Tanga (Tanzanie) est actuellement d'environ 340 000, alors qu'il n'atteignait même pas 23 000 en 1994; cet établissement se place maintenant parmi les principaux centres d'élevage en masse du monde.

En moyenne, 40 000 insectes radio-stérilisés sont lâchés par semaine; le chiffre s'élèvera bientôt à 50 000, mais la population naturelle a déjà bien diminué.

Aussi le rapport entre mâles stériles et mâles naturels augmente-t-il de façon exponentielle; il atteignait



Les échantillons d'eau de mer renseignent sur des points essentiels.

(Photo: AIEA-LEM)

200:1 en novembre 1995. Le taux de stérilité induite chez les femelles de la population naturelle est de 60 %, ce qui confirme la compétitivité des mâles stérilisés et laisse prévoir de bons résultats pour 1997, lorsque la campagne s'achèvera.

### Sûreté d'abord

La Coopération technique a remanié ses deux projets modèles jumelés pour garantir de hauts niveaux de radioprotection ainsi qu'une gestion correcte des déchets radioactifs dans tous les Etats Membres de l'AIEA. Cette initiative renforcera l'intervention de l'Agence dans ces deux domaines.

Les évaluations faites au cours des 12 derniers mois ont montré que la stratégie précédente consistant à mettre en œuvre les deux projets de façon progressive dans cinq à six pays chaque année ne permettrait pas d'atteindre suffisamment tôt les objectifs fixés. La nouvelle stratégie vise à mettre en place des infrastructures suffisantes de radioprotection et de gestion des déchets radioactifs dans tous les pays bénéficiaires d'une assistance technique, et cela de préférence avant l'an 2000.

Sous leur nouvelle forme, les deux projets ont pour but de rationaliser et d'unifier les activités diverses et disparates menées dans ces deux domaines. Entre autres avantages, il en résulterait un ensemble unique de données communes, géré par un seul

groupe de responsables des infrastructures. L'effort de coopération technique deviendrait plus cohérent et assurerait une gestion plus efficace, plus opérante et plus rentable. Un élément essentiel de cette nouvelle approche est la coopération et l'assistance réciproque entre pays en développement, Etats Membres de l'AIEA dans les régions Afrique, Europe, Asie de l'Est et Pacifique, Amérique latine et Asie de l'Ouest.

### La Coopération technique et cybermonde

En septembre dernier, la Coopération technique a inséré sa page d'accueil dans INTERNET, le réseau mondial d'informatique. Sont inclus des descriptions complètes des projets du programme de coopération technique pour 1995/1996, ainsi que la première édition de l'encart Radiographie de la coopération technique, avec renvois aux articles du *Bulletin de l'AIEA* concernant la coopération technique. Cela donne un plus large accès à l'information que les documents imprimés et se traduira par une réduction sensible des frais postaux. Le Département envisage cette année de développer considérablement ses services d'information en ligne et permettra un accès limité à ses bases de données.

Pour consulter la page d'accueil sur INTERNET, utiliser l'adresse suivante: <http://www.iaea.or.at:80/programs/tc/index.htm>.

# Les pionniers de la coopération régionale

Il y a plus de 30 ans, l'AIEA, l'Inde et les Philippines ont conclu un accord tripartite pour exploiter en commun une machine à diffraction neutronique aux Philippines. D'autres applications de techniques nucléaires ont suivi. Ce fut un succès, d'où la question: pourquoi ne pas créer une structure pour promouvoir la collaboration multilatérale?

C'est ainsi que le premier **Accord régional de coopération (RCA)** a été conclu, en 1972, entre l'Agence et huit pays de la région Asie et Pacifique. Aujourd'hui, 17 pays sont parties au RCA et ce genre de collaboration, une première aux Nations Unies, a fait école dans deux autres régions: d'abord en Amérique latine (ARCAL), puis en Afrique (AFRA), en 1990. L'Asie de l'Ouest envisage un arrangement analogue.

L'AIEA joue un rôle très particulier dans ce contexte, car elle est essentiellement un **partenaire** dans le cadre de projets qui parcourent toute la gamme des applications nucléaires dans des domaines aussi divers que l'agriculture, l'industrie, l'énergie, l'hydrologie et la santé, mais elle n'est généralement pas **partie** aux accords. Bien que la Coopération technique verse des fonds pour lancer et soutenir les projets et que l'Agence canalise des ressources complémentaires, tous les projets sont la **propriété** des pays associés et sont gérés par eux.

La preuve en est que ces pays versent leurs contributions, non seulement «en nature», sous forme de personnel, de matériel, de services et autres, mais aussi en monnaie sonnante et trébuchante. Plus d'un tiers du financement des activités est assuré par les membres, le reste se partageant également entre les donateurs et la Coopération technique. Cette formule de coopération technique entre pays en développement est toujours inscrite dans les RCA, ce qui permet aux pays industriels de la région d'assister les moins développés dans des domaines déterminés.

Par exemple, la Thaïlande met son irradiateur gammatron à la disposition de la région aux fins de démonstration et de formation. La Chine et le Pakistan fournissent des réactifs pour la RIA des hormones thyroïdiennes,

gratuitement ou à bas prix. En Amérique latine, la tendance est à la collaboration bilatérale. Une liaison s'est établie, dans le domaine de la radioprotection, entre le Mexique et le Guatemala, l'Argentine et le Costa Rica, le Chili et la Bolivie, le Brésil et l'Equateur, et, dans le domaine de la RIA, entre l'Argentine et le Guatemala.

Les RCA se caractérisent par leur synergie: les activités de chaque pays sont stimulées et, au niveau de la région, leur ensemble est supérieur à la somme des composantes nationales. L'expérience et le succès des banques de tissus de taille modeste créées dans les Etats Membres parties au RCA ont encouragé ces activités dans la région Asie et Pacifique, et mené au projet modèle (extérieur au RCA) visant la création d'une banque de tissus à Colombo (voir page 1). Dans ce cas particulier, le RCA a

permis de regrouper les expériences nationales. Un manuel de vulgarisation intitulé **Tissue Banking: A Distance Learning Package** va bientôt paraître et servira dans d'autres régions à développer cette contribution chaque jour plus importante pour la chirurgie.

Logiquement, l'étape suivante doit être la coopération interrégionale et des dispositions dans ce sens ont déjà été prises. Des représentants des RCA se sont réunis en 1994 au siège de l'AIEA, à Vienne, pour discuter de mesures visant à atteindre et faire participer les bénéficiaires des projets que sont le personnel médical et les services de santé publics et privés, et pour étudier comment échanger l'acquis technique entre régions. Aussi la Coopération technique a-t-elle lancé l'année dernière un projet interrégional en vue de faciliter cet échange.

## Modernisation du matériel

Des projets régionaux de l'AIEA sont parfois incorporés à des accords de coopération régionale.

C'est actuellement le cas d'ARCAL qui se charge de gérer les activités de l'Agence visant à moderniser l'instrumentation médicale de la région. Les caméras gamma de nombreux centres médicaux d'Amérique latine devraient être renouvelées. Une étude faite en 1994 a révélé, en effet, que 261 des 723 caméras utilisées pour le diagnostic ne répondaient plus aux normes en vigueur.

Un projet modèle de coopération technique a été lancé l'année dernière pour moderniser les caméras défectueuses des hôpitaux publics. Il prévoit la démonstration et le transfert de la technologie de l'AIEA fondée sur l'ordinateur personnel, les cartes d'interface et les logiciels pour unité mobile de traitement de l'image, à l'intention d'établissements de contrepartie qui se chargeront de la rénovation. Cette initiative laisse dans l'ombre les deux

tiers des instruments défectueux. Les membres d'ARCAL — 16 participants au projet modèle — peuvent néanmoins recourir à la nouvelle technologie pour moderniser les 170 caméras restantes.



Les coûts sont modestes. Un appareil de 20 ans, inutilisé depuis huit ans, a été remis en service en Argentine moyennant 3 000 dollars.

Le financement du projet est néanmoins limité et il faudrait que des gouvernements ou des cliniques privées de la région et de l'extérieur versent des fonds complémentaires. Pour ARCAL, il s'agit donc de trouver des fonds et de répartir le personnel technique régional nécessaire, afin de terminer le travail.

**RADIOGRAPHIE** de la coopération technique est un produit de Maximedia pour l'AIEA. Les articles de cette série peuvent être librement utilisés. Pour tous renseignements, s'adresser à la Section de coordination des programmes, Département de la coopération technique, Agence internationale de l'énergie atomique, B.P. 100, A-1400 Vienne, Autriche. Tél: +43 1 2060 26005 Fax: +43 1 2060 29633 CE: foucharp@tcpo1.iaea.or.at

centrale nucléaire de Mochovce avec les experts slovaques; ceux-ci ont fourni des renseignements complémentaires en réponse aux questions de l'équipe et organisé une visite technique du dépôt de déchets radioactifs de la centrale.

La mission a jugé que ce dépôt était bien conçu et relevé les divers composants de l'ensemble du système de gestion des déchets qui importent pour la sûreté. Elle a toutefois noté que l'évaluation de la sûreté des composants du dépôt, et de leur importance relative, était très inégale, si bien qu'une méthode globale et intégrée d'examen de la sûreté a été mise à l'étude. Le fait que le Service de réglementation et l'exploitant du dépôt souhaitent profiter de l'expérience acquise dans d'autres pays a grandement contribué à la réalisation des objectifs de sûreté.

L'équipe a conseillé aux responsables de l'évacuation des déchets à Mochovce d'améliorer encore la sûreté du dépôt. Malgré l'information limitée, des recommandations précises et détaillées ont été formulées dans le rapport d'examen. La mission a étudié le cadre juridique et la stratégie de l'évacuation des déchets, la description et l'inventaire de ces derniers, la conception, les caractéristiques du site et la construction, l'exploitation, la fermeture et la surveillance du dépôt, l'évaluation de la performance pendant les phases opérationnelles et postopératoires, les critères d'acceptation des déchets et les questions spécifiques d'assurance de la qualité.

**République tchèque.** Une mission WATRP, envoyée en République tchèque en réponse à une demande faite en mai 1993 par l'Office d'Etat pour la sûreté nucléaire, s'est spécialement occupée d'un projet de dépôt en couche géologique profonde. L'étude des travaux de recherche et développement, dont l'évaluation est la tâche principale, est financée à parts égales par des compagnies d'électricité tchèque et slovaque et ne porte que sur l'évacuation en couche géologique profonde de déchets de haute activité et de faible et moyenne activité de longue période, mais décrit le programme technique prévu pour l'opération.

Vu le stade peu avancé du projet, la mission s'est bornée à examiner l'approche générale, sans appréciation critique de la méthodologie et des méthodes expérimentales. L'équipe composée de cinq experts — un Allemand, un Américain, un Français, un Suédois et un Suisse — a étudié les documents présentés par la République tchèque, s'est entretenue avec des scientifiques et des ingénieurs tchèques et slovaques, et a visité l'installation de Litomerice-Richard II où sont stockés les déchets radioactifs provenant de divers établissements.

L'équipe a formulé des recommandations sur le cadre juridique et la structure organique de l'évacuation des déchets radioactifs dans le pays, en soulignant la nécessité d'une nette séparation entre l'activité opérationnelle et la fonction de réglementation. Elle a recommandé que les attributions de

### **Demandes de missions consultatives de l'AIEA sur la gestion des déchets, 1978-1995**

**Suède:** 1978, 1979, 1983, 1987. Examen des rapports d'activité de recherche et développement sur le traitement et l'évacuation des déchets de retraitement de haute activité et du combustible épuisé.

**Royaume-Uni:** 1988. Examen du programme NIREX de recherche et développement concernant un dépôt, et plus spécialement des questions relatives à la sûreté après fermeture et à l'évaluation du site.

**République de Corée:** 1991. Examen des critères du choix d'un site pour un dépôt de déchets radioactifs de faible et moyenne activité.

**Finlande:** 1992. Examen de l'ensemble du programme de gestion des déchets nucléaires.

**République tchèque:** 1993. Examen du projet d'évacuation en couche géologique profonde.

**République slovaque:** 1993. Examen du dépôt à faible profondeur de Mochovce.

**Norvège:** 1994. Examen des travaux concernant une installation mixte de stockage et d'évacuation de déchets de faible et moyenne activité.

l'organe de réglementation, du producteur de déchets et de l'exploitant du dépôt soient clairement définies; que soit élaboré un ensemble exhaustif de règles précisant les attributions de chaque partie, et leur limite, dans le programme national d'évacuation de déchets de haute activité; que la répartition des tâches spécifiques de recherche et développement soit déclarée prioritaire et que des modalités précises de financement du programme soient spécifiées.

La mission a souligné qu'il fallait se procurer un maximum de renseignements sur l'expérience acquise au niveau international, en particulier sur la conception des colis de déchets, des dépôts en formation géologique et des installations d'essai souterraines, sur les techniques de remblayage et de fermeture, et sur l'emploi et la validation de codes informatiques pour les évaluations de la sûreté; définir des critères dose/risque adaptés au site choisi en s'inspirant de la pratique internationale et éla-

borer en priorité un programme d'assurance de la qualité, vu son importance dans le cadre de la réglementation. Le rapport final soulignait notamment la nécessité d'un dialogue avec le public au sujet de l'étude et de l'homologation du dépôt. Il a été remis aux autorités tchèques en 1994.

**Finlande.** Sur la demande faite par le Ministère finlandais du commerce et de l'industrie en novembre 1992, une mission a étudié le programme de gestion des déchets nucléaires du pays. Elle s'est surtout intéressée au choix d'un site pour la construction d'une installation d'encapsulation de combustible nucléaire épuisé et d'un dépôt prévu sur le même site, et a examiné les plans et les travaux en cours sur le conditionnement et l'évacuation des déchets de faible et moyenne activité provenant des centrales nucléaires, ainsi que les plans sur le déclassement des réacteurs, lorsque celui-ci deviendra nécessaire.

La mission se composait de quatre experts — un Allemand, un Belge, un Canadien et un Suisse. Au début de l'été de 1993, elle a examiné une volumineuse documentation présentée par l'industrie, le gouvernement et les établissements de recherche de Finlande. En août de la même année, elle s'est réunie à Helsinki avec des représentants de plusieurs organismes finlandais de gestion des déchets radioactifs pour discuter en détail de diverses questions. A cette occasion, elle s'est rendue à Olkiluoto où sont implantés deux des quatre centrales nucléaires ainsi qu'un dépôt de déchets de faible et moyenne activité en exploitation. A l'instar de plusieurs autres pays, la Finlande étudie des sites pour des dépôts en couche géologique profonde et ses travaux sur le dépôt d'Olkiluoto ont été sommairement décrits dans l'*Annuaire de l'AIEA* de 1992\*.

Lorsqu'elle examinait le programme finlandais d'évacuation des déchets de haute activité, l'équipe a été impressionnée par la haute qualité du travail et a recommandé de continuer sur cette voie, en observant que la Finlande est l'auteur de belles réalisations en matière de technologie et de moyens de gestion des déchets radioactifs, bien que son programme énergétique nucléaire soit plus récent que celui de nombreux autres pays.

Les experts ont noté que des scientifiques finlandais participent activement aux travaux de nombreux comités et groupes de travail internationaux, contribuant ainsi à l'étude mondiale d'un problème délicat, tout en acquérant des connaissances utiles pour leur programme national.

La mission a néanmoins recommandé quelques modifications de celui-ci. Elle a estimé, d'une part, qu'il conviendrait de fabriquer des exemplaires en vraie grandeur des conteneurs en acier/cuivre destinés au combustible épuisé et de les mettre à l'épreuve, afin que les problèmes éventuels de fabrication, de chargement, de scellement et de mise en place dans le dépôt puissent être détectés le plus tôt possible, et, d'autre part, que les ressources du Service finlandais de réglementation soient maintenues à leur niveau actuel, et peut-être même augmentées; que soient élaborés un règlement et des guides détaillés sur les critères d'approbation de l'évacuation du combustible épuisé; et que la méthode microbiologique proposée pour le traitement des déchets organiques à la centrale nucléaire de Loviisa soit mise à l'essai au niveau opérationnel, dès que possible, avec une gamme complète de composés organiques.

Quant au rapport préliminaire de sûreté sur le dépôt envisagé, l'équipe a jugé la méthodologie satisfaisante. Elle a noté que certaines données étaient de caractère général, mais que le rapport final serait beaucoup plus spécifique. Pour résumer, elle a pris note des travaux remarquables, en quantité et en qualité, exécutés dans le cadre du programme de caractérisation du site et a vivement recommandé de continuer sur cette lancée\*\*.

---

### Intérêt des examens par des homologues internationaux

L'expérience montre que les problèmes de gestion des déchets radioactifs retiennent beaucoup l'attention, surtout en ce qui concerne la protection de la santé et de l'environnement. Les examens par des homologues internationaux peuvent contribuer utilement à l'effort des divers pays pour obtenir une évaluation objective de leurs plans et programmes.

Le programme WATRP de l'AIEA est un des divers services consultatifs et techniques qui permettent aux pays de tirer profit de l'échange des connaissances internationales dans cet important domaine. Pour l'avenir, l'AIEA s'efforce de promouvoir la coopération internationale pour une gestion sûre et rationnelle des déchets radioactifs, par l'intermédiaire de ses nombreux programmes et services.

---

\* L'*IAEA Yearbook* est publié chaque année par l'Agence; il est en vente à la Division des publications ou chez les dépositaires dans les Etats Membres de l'AIEA. Pour passer commande, voir la rubrique «Nouvelles publications» du *Bulletin de l'AIEA*.

---

\*\* Le rapport de la mission intitulé «Evaluation of the Finnish Nuclear Waste Management Programme, Report of the WATRP Review Team» a été publié par le Ministère finlandais du commerce et de l'industrie dans *Reviews B:181*, Painatuskeskus Oy, Helsinki (1994).

### WATRP: aperçu de la procédure d'examen

WATRP a essentiellement pour objet d'offrir aux Etats Membres de l'AIEA la possibilité de faire examiner indépendamment leur programme de gestion des déchets radioactifs par des homologues internationaux. Les examens sont faits par des équipes d'experts.

La procédure comporte trois volets: a) examen de la documentation technique et autre information relative au programme; b) discussions techniques et échange d'informations avec les experts de l'Etat Membre ou de l'organisation qui a sollicité le service; c) préparation du rapport contenant les conclusions et les recommandations de l'équipe. L'examen est généralement adapté aux besoins du pays, à sa demande, et comporte éventuellement la visite technique de sites. Pour obtenir ce service, l'Etat Membre doit en adresser la demande par écrit à l'AIEA.

Lorsque le demandeur a précisé le domaine de l'examen et les points à étudier, l'AIEA procède au choix et au recrutement des experts internationaux qui feront partie de l'équipe. Ceux-ci interviennent à titre personnel et leurs opinions ne sont pas nécessairement celles de leurs gouvernements respectifs ou de l'Agence. Pour chaque examen, une nouvelle équipe est constituée. Son effectif et ses compétences dépendent du domaine et des questions à étudier. Le plus souvent, elle se compose de cinq experts, mais parfois plus, selon la nature de l'enquête à mener et le détail ou le nombre de questions à étudier. L'Agence désigne un chef d'équipe choisi parmi les experts, qui est chargé de la coordination et de la liaison au sein du groupe, de l'organisation des réunions et de la rédaction du rapport final, ainsi qu'un membre de la Section de la gestion des déchets pour faire partie de l'équipe afin de lui faciliter la tâche et de la conseiller.

Avant sa mission, l'équipe examine la documentation et l'information technique dont elle dispose au sujet du programme de gestion des déchets du pays demandeur. Après l'avoir évalué, elle prépare un questionnaire sur les points à élucider, qui est envoyé aux homologues du pays intéressé avant la première réunion.

Se fondant sur les réponses au questionnaire, la réunion, qui dure en général une semaine, traite les questions en suspens et discute des constatations et des recommandations de l'équipe. Y assistent normalement des représentants du pays ou d'organisations nationales, de sociétés ou d'organismes auteurs de la documentation technique soumise à l'examen ou responsables de travaux de recherche et développement. A l'issue de la réunion, la mission met la dernière main à son rapport final, transmis par l'AIEA à l'organisation nationale dont émanait la demande d'examen. Le rapport est alors la propriété de l'organisation qui peut l'utiliser comme elle l'entend.



Mission WATRP en visite sur le site proposé pour le stockage et l'évacuation de déchets de faible et moyenne activité, à Himdalen (Norvège). De gauche à droite, M. Bell (Etats-Unis), J.-I. Kim (Allemagne), D. Delattre (France), A. Bonne (AIEA), D. Metcalfe (Canada), E. Warnecke (AIEA) et A. Zurkinden (Suisse).

# L'évacuation des déchets radioactifs: principes et normes radiologiques

*Aperçu de l'activité nationale et internationale en vue de formuler des critères pour l'évacuation du combustible épuisé et des déchets de haute activité*

par J.O. Snihs

Les premiers grands dépôts en profondeur pour l'évacuation définitive du combustible épuisé des centrales nucléaires ne seront probablement opérationnels que bien après le début du siècle prochain. Il faudra leur assurer un haut degré de sûreté afin de protéger l'environnement et le public contre les risques radiologiques potentiels.

S'il est vrai que les politiques nationales diffèrent quand il s'agit de classer le combustible épuisé comme déchet ou comme source recyclable de combustible, la sûreté du stockage du combustible épuisé et de l'évacuation des déchets radioactifs a été néanmoins beaucoup étudiée au niveau national et international. Rappelons notamment les critères formulés par les pays nordiques en 1989, ultérieurement révisés et publiés en 1993. Cet article en fait la synthèse dans le contexte des études internationales et nationales sur ces deux questions.

## Principaux documents internationaux et nationaux

**Les documents internationaux.** L'Agence pour l'énergie nucléaire de l'Organisation de coopération et de développement économiques (AEN/OCDE) a publié en 1984 un rapport sur les objectifs de radioprotection à long terme pour l'évacuation des déchets radioactifs, un des premiers documents internationaux traitant des problèmes particuliers de l'évacuation des déchets radioactifs de longue période, notamment de la limitation de la dose individuelle ou du risque, de l'optimisation de la protection et de l'emploi de la dose collective pour les évaluations futures.

En 1985, la Commission internationale de protection radiologique (CIPR) a publié des principes de radioprotection pour l'évacuation des déchets radioactifs solides (Publication 46). Il y est question de la limitation du risque inhérent à une source, des événements probabilistes et des incertitudes pour

l'avenir. Le principe de l'optimisation devrait être appliqué, mais il n'est qu'un des facteurs du choix d'une stratégie et d'une option de gestion et d'évacuation des déchets. Une importance particulière est accordée aux considérations éthiques dans l'appréciation du détriment futur.

Dès 1983, l'AIEA publiait un rapport proposant des critères pour l'évacuation souterraine de déchets radioactifs (Collection Sécurité n° 60), suivi en 1989 des *Principes de sûreté et critères techniques pour le stockage définitif souterrain des déchets de haute activité* (Collection Sécurité n° 99), qui tenaient compte des recommandations et commentaires contenus dans les publications de l'AEN et de la CIPR.

Le programme de l'AIEA sur les Normes de sûreté pour les déchets radioactifs (RADWASS), lancé en 1991, vise à établir un ensemble cohérent et complet de principes et de normes de sûreté pour la gestion des déchets, accompagné des directives nécessaires à leur application. Grâce aux publications RADWASS, les Etats Membres disposeront de toute la série des documents internationalement agréés par consensus, notamment de ceux sur la gestion des déchets, à savoir:

- Principes de la gestion des déchets radioactifs, Collection Sécurité de l'AIEA n° 111-F (1995);
- Mise en place d'un système national de gestion des déchets radioactifs, Collection Sécurité de l'AIEA n° 111-S-1 (1995);
- Choix des sites d'installations d'évacuation en formation géologique, Collection Sécurité de l'AIEA n° 111-G-4.1 (1994); et
- Classification des déchets radioactifs, Collection Sécurité de l'AIEA n° 111-G-1.1 (1994).

L'ensemble des publications RADWASS est actuellement revu afin d'être en harmonie avec le reste de la Collection.

L'AIEA assiste aussi la rédaction d'un projet de convention internationale sur la sûreté des déchets radioactifs. Jusqu'à présent, les résultats sont encourageants et, si le rythme est maintenu, le projet pourrait être prêt vers la fin de 1996.

M. Snihs est directeur général par intérim de l'Institut suédois de radioprotection, à Stockholm.



Les nouvelles recommandations de la CIPR (Publication 60, 1990) ne concernent pas spécialement le problème des déchets radioactifs. Néanmoins, le schéma général de la radioprotection, son optimisation, ainsi que la limitation des doses tiennent compte désormais du concept d'exposition potentielle, c'est-à-dire de la probabilité de subir des expositions, mais sans certitude, lesquelles doivent être maintenues au niveau le plus bas qu'il est raisonnablement possible d'atteindre (ALARA).

L'AEN a publié, en 1991, le compte rendu d'un groupe de travail qu'elle a réuni à Paris sur l'évacuation des déchets de haute activité, la radioprotection et les critères de sûreté. Ce rapport contient une information générale sur la façon dont les problèmes sont abordés aux niveaux national et international et sur les directives et critères existants. Les limites de dose collective ou de risque servent surtout à comparer la conception de divers types de dépôts. Les limites de dose individuelle ou de risque, en tant qu'indicateurs de sûreté, se situent entre 0,1 et 1 mSv par an, soit  $10^{-6}$  à  $10^{-5}$ , respectivement. L'optimisation de la protection est un principe généralement accepté mais son application dépend des possibilités pratiques. Les générations futures devraient être assurées du même degré de sûreté que la génération actuelle. Mais comment prouver le respect des critères de sûreté? La réponse n'est pas si simple, car il faut bien connaître l'ensemble du système d'évacuation. Des pratiques irréprochables d'ingénierie sont nécessaires pendant tout le processus qui doit se fonder sur des modèles validés et les données spécifiques du site, sur des scénarios judicieusement choisis et sur une étude approfondie des incertitudes.

**Les rapports nationaux.** Un gros travail s'est fait aussi au niveau national. Par exemple, le rapport d'une équipe suédo-suisse intitulé *Regulatory Guidance for Radioactive Waste Disposal — An Advisory Document*, publié en 1990 (Rapport technique n° 90 de l'Inspection nucléaire de Suède), expose certains principes et problèmes, notamment en ce qui concerne les incertitudes à longue échéance, et recommande vivement de valider tous les modèles utilisés pour évaluer la performance des dépôts envisagés.

Citons aussi les *Règles fondamentales de sûreté* publiées en France en 1991; le rapport de 1992 du National Radiological Protection Board du Royaume-Uni, intitulé *Radiological Protection Objectives for Land-based Disposal of Solid Radioactive Wastes*, et le règlement de l'Environmental Protection Agency (EPA) des Etats-Unis, intitulé *Environmental Radiation Protection Standards for Management and Disposal of Spent Nuclear Fuel, High-Level and Transuranic Radioactive Waste*, paru dans l'Annuaire fédéral du 20 décembre 1993.

Les règles françaises retiennent ALARA comme principe parmi les critères applicables à un dépôt. Les équivalents de dose individuelle sont limités à

0,25 mSv par an pour les expositions prolongées dues à des événements certains ou fort probables. La stabilité de la barrière géologique doit être démontrée pour une période d'au moins 10 000 ans. Au-delà, les évaluations quantitatives doivent être complétées par des évaluations plus qualitatives. Le concept de risque intervient pour les expositions potentielles.

Le rapport britannique recommande que les générations futures bénéficient d'une protection équivalente à celle d'aujourd'hui. De plus, le risque radiologique encouru par un groupe critique et imputable à un dépôt de déchets déterminé ne doit pas excéder 1/100 000 par an et le principe ALARA doit être appliqué. Toutefois, si le risque individuel encouru par un membre type du groupe critique ne dépasse pas l'objectif nominal de 1/1 000 000 par an, le principe ALARA s'applique alors seulement aux détails de conception de l'installation et non lors de la comparaison de divers sites ou options. Les calculs spécifiques d'un site déterminé relatifs à la biosphère et au comportement humain ne devraient être faits que pour une dizaine de milliers d'années dans l'avenir. Au-delà, on peut utiliser des modèles de référence de la biosphère et du comportement humain compte tenu de l'atténuation des rejets de radionucléides par la géosphère.

Le règlement des Etats-Unis stipule que les systèmes d'évacuation de combustible nucléaire épuisé, des déchets de haute activité et des déchets transuraniens devront être conçus de telle sorte que, 10 000 ans après l'évacuation, un individu présent dans l'environnement accessible ne soit pas exposé à un engagement de dose effective de radionucléides supérieur à 15 mrem en l'absence de perturbation du dépôt.

En vertu de ce règlement, entré en vigueur le 19 janvier 1994, la période de protection a été portée de 1 000 à 10 000 ans, l'EPA ayant précisé que les déchets évacués dans un dépôt demeurent radioactifs pendant des milliers d'années. Les études de cet organisme montrent qu'un dégagement de radioactivité auquel des humains risqueraient d'être exposés ne pourrait se produire que plus d'un millénaire après l'évacuation, vu l'efficacité du confinement assuré par les barrières artificielles.

Le site du mont Yucca à l'étude échappe cependant à ce règlement car l'EPA doit élaborer, en vertu d'une décision du congrès de 1992 et sous la direction de l'Académie nationale des sciences, une norme spéciale pour l'évacuation éventuelle de combustible épuisé et de déchets de haute activité dans le futur dépôt.

**Les critères nordiques.** Parallèlement à ces activités nationales et internationales, les pays nordiques ont formulé, en 1989, des critères qui ont été révisés en 1993 après un examen approfondi par des experts nationaux et internationaux (*Disposal of High Level Waste — Consideration of Some Basic Criteria*, par les autorités de radioprotection et de sûreté nucléaire

du Danemark, de Finlande, d'Islande, de Norvège et de Suède).

Ces critères sont très analogues en de nombreux points à ceux que l'on relève dans d'autres documents nationaux et internationaux. A cela rien de surprenant, car les spécialistes nordiques ont participé aux activités internationales dans ce domaine. Les critères nordiques sont les suivants:

● **Considérations et objectifs généraux**

*Objectif général:* les objectifs de l'évacuation des déchets de haute activité seront la protection de la santé humaine et de l'environnement et la limitation de la charge imposée aux générations futures.

*Premier objectif — Sûreté à long terme:* le risque pour la santé humaine et les effets sur l'environnement résultant de l'évacuation de déchets devront demeurer faibles à tout moment dans l'avenir et ne pas dépasser les limites jugées couramment acceptables. Pour décider si une option d'évacuation est acceptable, il faudra se fonder sur les impacts radiologiques, sans tenir compte des frontières nationales.

*Second objectif — Charge pour les générations futures:* elle sera limitée grâce au choix en temps voulu d'une option sûre qui n'exige pas de contrôles administratifs à long terme ni de mesures correctives pour en garantir la sûreté.

● **Principes de radioprotection**

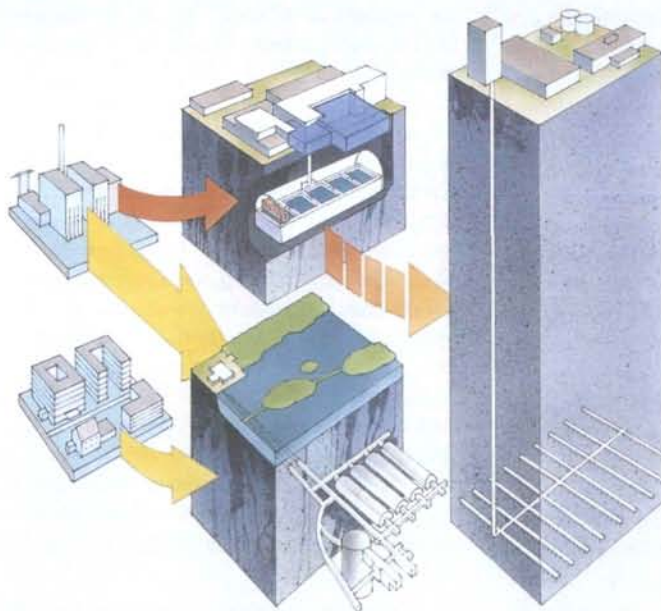
*Premier principe — Optimisation:* le système d'évacuation doit être optimisé. Ce faisant, les doses de rayonnements et les risques radiologiques doivent être comparés et ajustés compte tenu de nombreux autres facteurs qui pourraient influencer sur la solution optimisée.

*Deuxième principe — Protection individuelle:* pendant des périodes raisonnablement prévisibles, les doses individuelles de rayonnements imputables à l'évolution probable du système d'évacuation devront être inférieures à 0,1 mSv par an. En outre, la probabilité et les conséquences de perturbations éventuelles doivent être étudiées, discutées et exprimées qualitativement et, si possible, évaluées quantitativement en rapport avec le risque de mort correspondant à une dose de 0,1 mSv par an.

Etant donné les différences de régimes alimentaires, de formes de vie et de conditions environnementales, la distribution de la dose ou du risque individuels présente toujours une «traînée». Il se peut que celle-ci excède les contraintes respectives mais sa valeur moyenne parmi le groupe critique reste faible. Ce phénomène n'est pas spécifique de l'évacuation des déchets et le fait de l'accepter n'est pas contraire à la pratique actuelle ni au principe de protection individuelle.

En général, les évaluations de doses au-delà de 10 000 ans sont très incertaines. Une évaluation de

**Système suédois d'évacuation du combustible épuisé et des déchets radioactifs**



En Suède, les déchets radioactifs des centrales nucléaires et autres établissements, tels les hôpitaux, sont évacués dans des dépôts spécialement conçus. Les déchets de faible et moyenne activité sont placés dans un dépôt souterrain à 50 m de profondeur. Le combustible épuisé des centrales nucléaires est conservé dans une installation de stockage. Il est prévu de le placer dans un dépôt souterrain qui sera construit à 500 m de profondeur au début du siècle prochain.

caractère relatif peut se faire pour de plus longues périodes en considérant des groupes critiques hypothétiques. Dans ce cas, le résultat devrait être interprété comme un indicateur de la sûreté (mesure relative de la sûreté), et non comme une prévision de doses réelles.

*Troisième principe — Protection à long terme de l'environnement:* les radionucléides qui s'échappent du dépôt ne doivent pas modifier sensiblement la situation radiologique de l'environnement. La moyenne des rejets dans la biosphère de radionucléides évacués doit être faible comparée aux apports respectifs des émetteurs alpha naturels et calculée sur des périodes de  $10^4$  ans ou plus, car il est impossible de préciser quand ces rejets se produiront ou atteindront leurs valeurs de pointe.

Les contraintes à prévoir devraient être telles que les doses individuelles maximales n'excèdent pas les limites fixées et que, dans les cas les plus extrêmes, elles demeurent bien inférieures au seuil des effets déterministes sur la santé. Les concentrations d'activité dans les récepteurs primaires du site d'évacuation doivent être du même ordre que les concentrations caractéristiques des émetteurs alpha naturels de longue période dans un environnement analogue. L'activité libérée par tous les déchets à évacuer dans le monde reste faible comparée aux apports respectifs des émetteurs alpha naturels de longue période.

D'après les calculs, une contrainte appropriée se situerait probablement entre 10 et 100 kBq par an pour les émetteurs alpha de longue période, et entre 100 et 1 000 kBq par an pour les autres nucléides de longue période, par volume de déchets produit par la transformation d'une tonne d'uranium naturel en combustible nucléaire et son utilisation dans un réacteur.

#### ● *Principes d'assurance*

*Premier principe — Evaluations de la sûreté:* le respect des critères de radioprotection applicables à l'ensemble du système d'évacuation doit être prouvé par des évaluations de la sûreté fondées sur un jugement qualitatif et des résultats quantitatifs obtenus avec des modèles validés dans toute la mesure possible.

*Deuxième principe — Assurance de la qualité:* il faut établir un programme d'assurance de la qualité pour les composants du système d'évacuation et pour toutes les activités relatives au choix du site, à la construction, à l'exploitation et à la fermeture du dépôt, afin de se conformer aux bases de conception et à la réglementation pertinente.

*Troisième principe — Barrières multiples:* la sûreté à long terme de l'évacuation des déchets doit être assurée par des barrières passives multiples afin que la défaillance d'une des barrières ne nuise pas sensiblement à la performance générale du système et que les changements géologiques prévisibles aient peu de chance d'endommager gravement les barrières dans leur ensemble.

Les critères nordiques contiennent aussi des recommandations techniques sur la géologie du site, la conception du dépôt, son remblayage et sa fermeture, ainsi que sur l'emballage des déchets.

#### Activités en cours et problèmes

L'étude des critères continue au niveau international grâce au Groupe de travail de l'AIEA sur les principes et les critères de l'évacuation des déchets radioactifs. Composé d'experts, celui-ci examine les questions concernant la dose et le risque, la surveillance après fermeture, les indicateurs de sûreté pour différentes durées, les possibilités d'optimisation et de récupération, ainsi que les garanties dans le contexte de l'évacuation des déchets.

Il faudrait aussi savoir quelles durées justifient le recours à des évaluations des effets écologiques d'un dépôt de déchets de haute activité ou de combustible épuisé. Certains experts font valoir que la sûreté des quelques prochaines générations doit être le principal souci. D'autres estiment que toutes les générations à venir doivent être également protégées. Personnellement, je pense que chaque génération a le droit soit de surveiller elle-même la sûreté, soit d'être assurée par les générations précédentes que le dépôt est sûr. Divers moyens et modèles sont utilisables pour concrétiser la sûreté radiologique d'un dépôt sur de longues périodes. Le premier rapport du Groupe de travail cité plus haut a été publié en 1994 sous le titre *Safety Indicators in Different Time Frames for the Safety Assessment of Underground Radioactive Waste Repositories* (IAEA-TECDOC-767).

En Suède, l'étude de l'évacuation du combustible épuisé continue. La Société suédoise du combustible nucléaire et de la gestion des déchets (SKB) a entrepris d'importants travaux de recherche, notamment sur le choix de sites potentiels et sur leurs caractéristiques géologiques, hydrologiques et autres, dans un laboratoire situé à 500 m sous terre. Des problèmes restent à résoudre en ce qui concerne les méthodes et critères du choix et la planification de toutes les analyses requises par la sûreté radiologique. Il faut aussi voir comment communiquer aux décideurs et au public l'information dont ils ont besoin pour accepter ou non un projet de dépôt dans leur région. Quant à la réglementation, les textes fondés sur les critères nordiques sont actuellement mis au point en vue de leur publication. Des directives seront données sur la façon de faire des évaluations pertinentes de l'impact écologique.

La Suède continue d'étudier les problèmes à résoudre et va de l'avant avec ses plans prévoyant la mise en chantier, vers 2010, d'un dépôt pour l'évacuation définitive de déchets de haute activité et de combustible épuisé, qui serait mis en service une dizaine d'années plus tard.

## Réunions du Conseil des gouverneurs de l'AIEA

Lorsqu'il se réunira en mars 1996, le Conseil des gouverneurs de l'AIEA reprendra l'analyse des propositions visant à renforcer l'efficacité du système des garanties et à améliorer son rendement. Ces propositions s'inscrivent dans le programme de développement des garanties de l'Agence, dénommé «93+2», et certaines de leurs dispositions permettraient à celle-ci d'accéder plus librement à l'information pertinente et aux sites à inspecter.

En 1995, le Conseil a approuvé l'application de certaines mesures (partie 1) et abordé l'étude d'autres mesures, notamment celles prévoyant un complément nécessaire d'autorité (partie 2). A sa réunion de décembre dernier, il a examiné plus en détail les mesures de la partie 2 et félicité l'Agence de ses efforts pour leur donner leur forme définitive, en consultation avec les Etats Membres. Le débat a porté sur le projet de document du Secrétariat qui explique les mesures proposées et précise que l'autorité complémentaire nécessaire pourrait être définie dans un protocole joint aux accords de garanties généralisées en vigueur. S'adressant au Conseil, le Directeur général, M. Hans Blix, a déclaré que l'élaboration des détails des propositions était en très bonne voie, mais que la difficulté résidait dans la conciliation des mesures qui renforceraient les garanties avec les contraintes techniques, juridiques et administratives qui en résulteraient pour les gouvernements.



L'ambassadeur  
Tengbergen,  
président du Conseil  
des gouverneurs

### Composition du Conseil en 1995-1996

Le Conseil des gouverneurs de l'AIEA de 1995-1996 est présidé par S.E. J.Th.H.C. van Ebbenhorst Tengbergen, ambassadeur des Pays-Bas en Autriche et représentant permanent auprès de l'AIEA. Il a été élu en septembre 1995 pour succéder à M. R. Chidambaram (Inde).

Les 35 Etats Membres qui siègent au Conseil pendant cet exercice sont les suivants: Afrique du Sud, Algérie, Allemagne, Arabie saoudite, Argentine, Australie, Belgique, Brésil, Bulgarie, Canada, Chili, Chine, Corée (République de), Danemark, Egypte, Espagne, Etats-Unis, Fédération de Russie, France, Ghana, Inde, Japon, Koweït, Maroc, Mexique, Nicaragua, Nigeria, Pakistan, Pays-Bas, Roumanie, Royaume-Uni de Grande-Bretagne et d'Irlande du Nord, Slovaquie, Thaïlande, Turquie et Uruguay.

M. Blix a également parlé, notamment, de l'application des garanties de l'Agence en République populaire démocratique de Corée (RPDC) qui continue de ne pas respecter son accord de garanties; du rôle possible de l'AIEA dans le cadre du traité d'interdiction complète des essais nucléaires que la Conférence de Genève sur le désarmement est en train de négocier; de l'évaluation de la situation radiologique des atolls de Mururoa et Fangataufa, et de la demande de la France à l'Agence de coordonner ces derniers.

En ce qui concerne la RPDC, le Directeur général a précisé que des progrès avaient été faits au cours des derniers mois, mais que certaines questions restaient à résoudre pour que l'Agence soit en mesure de vérifier l'exactitude de la déclaration initiale de ce pays relative à ses matières nucléaires à soumettre aux garanties. Ces questions demeurent à l'ordre du jour des entretiens techniques prévus avec les autorités nord-coréennes. Préoccupé par la situation, le Conseil a noté avec satisfaction les efforts déployés par l'Agence, en souhaitant que l'accord se fasse sur les questions en suspens.

Quant au traité d'interdiction complète des essais nucléaires, le Directeur général a expliqué que l'Agence, à la demande des délégués à la Conférence de Genève, avait fourni des renseignements, avec une évaluation, au sujet des questions juridiques, financières et d'organisation relatives au rôle éventuel qu'elle pourrait jouer dans la mise en œuvre du traité. Il a précisé que si l'Agence était invitée à intervenir dans le cadre de celui-ci les fonctions techniques qu'elle assumerait devraient être approuvées au préalable par ses organes directeurs.

En ce qui concerne Mururoa, M. Blix a indiqué que l'Agence a fait savoir au Ministère français des affaires étrangères qu'elle était prête, en principe, à coordonner l'étude qui aurait pour objet l'évaluation de la situation radiologique des atolls de Mururoa et Fangataufa, y compris l'impact radiologique éventuel des essais, à long terme. L'étude, a-t-il précisé, pourrait relever d'un comité consultatif international composé d'experts hautement qualifiés, après la fin des essais et la conclusion d'un accord formel avec les autorités françaises.

**Coopération technique.** Après examen du rapport de son comité de l'assistance et de la coopération techniques, le Conseil a accepté les modifications de projets précédemment approuvés pour 1996; il a également examiné certains points relatifs à l'exécution des projets modèles, l'évaluation de la coopération technique et la liste des cours de formation prévus.

Dans son rapport, le comité recommandait que le Conseil approuve les projets prévus pour 1996, d'un montant de 62,5 millions de dollars. Notant avec satisfaction les initiatives de l'Agence pour renforcer le programme de coopération technique en améliorant l'impact des projets sur le dévelop-

pement national, il a souligné qu'il faudrait disposer de ressources suffisantes pour exécuter ce programme et prié instamment les Etats Membres de verser leurs contributions intégralement et en temps voulu.

Une conférence internationale réunira à Vienne, du 8 au 12 avril 1996, plus de 400 délégués gouvernementaux qui devraient procéder à un examen exhaustif des conséquences radiologiques de l'accident de Tchernobyl de 1986.

Cette conférence, dénommée «Dix ans après Tchernobyl: récapitulation des conséquences de l'accident», cherchera à réaliser un consensus international sur les conséquences de l'accident en se fondant notamment sur les conclusions de deux conférences précédentes: la Conférence internationale sur les conséquences pour la santé de l'accident de Tchernobyl et autres accidents radiologiques, réunie à Genève du 20 au 23 novembre dernier par l'Organisation mondiale de la santé (OMS), et la première Conférence internationale sur les conséquences de l'accident de Tchernobyl, qui réunira le Bélarus, la Fédération de Russie, l'Ukraine et l'Union européenne à Minsk du 18 au 23 mars de cette année.

La conférence de Vienne, organisée par l'AIEA, la Commission européenne et l'OMS, en collaboration avec le Département des affaires humanitaires de l'ONU, l'Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture (UNESCO) et le Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE), cherchera

notamment à faire une distinction bien nette entre les faits scientifiques résultant de l'accident et les «mythes» et spéculations; à élucider et à quantifier les effets radiologiques et autres sur la santé; et à examiner les conséquences sociales, économiques et politiques de l'accident.

Les effets de la catastrophe sur la santé et l'environnement ont été amplement étudiés du point de vue scientifique. Toutefois, bien que peu d'événements aient fait l'objet d'une enquête aussi poussée, les avis sont extrêmement partagés quant aux conséquences réelles. La conférence devra établir un terrain d'entente en vue de donner un avis définitif sur la nature et l'ampleur de ces dernières.

**Forum sur la sûreté nucléaire.** Avant la conférence, et en collaboration avec le Département des affaires humanitaires, l'AIEA organisera à Vienne, du 1<sup>er</sup> au 3 avril 1996, un forum sur la sûreté nucléaire qui étudiera les mesures à prendre pour améliorer la sûreté du type de réacteur en service à Tchernobyl (RBMK) et de la structure de confinement, dite le sarcophage. Les conclusions et recommandations du forum seront présentées à la conférence.

### Conférence sur Tchernobyl en avril 1996

En décembre dernier, l'AIEA a inauguré, à Seibersdorf (Autriche), un laboratoire «propre» près de son laboratoire d'analyse pour les garanties (LAG), afin d'augmenter ses moyens de mesure et d'analyse d'échantillons de l'environnement.

Dans ce laboratoire, financé par des contributions extrabudgétaires, les équipes scientifiques analyseront les échantillons de sol, d'eau, de végétaux et autres prélevés par les inspecteurs des garanties de l'Agence au cours de leurs missions. Répondant à des normes extrêmement strictes, l'installation est dotée des compétences et des instruments nécessaires pour détecter dans des échantillons d'infimes quantités de matières

radioactives éventuellement révélatrices d'activités nucléaires.

A la cérémonie ont assisté S.E. l'ambassadeur des Etats-Unis John B. Ritch III; M. Hans Blix, directeur général de l'AIEA; M. Bruno Pellaud, directeur général adjoint chargé des garanties, et M. Pier Roberto Danesi, directeur des laboratoires de l'AIEA à Seibersdorf. Les Etats-Unis ont versé une contribution de plus de un million de dollars pour la construction du laboratoire.

Celui-ci vient renforcer le LAG, créé dans les années 70, qui traite chaque année plus de 1 000 échantillons d'uranium, de plutonium et d'autres matières nucléaires.

### Inauguration d'un laboratoire à Seibersdorf

## Etudes de la pollution radioactive des mers

**A**u retour de récentes expéditions, les scientifiques du Laboratoire de l'environnement marin de Monaco (AIEA-LEM) étudient les effets de la contamination radioactive de la mer de Kara, dans l'Arctique, et des mers de l'Asie de l'Est.

**Mer de Kara.** Une croisière océanographique, baptisée EPOCA 95 (Environmental Pollution and Oceanography in the Arctic Seas), entreprise russo-américano-norvégienne, partit de Hammerfest (Norvège) le 25 août 1995, à bord du navire *H.U. Sverdrup II* de l'établissement norvégien de recherche pour la défense, et revint un mois plus tard, après un périple de 3 000 milles marins dans les eaux de la mer de Kara. C'était la cinquième expédition dans cette région à laquelle participait le LEM dans le cadre du programme international d'évaluation pour les mers Arctiques (IASAP), lancé par l'AIEA en 1992 pour évaluer les risques dus à l'immersion de déchets nucléaires dans les eaux peu profondes de la mer de Kara à proximité de l'ex-Union soviétique.

Des échantillons d'eau et de sédiments ont été prélevés en une quarantaine de points, y compris à proximité de sites d'immersion, par l'ex-Union soviétique, de réacteurs chargés de combustible. Divers instruments ont été utilisés pour déterminer la circulation et les voies probables de transport primaire des polluants. Un expert du LEM en a profité pour appliquer une méthode inédite permettant de déterminer *in situ* le potentiel d'absorption de contaminants radioactifs par les sédiments. Les résultats seront incorporés à des modèles pour

évaluer la dispersion des radionucléides à partir des sites d'immersion.

**Mers d'Extrême-Orient.** Le LEM a également participé à la seconde partie de l'expédition mixte Japon/Corée/Russie à bord du navire océanographique *Ocean* pour examiner les sites d'immersion dans les eaux d'Extrême-Orient. Cette étude approfondie a duré du 12 août au 12 septembre derniers; elle était financée par le Gouvernement du Japon et visait à déterminer le degré de contamination radioactive des zones marines où des déchets radioactifs ont été évacués par l'ex-Union soviétique, la Fédération de Russie, le Japon et la République de Corée. Des échantillons d'eau de mer, de sédiments, de zooplancton et de benthos ont été prélevés. Des mesures spectrométriques préliminaires sur l'eau de mer et les sédiments ont été faites à bord; une intercomparaison des méthodes analytiques utilisées par les pays participants a donné des résultats satisfaisants. Les mesures préliminaires ont montré que les concentrations de césium 137 dans l'eau de mer et les sédiments sont faibles — 24 Bq/m<sup>3</sup> et moins de 10 Bq/kg de poids sec, respectivement — et qu'elles ne diffèrent pas sensiblement des niveaux relevés ailleurs dans le nord-ouest du Pacifique, provenant des retombées mondiales. Des analyses plus fines de tous les échantillons seront faites à terre, et les résultats seront échangés et publiés en 1996. Environ 3,6 tonnes d'eau de mer et 20 kg de sédiments prélevés en 13 points différents ont été envoyés au LEM pour dosage des radionucléides.

## Recherche pour améliorer le traitement du cancer

**D**es spécialistes de dix pays participant à un nouveau programme de recherche coordonnée (PRC) de l'Agence — Afrique du Sud, Allemagne, Autriche, Belgique, Etats-Unis, Fédération de Russie, France, Italie, Japon et Suisse — se sont récemment réunis à l'AIEA pour faire le point des possibilités qu'offre l'évolution de la radiothérapie vers l'amélioration du traitement du cancer. Le traitement par irradiation utilise des faisceaux de particules lourdes chargées — protons et ions lourds — ciblés pour faire échec à la croissance de nombreux types de tumeurs malignes localisées.

Au cours des dix dernières années, le traitement du cancer a fait de grands progrès et l'on peut désormais considérer la guérison comme un objec-

tif réaliste. Néanmoins, le cancer fait encore 5,4 millions de victimes par an et le nombre de cas nouveaux augmente à raison de 3 % par an.

La radiothérapie, parallèlement à la chirurgie, est aujourd'hui l'une des deux modalités de traitement les plus efficaces. Les méthodes habituelles, dans n'importe quelle combinaison, ne parviennent cependant à réduire le cancer que chez la moitié des patients. De plus, la morbidité due aux méthodes actuelles reste un problème clinique sérieux. La principale cause d'échec est que l'on ne réussit pas toujours à inhiber localement la croissance de la tumeur.

Les particules lourdes chargées promettent une amélioration de ce cadre clinique grâce à leurs pro-

priétés physiques et à leurs avantages biologiques favorisant l'inhibition localisée de la croissance de la tumeur tout en réduisant la morbidité due au traitement. Le gain thérapeutique offert au médecin et à son patient est donc supérieur à celui de la radiothérapie classique.

A ce jour, plus de 14 000 cancéreux ont été traités à l'aide de particules lourdes chargées pour des cancers de l'œil, des glandes salivaires, du cerveau, du foie et de la prostate, et les résultats

sont encourageants. L'objet du PRC est de favoriser la collaboration dans l'application radiothérapeutique des particules lourdes chargées, en évaluant les avantages potentiels de celles-ci et en déterminant les mécanismes qui permettent de les obtenir, et d'offrir un point de rencontre d'où l'on puisse examiner et coordonner les différents programmes nationaux sur le plan mondial. Un effort coopératif est essentiel pour éviter des dizaines d'années d'empirisme peu satisfaisant.

Déjà utilisée avec succès pour classer les incidents de réacteurs, l'échelle internationale des événements nucléaires (INES) devrait maintenant s'appliquer aux installations ne comportant pas de réacteur. Cette recommandation a été faite lors d'une réunion au siège de l'AIEA, en octobre dernier, à laquelle ont assisté les représentants des 59 pays qui appliquent INES.

Selon M. Dick Taylor, président de la réunion, INES s'appliquera à pratiquement toutes les installations nucléaires du monde entier. L'élaboration — et l'acceptation — d'une échelle simple est une remarquable réalisation, qui permettra au public et aux médias de saisir l'importance de tout événement peu de temps après qu'il se sera produit.

L'opinion devrait grandement être rassurée, en termes simples et intelligibles, quant à la sûreté des installations nucléaires.

L'application de INES fonctionne techniquement bien et gagne la confiance des médias et du public. Aucun des événements signalés en 1994-1995 ne dépasse le niveau 2 (sur un total de sept).

Les participants à la réunion ont recommandé de faciliter encore l'emploi de INES, de préparer des brochures pour en expliquer l'usage et, même sans apporter de modification, de toujours chercher à simplifier les procédures techniques de classement des événements.

### **Echelle internationale des événements nucléaires**

Un nouveau système est à l'étude pour l'exploitation d'un réseau mondial d'information pour l'évaluation des ressources hydrauliques disponibles et l'étude des conditions climatiques.

La Section de l'hydrologie isotopique de l'AIEA a organisé, du 7 au 10 novembre dernier, une réunion sur le fonctionnement du réseau mondial de mesure des isotopes dans les précipitations (GNIP), à laquelle étaient représentés l'Organisation météorologique mondiale (OMM), l'Organisation mondiale de la santé (OMS), le Programme international concernant la géosphère et la biosphère (PIGB), ainsi que l'Allemagne, l'Autriche, le Canada, le Chili, la Corée (République de), les Etats-Unis, la Fédération de Russie, Israël et le Portugal.

La base de données du réseau contient les teneurs isotopiques (oxygène 18, deutérium et tritium) des précipitations relevées par plus de 500 stations météorologiques du monde entier.

Utilisées depuis longtemps pour les évaluations hydrologiques, ces données se sont également avérées très utiles pour faire la corrélation entre les conditions climatiques actuelles et l'information paléoclimatique, et pour étudier le bilan hydrique des continents. Ces 15 dernières années, le GNIP s'est imposé internationalement comme source essentielle de renseignements pour l'étude de l'évolution mondiale du climat et du cycle de l'eau.

Le but de la réunion était de réorganiser l'exploitation du GNIP, gérée conjointement par l'OMM et l'AIEA depuis plus de 30 ans. Tous les participants ont réaffirmé qu'il fallait continuer d'exploiter les stations AIEA/OMM et les réseaux nationaux de mesure des isotopes dans les précipitations. D'autres organisations ont exprimé le vœu de participer à cette activité, si bien que la réunion a décidé de confier à un comité directeur composé de représentants de ces dernières la tâche de développer le programme.

### **Réseau mondial d'information hydrologique**

Ce comité, dont l'AIEA fait partie, s'occupera de la structure, de l'exploitation, du financement et de la maintenance des réseaux de données, et facilitera la collaboration des organisations intéressées.

Les données sont diffusées sur disquette et par les publications de l'AIEA. Elles sont aussi mondialement accessibles par le service Internet de l'AIEA à l'adresse électronique suivante:  
<http://www.iaea.or.at/programs/ri/gnip>.

## Le Directeur général à l'ONU

Dans son discours du 1er novembre 1995 à la 50ème session de l'Assemblée générale des Nations Unies, à New York, M. Blix a souligné l'importance de l'action internationale en faveur d'un développement sûr et pacifique de l'énergie nucléaire. Il s'est attardé sur les questions de garanties et de vérification, de sûreté nucléaire, de développement du secteur nucléo-énergétique et de coopération technique.

Passant en revue l'évolution du nucléaire dans le monde, il a signalé en particulier la façon dont l'AIEA avait relevé les nouveaux défis en matière de garanties et de vérification. Le renforcement des garanties actuellement à l'étude porte sur plusieurs points essentiels: meilleur accès à l'information relative aux activités nucléaires d'un pays ainsi qu'aux sites et emplacements pertinents; inspections avec bref préavis; et usage maximal de nouvelles techniques pour accroître les capacités de détection.

La vérification par l'AIEA du respect par les Etats de leurs engagements en matière de contrôle de l'armement nucléaire prend de l'importance comme facteur de sûreté et de désarmement nucléaires dans le monde. La vérification des matières nucléaires provenant des programmes militaires des Etats dotés d'armes nucléaires appelle un effort supplémentaire. L'AIEA pourrait assumer de nouvelles fonctions de vérification, notamment dans le cadre du traité d'interdiction complète des essais nucléaires que les Etats souhaiteraient conclure en 1996, et procède déjà à des contrôles à ce titre dans plus de 170 pays où s'appliquent des garanties généralisées.

Quant à son action contre le trafic illicite de matières nucléaires, il faut évidemment redoubler d'efforts et les Etats doivent se soucier davantage de la protection physique de toutes les matières nucléaires, surtout de celles qui peuvent servir à l'armement, qu'elles soient en cours d'utilisation ou de transport, ou entreposées. S'il est vrai que les Etats intéressés sont responsables au premier chef de la lutte contre le trafic illicite, des dispositions sont prises pour mieux coordonner l'action sur le plan international. L'Agence a créé une base de

données sur le trafic pour faciliter l'analyse des faits, et aide les Etats à comptabiliser et contrôler les matières nucléaires, ainsi qu'à appliquer les méthodes et techniques de protection physique.

**Sûreté nucléaire et radioprotection.** Ces questions méritent aussi que l'on s'en occupe davantage. Se fondant sur la longue expérience de l'AIEA dans ce domaine, les Etats ont élaboré des normes de sûreté internationales de caractère obligatoire, en adoptant la Convention sur la sûreté nucléaire qui sera bientôt en vigueur, et en mettant la dernière main à une convention sur la sûreté des déchets radioactifs. Il devient manifeste que la communauté internationale souhaite universellement un très haut niveau de sûreté nucléaire.

**Energie d'origine nucléaire.** Le Directeur général s'est déclaré partisan d'un développement de la production nucléo-électrique, car le monde a un besoin croissant de sources d'énergie à la fois rentables et peu polluantes. Il a mentionné l'activité menée par l'Agence en collaboration avec des organisations intergouvernementales pour évaluer comparativement les avantages et les risques de différentes options de production d'électricité, seule façon de déterminer quelle est la politique énergétique la plus favorable économiquement et écologiquement.

**Assistance technique.** Les applications pacifiques des techniques nucléaires suscitent un vif intérêt, notamment parmi les pays en développement. L'AIEA s'efforce de renforcer son programme de coopération technique afin de donner toute leur importance aux techniques nucléaires et aux projets ciblés qui contribueront à un développement durable, à la production et à la conservation des denrées alimentaires, à la maîtrise des ressources d'eau douce, aux applications industrielles et à l'amélioration de la santé humaine.

*Le texte intégral de la déclaration du Directeur général peut être obtenu auprès de la Division de l'information de l'AIEA ou par le service World Atom de l'AIEA sur Internet, à l'adresse électronique suivante: <http://www.iaea.or.at>.*



L'Assemblée générale des Nations Unies réunie à New York a adopté, le 1er novembre 1995, une résolution qui félicite l'AIEA pour ses vérifications en Iraq et en RPDC, et pour les mesures qu'elle a prises en vue de renforcer son système de garanties.

La Conférence générale a aussi exprimé sa confiance dans l'action de l'AIEA en faveur des applications pacifiques de l'énergie nucléaire; elle a prié tous les Etats de collaborer activement et harmonieusement à l'accomplissement des tâches de l'Agence, et a souligné que le plus haut degré de sûreté doit présider à la conception et à l'exploitation des installations nucléaires afin de réduire au minimum les risques pour la vie, la santé et l'environnement.

L'Assemblée générale ● «Se félicite des mesures et des décisions prises par l'Agence pour maintenir et renforcer l'efficacité et le rendement du système des garanties ... et demande aux Etats de coopérer à l'application des décisions prises par l'Agence à cette fin»; ● «Demande à tous les Etats de ratifier la Convention sur la sûreté nucléaire ou d'y adhérer»; ● «Se félicite des mesures prises par l'Agence pour épauler les efforts visant à prévenir le trafic illicite de matières nucléaires et autres sources de radioactivité».

Au sujet de la RPDC, l'Assemblée générale félicite le Directeur général et le Secrétariat de l'Agence des efforts impartiaux qu'ils déploient

continûment pour faire appliquer l'accord de garanties en vigueur entre l'Agence et la RPDC, et notamment pour surveiller le gel d'installations spécifiées dans la RPDC, comme l'a demandé le Conseil de sécurité; note avec inquiétude que la RPDC continue à ne pas respecter l'accord de garanties et la prie instamment de coopérer pleinement avec l'Agence à l'application de l'accord et de prendre toutes les mesures que l'Agence peut juger nécessaires pour préserver l'intégrité de toutes les informations voulues pour la vérification de l'exactitude et de l'exhaustivité du rapport initial de la RPDC sur le stock de matières nucléaires soumises aux garanties jusqu'à ce que la RPDC se conforme intégralement à son accord de garanties.

Quant à l'Iraq, l'Assemblée générale félicite le Directeur général de l'Agence et ses collaborateurs de la diligence et de l'efficacité dont ils ont fait preuve dans l'application des résolutions du Conseil de sécurité 687 (1991) du 3 avril, 707 (1991) du 15 août et 715 (1991) du 11 octobre; note avec une vive inquiétude que, depuis 1991, l'Iraq a omis, en violation des obligations que lui font les résolutions 687 (1991), 707 (1991) et 715 (1991), de communiquer à l'Agence des informations concernant son programme d'armement nucléaire et souligne que l'Iraq doit coopérer sans réserve avec l'Agence pour assurer l'application complète des résolutions pertinentes du Conseil de sécurité.

**L'Assemblée générale des Nations Unies félicite l'AIEA**

La production durable d'énergie et d'électricité était le thème principal du Colloque international de l'AIEA sur l'électricité, la santé et l'environnement, réuni à Vienne du 16 au 19 octobre 1995. Des experts internationaux se sont penchés sur les moyens d'évaluer comparativement les effets sur la santé et l'environnement de différentes sources d'énergie pour la production d'électricité, et plus particulièrement sur les résultats d'un grand projet interorganisations, dénommé DECADES, concernant les bases de données et les méthodes à utiliser pour ce genre d'évaluation. Les organisateurs de ce colloque étaient, outre l'AIEA, l'Agence pour l'énergie nucléaire de l'Organisation de coopération et de développement économiques (AEN/OCDE), la Banque internationale pour la reconstruction et le développement (BIRD), la Commission économique et sociale pour l'Asie et le Pacifique (CESAP), la Commission européenne, l'Institut international d'analyse appliquée

des systèmes (IIAAS), l'Organisation météorologique mondiale (OMM), l'Organisation des Nations Unies pour le développement industriel (ONUDI), l'Organisation des pays exportateurs de pétrole (OPEP) et le Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE).

Le Directeur général de l'AIEA a ouvert le colloque en soulignant qu'il fallait examiner les options de production d'électricité compte tenu de la demande croissante d'énergie et des préoccupations écologiques. Depuis le «Sommet de la Terre» de 1992, peu de progrès ont été faits dans le monde quant à la réduction des émissions de gaz à effet de serre et le recours aux combustibles fossiles n'a pas été réduit au minimum. L'évaluation rationnelle de toutes les options énergétiques disponibles — sources renouvelables, fossiles et nucléaires — aide les planificateurs et les décideurs du secteur énergétique dans leurs choix. L'énergie d'origine nucléaire en elle-même ne saurait résoudre tous les

**Réunions récemment organisées par l'AIEA**

problèmes que pose un approvisionnement mondial assuré et durable en énergie, mais elle peut, ainsi que les sources renouvelables et les mesures de conservation, jouer un rôle important dans les stratégies correspondantes.

**Garanties et vérification.** Lors d'un séminaire sur la vérification du respect des engagements de non-prolifération et sur le rôle futur des garanties de l'AIEA, réuni les 16 et 17 novembre 1995, le Directeur général a pris part à la discussion d'un large éventail de sujets avec des spécialistes et dirigeants internationaux. Ce séminaire, auquel participaient des cadres supérieurs de l'AIEA, des journalistes invités et des experts de haut niveau venant d'établissements de recherche et d'organismes gouvernementaux, a traité de vérification nucléaire, de garanties, de contrôle des armements, de désarmement, et plus spécialement du renforcement des garanties, du trafic nucléaire, de l'appli-

cation des garanties aux matières provenant des programmes militaires, du contrôle de l'arrêt de la production de matières fissiles, de la vérification dans le cadre du futur traité d'interdiction complète des essais nucléaires, et du respect des engagements de non-prolifération. L'avenir de la vérification au titre des garanties a fait l'objet d'une table ronde à laquelle ont participé M. Harald Mueller, directeur des programmes internationaux, de l'Institut de recherche sur la paix de Francfort (Allemagne); M. Leonard S. Spector, de la Fondation Carnegie pour la paix internationale (Etats-Unis); M. Jasjit Singh, de l'Institut des études et analyses pour la défense (Inde); et M. Shai Feldman, titulaire d'une bourse supérieure de recherche au Centre de la science et des affaires internationales, Université de Harvard, et originaire du Centre Jaffee d'études stratégiques, Université de Tel Aviv (Israël).

## Résolutions de la Conférence générale de l'AIEA

Les Etats Membres réunis du 18 au 22 septembre dernier à l'occasion de la Conférence générale de l'AIEA ont adopté des résolutions dans les principaux domaines du développement nucléaire mondial, dont voici l'essentiel:

**Garanties en RPDC.** La Conférence générale félicite l'AIEA des efforts qu'elle déploie pour contrôler le gel des installations spécifiées en RPDC, comme l'a demandé le Conseil de sécurité de l'ONU, et pour mettre en œuvre l'accord de garanties entre l'AIEA et la RPDC. Invitant cette dernière à se conformer intégralement à l'accord de garanties qu'elle a conclu avec l'AIEA, elle demande instamment à la RPDC de prendre toutes les mesures que l'Agence peut juger nécessaires pour préserver l'intégrité de toutes les informations voulues pour la vérification de l'exactitude et de l'exhaustivité du rapport initial de la RPDC sur le stock de matières nucléaires soumises aux garanties jusqu'à ce que la RPDC se conforme intégralement à son accord de garanties.

**Inspections nucléaires en Iraq.** La résolution condamne l'Iraq pour avoir dissimulé à l'Agence depuis 1991 des informations concernant son programme d'armement nucléaire, en violation des obligations qui lui incombent en vertu de résolutions du Conseil de sécurité, et exige que l'Iraq remette sans plus tarder à l'Agence tout équipement, matière ou élément d'information lié à l'armement nucléaire dont l'existence n'aurait pas encore été révélée, conformément aux résolutions du Conseil de sécurité. Elle souligne que l'Agence continuera à exercer son droit d'enquête plus avant sur tout aspect de la capacité d'armement

nucléaire passée de l'Iraq, notamment en ce qui concerne les nouvelles informations obtenues par l'Agence en août 1995 ainsi que toute autre information pertinente que l'Iraq pourrait encore dissimuler à cette dernière.

**Essais nucléaires.** La Conférence générale exprime sa grave préoccupation devant la reprise et la poursuite des essais nucléaires et demande aux Etats qui ont des programmes d'essais nucléaires actifs de renoncer à effectuer des essais jusqu'à ce qu'un traité d'interdiction complète entre en vigueur. Aux termes de la résolution, elle compte que les négociations sur un traité d'interdiction complète seront achevées et que le traité sera signé en 1996 conformément à ce qui pourrait être spécifié à la cinquantième session de l'Assemblée générale des Nations Unies, et elle prie instamment tous les participants aux négociations de redoubler d'efforts à cette fin.

**Renforcement du système des garanties.** Convaincue que les garanties de l'Agence peuvent promouvoir la confiance entre les Etats et contribuer à renforcer leur sécurité collective, la Conférence générale rappelle les mesures proposées au titre du Programme 93+2 visant à renforcer l'efficacité et à améliorer le rendement du système des garanties. Elle prie le Directeur général, d'une part, de poursuivre la mise au point des mesures envisagées dans ce programme, afin d'aboutir à un système plus efficace et plus rentable qui couvre toutes les matières nucléaires dans toutes les activités nucléaires pacifiques sur le territoire des Etats qui ont conclu un accord de garanties généralisées, et d'élaborer les arrangements pour mettre en

œuvre sans tarder la première partie des mesures proposées, après avoir consulté les Etats; d'autre part, compte tenu des opinions exprimées au Conseil des gouverneurs et à la Conférence générale, et du résultat des consultations individuelles ou collectives avec les Etats Membres, de soumettre au Conseil des gouverneurs, dès que possible, des propositions claires en ce qui concerne la seconde partie des mesures envisagées.

**Application des garanties de l'AIEA au Moyen-Orient.** La Conférence générale prie l'Agence de poursuivre les consultations avec les Etats du Moyen-Orient afin de faciliter l'application rapide de garanties intégrales à toutes les activités nucléaires dans la région, dans la mesure où cela concerne l'établissement de modèles d'accords, en tant qu'étape nécessaire vers la création d'une zone exempte d'armes nucléaires.

**Trafic illégitime.** La Conférence générale accueille avec satisfaction les mesures prises par l'AIEA pour appuyer les efforts visant à prévenir le trafic illégitime de matières nucléaires et invite cette dernière à continuer d'œuvrer conformément aux conclusions du Conseil des gouverneurs.

**Zone exempte d'armes nucléaires en Afrique.** Notant l'adoption en juin 1995 du texte du traité sur une zone exempte d'armes nucléaires en Afrique, la Conférence générale félicite les Etats africains de leurs efforts unis en vue de la création de cette zone et prie l'AIEA de continuer à leur prêter son concours à cet égard.

**Sûreté nucléaire.** La Conférence générale exprime l'espoir que la Convention sur la sûreté nucléaire bénéficiera de l'adhésion la plus large possible, et invite tous les Etats Membres qui ne l'ont pas encore fait à signer la Convention, et les Etats signataires qui ne l'ont pas encore fait à la ratifier, à l'accepter ou à l'approuver, afin qu'elle puisse entrer en vigueur aussi tôt que possible.

**Coopération technique.** La Conférence générale prie l'Agence de poursuivre, en consultation avec les Etats Membres, les efforts visant à renforcer les activités de coopération technique par l'élaboration de programmes efficaces ayant pour buts d'améliorer le potentiel scientifique et technologique des pays en développement dans les domaines des applications pacifiques de l'énergie nucléaire, et de parvenir à un développement durable. Elle précise que ces derniers englobent l'utilisation des méthodes et des techniques nucléaires et la production d'électricité, et qu'il faut considérer l'infrastructure et le niveau technologique des pays intéressés. L'AIEA devra tenir compte de ces vues lorsqu'elle demandera aux Etats Membres de promettre leur part respective

des objectifs du Fonds de coopération technique et d'effectuer en temps utile leurs versements à celui-ci.

**Plan pour produire de l'eau potable économiquement.** La Conférence générale souligne la nécessité de résoudre les problèmes posés par les pénuries d'eau potable dans les Etats Membres et l'importance vitale de la production d'eau potable; elle prie instamment l'AIEA de réunir suffisamment de fonds en sollicitant les organismes internationaux et les pays donateurs potentiels, afin que la seconde phase du programme pertinent puisse être achevée en 1996, et d'accorder au dessalement de l'eau de mer au moyen de l'énergie nucléaire la priorité requise dans ses programmes futurs.

**Hydrologie isotopique et gestion des ressources en eau.** Notant qu'il importe de disposer d'eau potable salubre pour la santé humaine et pour l'utilisation optimale des ressources économiques, la Conférence générale prie l'AIEA de continuer de réunir les ressources propres dont elle dispose et celles des Etats Membres, et de les consacrer à des programmes concrets qui aient un impact visible en améliorant la qualité et la disponibilité de l'eau.

**Budget de l'AIEA pour 1996 et objectif pour le Fonds de coopération technique.** La résolution prévoit des dépenses d'un montant de 219 millions de dollars des Etats-Unis en 1996 (au taux de change de 12,70 schillings autrichiens pour un dollar). La Conférence a approuvé un montant de 64,5 millions de dollars comme objectif pour les contributions volontaires au Fonds de coopération technique en 1996.

**Composition de l'effectif du Secrétariat de l'AIEA.** Deux résolutions: la première prie l'AIEA d'intensifier ses efforts pour accroître, notamment aux postes de responsabilité et de décision, le nombre de fonctionnaires venant de pays en développement et des autres Etats Membres sous-représentés; la seconde, de poursuivre ses efforts pour accroître sensiblement le nombre des femmes, en particulier aux postes de responsabilité et de décision et aux postes scientifiques et techniques, notamment de celles venant de pays en développement et des autres Etats Membres sous-représentés, d'examiner le programme d'action élaboré par la quatrième Conférence mondiale des Nations Unies sur les femmes et d'intégrer, le cas échéant, les éléments de celui-ci dans ses politiques et ses programmes pertinents.

*Le texte intégral des résolutions de la Conférence générale et d'autres documents et déclarations sont mondialement en ligne sur World Atom de l'AIEA sur Internet, à l'adresse électronique suivante: <http://www.iaea.or.at/GC>.*

## **Autriche: Vienne honore M. Blix**

**M.** Hans Blix, directeur général de l'AIEA, a reçu la médaille d'or du mérite de la ville de Vienne, qui lui a été remise le 15 décembre 1995 par M. Hannes Swoboda, conseiller municipal, lors d'une cérémonie à l'Hôtel de Ville.

A cette occasion, M. Blix a remercié les officiels et les citoyens viennois de leur soutien et de leur hospitalité lorsqu'ils invitèrent l'AIEA à s'installer au Grand Hôtel en 1957, pour emménager ensuite au Centre international de Vienne, près du Danube, en 1979. L'Agence fut la première organisation du système des Nations Unies à fixer son siège à Vienne.

## **Iles Marshall: sûreté radiologique**

**A** la demande des îles Marshall, l'AIEA a réuni à Vienne, du 11 au 14 décembre dernier, un groupe consultatif pour étudier la situation radiologique de l'atoll de Bikini, ancien site d'essais nucléaires. Ce groupe, composé d'experts d'Australie, des Etats-Unis, de France, du Japon, de Nouvelle-Zélande, du Royaume-Uni, de Russie, de l'AIEA et de l'OMM, a examiné les études scientifiques faites sur la situation radiologique de l'atoll et discuté des mesures correctives qui permettraient de repeupler l'atoll. Les autochtones, au nombre de 167, ont été évacués en 1946, quand l'atoll est devenu un polygone d'essais nucléaires américains pour le rester jusqu'en 1958. Ils n'y sont pas revenus, craignant la contamination radioactive de leur territoire et de leurs cultures.

Après avoir analysé les études faites aux Etats-Unis et aux îles Marshall sur la situation radiologique de l'atoll, et se fondant sur les Normes fondamentales internationales de protection contre les rayonnements ionisants et de sûreté des sources de rayonnements, le groupe a conclu que les niveaux actuels de dose annuelle — quelque 15 millisieverts pour des aliments produits localement — étaient suffisamment élevés pour justifier des mesures visant à les réduire, avant le retour de la population.

Deux stratégies de radioprotection ont été envisagées. La première consisterait à enlever et à remplacer le sol contaminé, mais le groupe l'a jugée peu souhaitable à cause de ses effets néfastes sur l'environnement et la société; la seconde, pour laquelle des scientifiques américains ont fait de nombreux essais sur le terrain, à épandre du potassium sur les terres, de préférence mélangé à des engrais, pour réduire considérablement l'absorption de césium 137 radioactif par les arbres

fruitiers et autres cultures. Les végétaux absorberaient le potassium de préférence au césium dont la concentration diminuerait alors très rapidement pendant les quatre premières années, puis régulièrement grâce à des applications répétées. Dans le cadre de cette opération, il serait également possible d'enlever la couche superficielle du sol dans les villages et autour des îlots d'habitation, pour la remplacer par du corail broyé, ce qui minimiserait le risque d'exposition des habitants à la contamination radioactive du sol.

Aucune recommandation définitive sur la marche à suivre n'a été faite aux îles Marshall. Le groupe a souligné qu'il fallait veiller à ce que les mesures d'intervention soient convenablement appliquées et que la situation radiologique de l'atoll soit satisfaisante à l'issue de l'opération. Aussi les experts ont-ils suggéré de mettre en œuvre des programmes de surveillance *a posteriori* avec l'assistance technique et matérielle de l'AIEA.

## **Viet Nam et Japon: séminaires d'information nucléaire**

**L**e Viet Nam et le Japon ont récemment accueilli des séminaires de vulgarisation et d'information sur l'énergie nucléaire, dans le cadre d'un programme extrabudgétaire d'information de l'AIEA, financé par le Japon.

Le séminaire du Viet Nam, organisé par l'AIEA et la Commission de l'énergie atomique du Viet Nam, a eu lieu à Hanoi, du 4 au 6 octobre 1995. Les questions traitées concernaient les stratégies nationales de l'énergie, le développement du secteur nucléo-électrique et les applications pacifiques des techniques nucléaires. Outre les experts de l'Agence et du Viet Nam ont participé des spécialistes invités, des journalistes, des officiels et des représentants de l'industrie d'Autriche, de Chine, de Corée (République de), de France et du Japon. Les mémoires présentés portaient sur les stratégies nationales de développement de l'énergie d'origine nucléaire, la sûreté nucléaire et la radioprotection, l'information du public sur l'énergie nucléaire, les applications des techniques nucléaires et les activités de coopération technique.

Le séminaire du Japon, organisé en collaboration avec le Ministère japonais du commerce et de l'industrie et l'Agence de la science et de la technologie du Japon, a eu lieu à Kyoto, du 29 novembre au 1er décembre 1995. Il s'est surtout occupé de la symbiose des installations nucléaires avec les collectivités locales. Des mémoires ont été présentés par des officiels japonais et par des représentants invités d'Allemagne, de Corée (République de), des Pays-Bas, du Royaume-Uni et de Suède.

Des visites techniques ont été faites, dont une au synchrotron Spring-8.

### Inde: une sculpture pour l'AIEA

L'Inde a fait don à l'AIEA d'une sculpture représentant M. Homi Jenegir Bhaba, premier président de la Commission indienne de l'énergie atomique et membre du premier Conseil des gouverneurs de l'AIEA jusqu'à son décès prématuré en 1966. Ce buste de M. Bhaba a été présenté à M. Hans Blix, directeur général de l'AIEA, par M. R. Chidambaram, président de la Commission indienne de l'énergie atomique et président du Conseil des gouverneurs de l'AIEA en 1994-1995, lors d'une cérémonie qui a eu lieu au siège de l'AIEA, à Vienne, le 25 septembre 1995, à laquelle assistait aussi M. Sigvard Eklund, prédécesseur de M. Blix et directeur général honoraire de l'AIEA.

M. Chidambaram a rappelé que les débuts de l'AIEA étaient dus à l'initiative d'un groupe de pionniers du nucléaire qui voyaient dans cette source d'énergie la grande promesse d'un approvisionnement de l'humanité en énergie, même après épuisement de toutes les sources classiques. M. Bhaba était un des leurs. C'est lui qui lança le programme indien en 1944 en créant l'Institut Tata de recherche fondamentale et, peu après, le Centre d'études atomiques de Bombay qui aujourd'hui porte son nom. D'accord avec Jawaharlal Nehru, alors premier ministre de l'Inde, il voyait dans la science et la technologie, et plus spécialement la science et la technologie nucléaires, la seule

perspective de croissance des pays en développement, conviction que partagent aujourd'hui l'AIEA et la communauté internationale.

### Moldova: futur membre de l'AIEA

En décembre dernier, le Conseil des gouverneurs de l'AIEA a accepté la demande d'admission de la Moldova à l'AIEA et recommandé son approbation par la Conférence générale qui se réunira en septembre prochain.

En septembre dernier, la République de Bosnie-Herzégovine est devenue membre de l'AIEA après approbation par la Conférence générale et dépôt, par le pays, des instruments juridiques pertinents. Au début de 1996, l'Agence comptait 123 Etats Membres.

### France: réunion sur l'irradiation des aliments

L'évolution du commerce des denrées alimentaires pourrait être déterminante en matière d'irradiation pour des raisons de salubrité et de santé publique. La question a été étudiée par un groupe de travail réuni à Marseille en novembre 1995, auquel assistaient des délégués gouvernementaux de 23 pays. La réunion était organisée par le Groupe consultatif international sur l'irradiation des denrées alimentaires, organe parrainé par l'AIEA, l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) et l'OMS.



M. Eklund (au centre) et M. Blix applaudissent, tandis que M. Chidambaram présente le buste de M. Bhaba.

Il a été tout particulièrement question des changements résultant des nouveaux accords commerciaux. C'est ainsi que le commerce des denrées agro-alimentaires devrait augmenter sensiblement à la suite de l'adoption, en Uruguay, de l'Accord sur l'application des mesures sanitaires et phytosanitaires et de l'Accord relatif aux obstacles techniques au commerce. Ces mesures tiennent compte des normes internationales, orientations et recommandations pertinentes d'institutions internationales (la Commission du Codex Alimentarius, la Commission internationale pour la protection des végétaux et l'Office international d'épizooties) sur lesquelles l'Organisation mondiale du commerce (OMC) pourrait s'appuyer en cas de litiges éventuels. Les gouvernements qui appliquent des réglementations non conformes pourraient être priés de défendre leur position vis-à-vis de l'OMC. En ce qui concerne l'irradiation des aliments, la Commission du Codex Alimentarius a adopté en 1983 la Norme mondiale pour les aliments irradiés, tandis que des institutions régionales de phytoprotection ont avalisé en 1991, dans le cadre de la Commission internationale pour la protection des végétaux, l'emploi de l'irradiation comme traitement quarantenaire efficace des produits agricoles frais.

Les délégués ont noté qu'une quarantaine de pays avaient déjà accepté l'irradiation pour traiter les aliments et que 28 d'entre eux l'utilisaient à des fins commerciales. En 1994, plus de 40 000 tonnes de denrées et ingrédients alimentaires, notamment d'épices et de condiments déshydratés, soit deux fois plus qu'en 1992, ont été irradiées au lieu d'être fumigées. Du fait de l'interdiction, à l'échelle mondiale, d'ici à l'an 2000 du bromure de méthyle comme fumigant alimentaire en raison de son effet destructeur sur l'ozone, l'irradiation devrait intervenir de plus en plus dans le domaine de la désinsectisation de denrées commercialisées. Aux Etats-Unis, le Département de l'agriculture a annoncé qu'il avait l'intention d'approuver l'emploi généralisé de l'irradiation comme traitement quarantenaire des fruits et légumes frais.

### **Japon: technologies concernant le combustible usé**

Des experts de 11 pays ont participé à la réunion d'un comité technique au Japon sur la manutention et le stockage du combustible usé provenant de centrales nucléaires. La réunion, qui s'est tenue du 23 au 27 octobre 1995 à Tokyo, au Ministère du commerce et de l'industrie, a porté sur les options de stockage et les principes de sélection de techniques de stockage à sec pour les réacteurs VVER

et RBMK, dans le cadre d'un programme extra-budgétaire de l'AIEA sur la sûreté de ces réacteurs, appuyé par le Japon et d'autres pays. Les experts représentaient des organismes nucléaires et des compagnies d'électricité d'Allemagne, de Bulgarie, du Canada, d'Espagne, des Etats-Unis, de Fédération de Russie, de Hongrie, du Japon, de République tchèque, de Slovaquie et d'Ukraine.

Ils ont présenté et examiné, d'un point de vue tant financier que technique, des études de cas portant sur le processus et les principes de sélection de techniques appliquées dans différents pays. Des visites techniques ont ensuite été organisées à l'Institut central de recherche japonais pour l'électricité et à la centrale nucléaire Fukushima-Daiichi de Tokyo.

### **Brésil: radioprotection**

L'Organisation brésilienne d'essais non destructifs (ABENDE) parrainera, du 17 au 20 mars 1996 à São Paulo, en coopération avec le Comité brésilien de l'énergie nucléaire, sa première réunion internationale sur la radioprotection industrielle.

Les discussions de groupe et les exposés techniques porteront sur les progrès réalisés dans ce domaine à l'échelon national et international. Des experts représentant notamment l'Argentine, la France et l'AIEA y présenteront des mémoires. M. Abel González, directeur par intérim de la Division de la sûreté radiologique et de la sûreté des déchets à l'AIEA, fera le point de l'application des Normes fondamentales internationales de protection contre les rayonnements ionisants et de sûreté des sources de rayonnements. Pour plus ample information, s'adresser à ABENDE, Rua Luiz Góes 2341, São Paulo, Brésil 04043-400. Télécopie: 55-11-581-1164.

### **Royaume-Uni: héritage de Becquerel**

Une conférence internationale, qui se tiendra à la Royal Society of Arts à Londres du 29 février au 1er mars 1996, marquera le centenaire de la découverte de la radioactivité par le physicien français Henri Becquerel. Cette conférence est organisée par le National Radiological Protection Board et la British Association for the Advancement of Science.

On examinera à cette occasion la nature et les bienfaits de la radioactivité, l'étendue des connaissances scientifiques dans ce domaine, ainsi que la réglementation et le contrôle des risques liés aux rayonnements. Pour de plus ample information, s'adresser au Becquerel Conference Secretariat, NRPB, Chilton, Didcot, Oxon OX11 0RQ. Télécopie: 01235-822630.

**NOMINATION A L'AIEA.** L'AIEA a annoncé la nomination de M. Victor M. Mourovov (Fédération de Russie) au poste de Directeur général adjoint chargé du Département de l'énergie nucléaire. M. Mourovov, qui est entré en fonction en janvier 1996, succède à M. Boris Semenov.

**L'AIEA CREE UN DEPARTEMENT.** L'AIEA a restructuré son Département de l'énergie et de la sûreté nucléaires. Depuis le 1er janvier 1996, ce dernier est divisé en deux départements distincts, le Département de l'énergie nucléaire et le Département de la sûreté nucléaire. Le Département de l'énergie nucléaire, dirigé par M. Victor Mourovov, comprend la Division de l'énergie d'origine nucléaire, la Division de la documentation scientifique et technique, et la Division du cycle du combustible nucléaire et de la gestion des déchets. Le Département de la sûreté nucléaire, dirigé par M. Morris Rosen, comprend la Division de la sûreté des installations nucléaires et la Division de la sûreté radiologique et de la sûreté des déchets. La restructuration se poursuivra en août 1996, lorsque la Section du cycle du combustible et des matières nucléaires et la Section de la technologie des déchets seront transférées à la Division de l'énergie d'origine nucléaire qui deviendra la Division de l'énergie d'origine nucléaire et du cycle du combustible.

**PRIX ASA.** L'American Statistical Association a décerné à deux fonctionnaires de l'AIEA, David Donahue et Rudolf Fiedler, son prix de la statistique de chimie pour la publication en 1994 de leur article intitulé «Multi-detector Calibration for Mass Spectrometers» dans l'*International Journal of*

*Mass Spectrometry and Ion Processes* (vol. 134). L'article est le fruit d'une collaboration avec Charles Bayne du Laboratoire national d'Oak Ridge, qui a partagé le prix en qualité de coauteur. Les travaux ont été effectués au titre du programme d'appui des Etats-Unis aux garanties de l'AIEA. MM. Donahue et Fiedler travaillent au Laboratoire d'analyse pour les garanties de l'AIEA, à Seibersdorf.

#### BROCHURES D'INFORMATION.

L'AIEA publie des brochures d'information sur des questions relatives aux applications nucléaires et à la coopération internationale: *AIEA et ONU, partenariats pour le développement et la paix* présente une série de rapports succincts sur la coopération nucléaire aux fins du développement durable et du contrôle des matières nucléaires; *Les isotopes dans la gestion de l'eau et de l'environnement* montre comment les techniques nucléaires et apparentées aident les pays à définir, évaluer et optimiser leurs ressources en eau. Ces deux brochures sont également accessibles en ligne par les services *World Atom* de l'AIEA sur Internet, à l'adresse électronique suivante:  
<http://www.iaea.or.at/worldatom>.

#### CONFERENCE SUR

**L'ENERGIE DE FUSION.** La 16ème conférence de l'AIEA sur l'énergie de fusion, précédemment appelée Conférence internationale sur la physique des plasmas et la recherche concernant la fusion nucléaire contrôlée, se tiendra à Montréal (Canada) du 7 au 11 octobre 1996. Elle vise à promouvoir les échanges internationaux de l'information scientifique et technique relative à la recherche sur la fusion, notamment sur sa technologie.



L'Agence internationale de l'énergie atomique  
en ligne

**Bienvenue sur notre réseau <http://www.iaea.or.at>**

L'AIEA sur Internet met à votre disposition toute une gamme de produits pour vous informer et vous documenter: articles du Bulletin de l'AIEA, communiqués de presse, déclarations du Directeur général, listes de projets, dossiers concernant les programmes de l'Agence et le nucléaire, bases de données scientifiques et techniques, comptes rendus et documents de conférences, rapport annuel de l'AIEA, catalogue des publications de l'AIEA, liaisons avec les réseaux nucléaires des Etats Membres de l'Agence et les services Internet du système des Nations Unies. Découvrez *World Atom* et *TecAtom* à notre adresse Internet ci-dessus. Contactez-nous par courrier électronique sur le réseau Internet à l'adresse [iaeo@iaea1.iaea.or.at](mailto:iaeo@iaea1.iaea.or.at). Service en ligne 24 heures sur 24!

# NOUVELLES PUBLICATIONS DE L'AIEA

## Rapports et comptes rendus

**Nuclear Power Option,**  
*Collection Comptes rendus n° 946,*  
ISBN 92-0100395-1,  
2 160 SCH (*schillings autrichiens*)

**Nuclear and Related Techniques  
in Soil-Plant Studies  
on Sustainable Agriculture  
and Environmental Preservation,**  
*Collection Comptes rendus n° 947,*  
ISBN 92-0-100895-3, 2 120 SCH

**Plasma Physics and Controlled  
Nuclear Fusion Research 1994,**  
*Collection Comptes rendus n° 948,*  
Volume 2, ISBN 92-0-10229-6, 280 SCH;  
Volume 4, ISBN 92-0-101895-9, 280 SCH

**Safety and Engineering Aspects  
of Spent Fuel Storage,**  
*Collection Comptes rendus n° 949,*  
ISBN 92-0101695-6, 1 320 SCH

**Treatment of External Hazards  
in Probabilistic Safety Assessment  
for Nuclear Power Plants,**  
*Collection Sécurité n° 50-P-7,*  
ISBN 92-0-104794-0, 240 SCH

**Procedures for Conducting Probabilistic  
Safety Assessments of Nuclear Power  
Plants (Level 2),**  
*Collection Sécurité n° 50-P-8,*  
ISBN 92-0-102195-X, 440 SCH

**Evaluation of Fire Hazard Analyses  
for Nuclear Power Plants,**  
*Collection Sécurité n° 50-P-9,*  
ISBN 92-0-103095-9, 200 SCH

**The Principles  
of Radioactive Waste Management,**  
*Collection Sécurité n° 111-F,*  
ISBN 92-0-103595-0, 160 SCH

**Establishing a National System  
for Radioactive Waste Management,**  
*Collection Sécurité n° 111-S-1,*  
ISBN 92-0-103495-4, 160 SCH

**International Basic Safety Standards  
for Protection against Ionizing Radiation  
and for the Safety of Radiation Sources,**  
*Collection Sécurité n° 115-1,*  
ISBN 92-0-100195-9, 1 160 SCH

## Ouvrages de référence/statistiques

**IAEA Yearbook 1995,**  
ISBN 92-0-101295-0, 500 SCH

**Energy, Electricity and Nuclear Power  
Estimates up to 2015,**  
*Données de référence n° 1, 120 SCH,*  
ISBN 92-0-102694-3 (IAEA-RDS-1/15)

**Nuclear Power Reactors in the World,**  
*Données de référence n° 2, 140 SCH,*  
ISBN 92-0-101795-2 (IAEA-RDS-2/15)

**Nuclear Research Reactors in the World,**  
*Données de référence n° 3, 200 SCH,*  
ISBN 92-0-105394-0 (IAEA-RDS-3/09)

## LIEUX DE VENTE DES PUBLICATIONS DE L'AIEA

On pourra se procurer les ouvrages, rapports et autres publications de l'AIEA en s'adressant aux organismes ci-après ou dans de grandes librairies locales.

### ALLEMAGNE

UNO-Verlag, Vertriebs- und Verlags-GmbH,  
Dag Hammarskjöld-Haus,  
Poppelsdorfer Allee 55, D-53115 Bonn

### AUSTRALIE

Hunter Publications, 58A Gipps Street,  
Collingwood, Victoria 3066

### BELGIQUE

Jean de Lannoy,  
202, Avenue du Roi, B-1060 Bruxelles

### CANADA

UNIPUB, 4611-F Assembly Drive,  
Lanham, MD 20706-4391, Etats-Unis

### CHINE

*Publications de l'AIEA en chinois:*  
China Nuclear Energy Industry Corporation,  
Translation Section, P.O. Box 2103, Beijing

### DANEMARK

Munksgaard International Publishers Ltd.,  
P.O. Box 2148, DK-1016 Copenhagen K

### EGYPTE

The Middle East Observer,  
41 Sherif Street,  
Le Caire

### ESPAGNE

Díaz de Santos, Lagasca 95,  
E-28006 Madrid  
Díaz de Santos, Balmes 417,  
E-08022 Barcelone

### ETATS-UNIS D'AMERIQUE

UNIPUB, 4611-F Assembly Drive,  
Lanham, MD 20706-4391

### FRANCE

Office International de Documentation  
et Librairie, 48, rue Gay-Lussac,  
F-75240 Paris Cedex 05

### HONGRIE

Librotrade Ltd., Book Import,  
P.O. Box 126, H-1656 Budapest

### INDE

Viva Books Private Limited,  
4325/3, Ansari Road,  
Darya Ganj,  
New Delhi-110002

### ISRAEL

YOZMOT Literature Ltd.,  
P.O. Box 56055, IL-61560 Tel Aviv

### ITALIE

Libreria Scientifica  
Dott. Lucio di Biasio «AEIOU»,  
Via Coronelli 6, I-20146 Milan

### JAPON

Maruzen Company Ltd.,  
P.O. Box 5050,  
100-31 Tokyo International

### PAYS-BAS

Martinus Nijhoff International,  
P.O. Box 269, NL-2501 AX La Haye  
Swets and Zeitlinger b.v.,  
P.O. Box 830, NL-2610 SZ Lisse

### POLOGNE

Ars Polona,  
Foreign Trade Enterprise,  
Krakowskie Przedmieście 7,  
PL-00-068 Varsovie

### REPUBLIQUE TCHEQUE

Artia Pegas Press Ltd.,  
Palác Metro, Narodní tř. 25,  
P.O. Box 825, CZ-111 21 Prague 1

### ROYAUME-UNI

HMSO, Publications Centre,  
Agency Section,  
51 Nine Elms Lane, Londres SW8 5DR

### SLOVAQUIE

Alfa Press Publishers,  
Hurbanovo námestie 3,  
SQ-815 89 Bratislava

### SUEDE

Fritzes Customer Service,  
S-106 47 Stockholm

**Sauf pour les Etats-Unis et le Canada,**  
**les commandes et les demandes**  
**de renseignements peuvent aussi être**  
**envoyées directement à l'adresse suivante:**  
Unité de la promotion et de la vente  
des publications

Agence internationale de l'énergie atomique  
Wagramerstrasse 5, B.P. 100,  
A-1400 Vienne, Autriche  
Téléphone: +43 1 2060 (22529, 22530)  
Fac-similé: +43 1 2060 29302  
Courrier électronique:  
SALESPUB@ADPO1.IAEA.OR.AT

## En préparation

### Isotopes in Water Resources Management,

*Compte rendu d'un colloque international,*  
Vienne, mars 1995 (STI/PUB/970)

### Environmental Impact

*of Radioactive Releases,*  
*Compte rendu d'un colloque international,*  
Vienne, mai 1995 (STI/PUB/971)

### Induced Mutations and Molecular

*Techniques for Crop Improvement,*  
*Compte rendu d'un colloque international,*  
Vienne, juin 1995 (STI/PUB/972)

### Tomography in Nuclear Medicine,

*Compte rendu d'un colloque international,*  
Vienne, août 1995

### The Nuclear Fuel Cycle

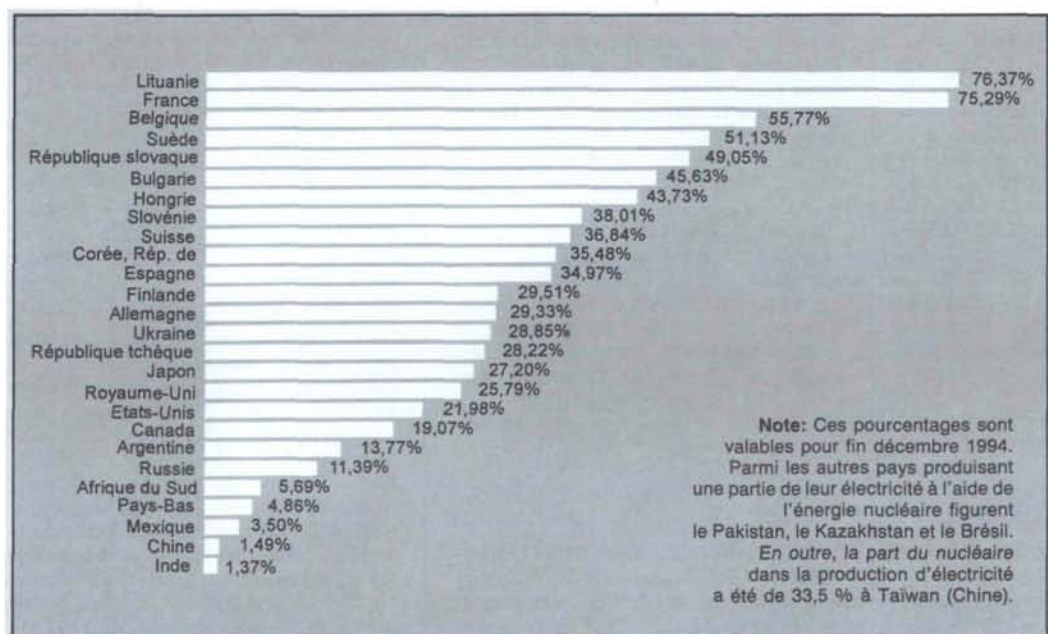
*Information System: A Directory*  
*of Nuclear Fuel Cycle Facilities,*  
*Ouvrage de référence/statistiques*



## Situation de l'énergie nucléaire dans le monde

	En service		En construction	
	Nombre de tranches	Total MWe	Nombre de tranches	Total MWe
Afrique du Sud	2	1 842		
Allemagne	21	22 657		
Argentine	2	935	1	692
Belgique	7	5 527		
Bésil	1	626	1	1 245
Bulgarie	6	3 538		
Canada	22	15 755		
Chine	3	2 100		
Corée, Rép. de	10	8 170	6	4 820
Espagne	9	7 105		
Etats-Unis d'Amérique	109	98 784	1	1 165
Fédération de Russie	29	19 843	4	3 375
Finlande	4	2 310		
France	56	58 493	4	5 810
Hongrie	4	1 729		
Inde	9	1 493	5	1 010
Iran			2	2 148
Japon	49	38 875	5	4 799
Kazakhstan	1	70		
Lituanie	2	2 370		
Mexique	2	1 308		
Pakistan	1	125	1	300
Pays-Bas	2	504		
République slovaque	4	1 632	4	1 552
République tchèque	4	1 648	2	1 824
Roumanie			5	3 250
Royaume-Uni	34	11 720	1	1 188
Slovénie	1	632		
Suède	12	10 002		
Suisse	5	2 985		
Ukraine	15	12 679	6	5 700
<b>TOTAL*</b>	<b>432</b>	<b>340 347</b>	<b>48</b>	<b>38 876</b>

\*Ce total inclut Taiwan (Chine) où six réacteurs d'une puissance totale de 4890 MWe sont en service.



# VACANCES DE POSTES A L'AIEA

**DIRECTEUR (95-069)**, Division des services linguistiques, Département de l'administration. Grade: D-1. Fonctions: assumer la responsabilité des activités de la Division des services linguistiques qui comprend six sections de traduction et les services d'appui. Qualifications requises: diplôme universitaire supérieur ou équivalent, et au moins 15 ans d'une expérience utile pour gérer le service linguistique d'une grande organisation internationale, notamment en matière d'administration et de supervision. Connaissance des principes de gestion des ressources humaines et financières, et capacité à appliquer ces derniers pour répartir les ressources. *Date limite pour la présentation des candidatures: 15 mars 1996.*

**CHEF DE LA SECTION D'INIS (95-070)**, Division de la documentation scientifique et technique, Département de l'énergie nucléaire. Grade P-5. Fonctions: essentiellement la gestion du Système international de documentation nucléaire. Qualifications requises: diplôme universitaire supérieur ou équivalent en sciences de l'information, sciences naturelles, informatique, mathématique, ou dans une discipline apparentée; au moins 15 ans d'expérience dont cinq au minimum dans le domaine de la documentation et de l'information; bonne connaissance des grands systèmes de documentation bibliographique automatisés et de la gestion technique et administrative. *Date limite pour la présentation des candidatures: 15 mars 1996.*

**PEDOLOGUE/PHYTONUTRITIONNISTE (96-004)**, Section de la fertilité des sols, de l'irrigation et de la production agricole, Division mixte FAO/AIEA des techniques nucléaires dans l'alimentation et l'agriculture. Grade P-3. Fonctions: en particulier, coordonner les activités des participants aux programmes de recherche coordonnée de l'AIEA et fournir un appui technique pour les projets de coopération technique. Qualifications requises: doctorat ou diplôme équivalent en pédologie ou en phytonutrition; au moins six ans d'expérience de la recherche impliquant l'emploi des isotopes et des techniques nucléaires pour l'étude de la physiologie des plantes. *Date limite pour la présentation des candidatures: 24 avril 1996.*

**CHERCHEUR (96-002)**, Laboratoire de l'environnement marin, Monaco. Grade P-3. Fonctions: en particulier, planifier et réaliser des études sur la mise au point et sur l'utili-

sation des techniques de spectrométrie ICP pour les analyses de radionucléides et multi-élémentaires.

Qualifications requises: expérience pratique du fonctionnement et de la maintenance de spectromètres ICP; expérience élémentaire de l'étude de la radioactivité marine ou des éléments à l'état de trace; aptitude à travailler dans des équipes pluridisciplinaires et multiculturelles.

Diplôme universitaire supérieur (doctorat de préférence) dans une discipline pertinente et au moins six ans d'expérience professionnelle des techniques de spectrométrie ICP.

*Date limite pour la présentation des candidatures: 24 mai 1996.*

**REDACTEUR TECHNIQUE (96-003)**, Section des normes et de la coordination en matière de sûreté, Département de la sûreté nucléaire. Grade P-3.

Fonctions: en particulier, rédiger des documents d'orientation, des rapports techniques et des articles de revues sur la sûreté nucléaire, la radioprotection, la sûreté de la gestion des déchets, et sur des questions fondamentales.

Qualifications requises: diplôme universitaire dans un domaine scientifique; au moins six ans d'expérience de la rédaction et de la mise au point de documents scientifiques, dont au moins deux dans le domaine nucléaire.

*Date limite pour la présentation des candidatures: 24 mai 1996.*

**BIBLIOTHECAIRE SPECIALISTE DES REFERENCES (96-005)**, Bibliothèque du Centre international de Vienne, Division de la documentation scientifique et technique, Département de l'énergie nucléaire.

Grade P-2. Fonctions: en particulier, fournir des services de référence, de recherche et de documentation aux utilisateurs de la bibliothèque, coordonner le tableau de services de l'équipe chargée des références et superviser le groupe des périodiques.

Qualifications requises: diplôme universitaire en bibliothéconomie ou en science de l'information; au moins deux ans d'expérience dans une bibliothèque dotée de systèmes automatisés de recherche de l'information et de prêts, connaissance pratique des grandes sources de références imprimées et des bases de données externes en ligne.

*Date limite pour la présentation des candidatures: 24 mai 1996.*

**PROGRAMMEUR DE DEVELOPPEMENT (96-006)**, Division de la documentation scientifique et technique, Département de l'énergie nucléaire.

Grade P-2. Fonctions: en particulier, participer à la planification et à la mise au point de systèmes informatiques pour des applications techniques et administratives.

Qualifications requises: diplôme universitaire en informatique ou dans un domaine connexe et au moins deux ans d'expérience pratique de la programmation.

*Date limite pour la présentation des candidatures: 24 mai 1996.*

## NOTE:

Les avis de vacances de postes (résumés ci-dessus) sont publiés à l'intention des lecteurs souhaitant se renseigner sur le genre de postes d'administrateur à pourvoir à l'AIEA. Ils ne constituent pas des avis officiels et sont susceptibles d'être modifiés. L'AIEA envoie fréquemment aux centres et bureaux d'information de l'ONU ainsi qu'aux organes gouvernementaux et organismes de ses Etats Membres (ministère des affaires étrangères et autorité chargée de l'énergie atomique). Il est conseillé aux personnes intéressées par une éventuelle candidature de se tenir en rapport avec ces derniers. Ces postes sont ouverts aux candidats hommes ou femmes possédant les qualifications appropriées. De plus amples renseignements sur les possibilités d'emploi à l'AIEA peuvent être obtenus en écrivant à la Division du personnel, B.P. 100, A-1400 Vienne (Autriche).

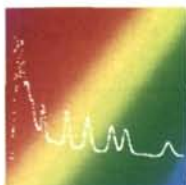
## SERVICES INFORMATIQUES EN LIGNE

Les avis de vacances de postes d'administrateur de l'AIEA, de même que les notices personnelles, sont désormais disponibles sur un réseau informatique mondial auquel il est possible d'accéder directement par les services Internet. Ils ont été placés dans un répertoire public — intitulé *pub/vacancy posts* — accessible par les services normaux de transfert de fichiers Internet.

Pour utiliser ce service, connectez-vous à l'adresse Internet de l'AIEA:

NESIRS01.IAEA.OR.AT (161.5.64.10)

Ouvrez une session en vous identifiant comme «anonymus» et tapez votre ID utilisateur pour le mot de passe. Le fichier README contient des informations générales et le fichier INDEX un bref résumé de chaque vacance de poste. La notice personnelle de l'AIEA ainsi que la brochure sur les conditions d'emploi sont également disponibles sous forme de fichiers qui peuvent être copiés. Veuillez noter que les candidatures ne sont pas transmises sur le réseau informatique, car elles doivent être adressées par écrit à la Division du personnel de l'AIEA.



# Canberra...Covering the Spectrum in Safeguards

## We have the Experience, You Get the Benefit...

Canberra has been the number 1 commercial supplier of neutron and gamma-based quantitative assay systems for safeguards applications for 20 years. This means that you get:

- Proven technology for more reliable systems
- Our knowledge and understanding of measurement technologies
- The correct solution for your application
- Professional training for easy start-up and operation
- Worldwide sales, service and support



## And WE offer Solutions...

Our systems have provided solutions to a wide range of applications, including:

- **ACCOUNTABILITY** – Canberra's passive, active, and combined passive/active neutron coincidence counters, multiplicity module and Segmented Gamma Scanners use the latest algorithms to provide the most accurate results for your inventory measurements.
- **HOLD-UP AND INLINE MEASUREMENTS** – Portable systems such as the InSpector allow you to make reliable hold-up measurements and inline process inspections.
- **DIVERSION CONTROL** – Vehicle and Pedestrian Portals jointly developed with Los Alamos National Laboratory minimize concerns about diversion, theft or loss of Special Nuclear Material.
- **ISOTOPIC MEASUREMENTS** – The latest versions of the Multi-Group Analysis code (MGA) and MGA/U integrated with our stand-alone systems and portable InSpector allow measurement of plutonium isotopics and uranium enrichments.
- **WEAPONS DISARMAMENT** – Canberra's neutron, gamma and isotopic systems can be used to insure treaty compliance.

For additional information call or write us today.



Canberra Industries Inc., Nuclear Products Group, 800 Research Parkway, Meriden, CT 06450 U.S.A.  
Tel: (203) 238-2351 Toll Free 1-800-243-4422 FAX: (203) 235-1347



# BASES DE DONNEES EN LIGNE

AGENCE INTERNATIONALE DE L'ENERGIE ATOMIQUE



## Désignation

Système de documentation sur les réacteurs de puissance (PRIS)

## Description

Répertoire technique

## Producteur

Agence internationale de l'énergie atomique en collaboration avec 29 de ses Etats membres

## Service compétent

AIEA, Section du génie nucléaire, B.P. 100, A-1400 Vienne, Autriche  
Téléphone +43-1-2060  
Télex 1-12645

Fac-similé +43-1-20607

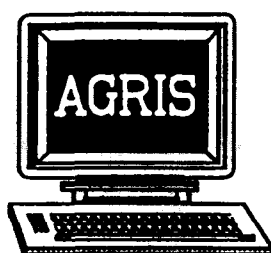
Courrier électronique via BITNET/INTERNET ID: NES@IAEA1.IAEA.OR.AT

## Domaine

Information mondiale sur les réacteurs de puissance en exploitation, en construction, en projet ou mis à l'arrêt et données d'expérience sur l'exploitation des centrales nucléaires dans les Etats membres de l'AIEA.

## Sujets traités

Etat du réacteur, désignation, emplacement, type, constructeur, fournisseur des turbo-alternateurs, propriétaire et exploitant de la centrale, puissance thermique, puissance électrique brute et nette, date de mise en chantier, date de la première criticité, date de la première synchronisation avec le réseau, exploitation industrielle, date de la mise à l'arrêt, caractéristiques du cœur du réacteur et renseignements sur les systèmes de la centrale; énergie produite, arrêts prévus et imprévus, facteurs de disponibilité et d'indisponibilité, facteur d'exploitation et facteur de charge.



## Désignation

Système international d'information pour les sciences et la technologie agricoles (AGRIS)

## Description

Bibliographie

## Producteur

Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) en collaboration avec 172 centres régionaux, nationaux et internationaux d'AGRIS

## Service compétent

Poste de traitement d'AGRIS c/o AIEA, B.P. 100, A-1400 Vienne, Autriche  
Téléphone +43-1-2060  
Télex 1-12645

Fac-similé +43-1-20607

Courrier électronique via BITNET/INTERNET ID: FAS@IAEA1.IAEA.OR.AT

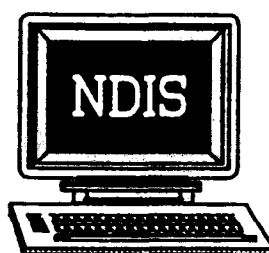
Nombre d'enregistrements accessibles depuis janvier 1993 plus de 130 000

## Domaine

Information mondiale sur les sciences et la technologie agricoles, y compris la foresterie, la pêche et la nutrition.

## Sujets traités

Agriculture en général; géographie et histoire; enseignement, vulgarisation et information; administration et législation; économie agricole; développement et sociologie rurale; phytotechnie, zootechnie et production végétale et animale; protection phytosanitaire; technologie post-récolte; pêche et aquaculture; machines et génie agricoles; ressources naturelles; traitement des produits agricoles; nutrition humaine; pollution; méthodologie.



## Désignation

Système de documentation sur les constantes nucléaires (NDIS)

## Description

Données numériques et bibliographiques

## Producteur

Agence internationale de l'énergie atomique en collaboration avec le Nuclear Data Centre du Laboratoire national de Brookhaven (Etats-Unis), la Banque de constantes nucléaires de l'Agence pour l'énergie nucléaire de l'Organisation de coopération et de développement économiques à Paris, et un réseau de 22 autres centres de constantes nucléaires dans le monde

## Service compétent

AIEA, Section des constantes nucléaires B.P. 100, A-1400 Vienne, Autriche  
Téléphone +43-1-2060  
Télex 1-12645

Fac-similé +43-1-20607

Courrier électronique via BITNET/INTERNET ID: RNDIS@IAEA1.IAEA.OR.AT

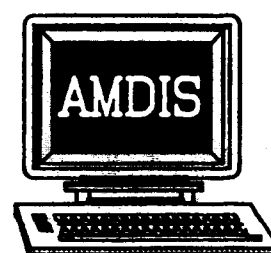
## Domaine

Fichier de constantes de physique nucléaire décrivant l'interaction des rayonnements avec la matière, et renseignements bibliographiques connexes.

## Sujets traités

Constantes évaluées de réactions neutroniques en ENDF; constantes expérimentales de réactions nucléaires en EXPOR, pour les réactions produites par les neutrons, les particules chargées, ou les photons; périodes nucléaires et constantes de désintégration radioactive dans les systèmes NUDAT et ENSDF; renseignements bibliographiques connexes tirés des bases de données de l'AIEA, CINDA et NSR; divers autres types de données.

Note: L'information NDIS recherchée en mode non connecté peut aussi être obtenue du producteur sur bande magnétique.



## Désignation

Système de documentation sur les constantes atomiques et moléculaires (AMDIS)

## Description

Données numériques et bibliographiques

## Producteur

Agence internationale de l'énergie atomique en collaboration avec le réseau international des centres de constantes atomiques et moléculaires, qui regroupe 16 centres de constantes nationales

## Service compétent

Unité de constantes atomiques et moléculaires, Section des constantes nucléaires de l'AIEA  
Courrier électronique via BITNET à RNDIS@IAEA1; ou via INTERNET ID: PSM@RIPCRS01.IAEA.OR.AT

## Domaine

Données atomiques et moléculaires et données sur l'interaction plasma-surface, ainsi que sur les propriétés des matériaux intéressants du point de vue de la recherche et de la technologie relatives à la fusion.

## Sujets traités

Données au format ALADDIN relatives à la structure atomique et aux spectres (niveaux d'énergie, longueurs d'onde et probabilités de transition); collisions d'électrons et de particules lourdes avec des atomes, des ions et des molécules (sections efficaces et/ou coefficients de vitesse, y compris, dans la plupart des cas, ajustement analytique avec les données); érosion superficielle par impact des principaux composants du plasma et auto-érosion; réflexion de particules sur les surfaces; propriétés thermophysiques et thermomécaniques du béryllium et des graphites pyrolytiques.

Note: Le résultat des recherches effectuées en mode déconnecté peut être obtenu du producteur sur disquette, sur bande magnétique ou sous forme imprimée. Le logiciel ALADDIN et son manuel d'utilisation sont également disponibles auprès du producteur.

Pour accéder à ces bases de données, s'adresser aux producteurs.  
L'information peut également être fournie par le producteur sous forme imprimée, à titre onéreux.  
INIS et AGRIS sont également disponibles sur CD-ROM.



**Désignation**

Système international  
de documentation nucléaire  
(INIS)

**Description**

Bibliographie

**Producteur**

Agence internationale de l'énergie atomique  
en collaboration avec  
91 de ses Etats membres et  
17 autres organisations participantes

**Service compétent**

AIEA, Section de l'INIS,  
B.P. 100, A-1400 Vienne, Autriche  
Téléphone +43-1-2060-22842  
Fac-similé +43-1-20607-22842  
Courrier électronique via  
BITNET/INTERNET ID:  
ATIEH@NEPO1.IAEA.OR.AT

**Nombre d'enregistrements  
accessibles**

depuis janvier 1976  
plus de 1 600 000

**Domaine**

Information mondiale sur les appli-  
cations pacifiques de la science et de  
la technologie nucléaires, ainsi que sur  
les aspects économiques et environ-  
nementaux de toutes les autres  
sources d'énergie.

**Sujets traités**

Essentiellement: réacteurs nucléaires,  
sûreté des réacteurs, fusion nucléaire,  
application des rayonnements ou des  
isotopes en médecine, en agriculture,  
dans l'industrie, dans la lutte contre  
les ravageurs, ainsi que dans des  
domaines connexes tels que la chimie  
nucléaire, la physique nucléaire et  
la science des matériaux.  
us spécialement: effets environnementaux,  
économiques et sanitaires de  
l'énergie nucléaire et, depuis 1992,  
accidents économiques et environnemen-  
tels des sources d'énergie non nucléaires.  
Aspects juridiques et sociaux  
de ces diverses questions.

# INIS

## ON CD-ROM



The IAEA's  
nuclear science  
and  
technology  
database on  
CD-ROM

5000 JOURNALS

MORE THAN 1.6 MILLION RECORDS

6 COMPACT DISCS

*INIS (the International Nuclear Information System) is a multi-disciplinary, bibliographic database covering all aspects of the peaceful uses of nuclear science and technology. INIS on CD-ROM combines the worldwide coverage of the nuclear literature with all the advantages of compact disc technology.*

**Call +44 (0)81 995 8242 TODAY!**

*for further information  
and details of your local distributor*

or write to

SilverPlatter Information Ltd.  
10 Barley Mow Passage, Chiswick, London,  
W4 4PH, U.K.

Tel: 0800 262 096 +44 (0)81 995 8242

Fax: +44 (0)81 995 5159

## CD-ROM means

- ◆ unlimited easy access
- ◆ fast, dynamic searching
- ◆ fixed annual cost
- ◆ flexible down-loading and printing
- ◆ desktop access
- ◆ easy storage
- ◆ saving time, space and money





**Etude d'outils et d'instruments de dépannage informatisés**

*Etudier des outils et instruments informatisés pour faciliter la maintenance, le dépannage et la réparation du matériel électronique nucléaire.*

**Traitement des effluents liquides des mines d'uranium et du broyage du minerai, en cours d'exploitation et ultérieurement (après déclassement/régénération)**

*Définir des concepts fondamentaux pour innover et combiner des techniques d'extraction et de traitement des minerais, et de gestion des déchets, qui puissent ménager l'environnement et procurer des avantages économiques.*

**Corrosion par l'eau du combustible épuisé sous gaine d'aluminium provenant des réacteurs de recherche**

*Evaluer la vitesse de corrosion des gaines en alliages d'aluminium dans de l'eau de qualité chimique bonne, normale et mauvaise, pour faciliter le travail lorsqu'il s'agit d'augmenter la capacité de stockage immergé du combustible épuisé de réacteur de recherche, et pour déterminer les mécanismes fondamentaux de corrosion en cause.*

**Etude comparée de diverses combinaisons de sources d'énergie durables pour la production d'électricité**

*Faire des études de cas sur l'analyse et la comparaison de diverses options et stratégies pour le secteur énergétique, à l'aide de bases de données et de logiciels analytiques élaborés par l'Agence dans le cadre du projet DECADES, pour définir des options énergétiques durables respectant les normes et les règles relatives aux émissions dans l'atmosphère.*

**Intercomparaison de systèmes de comptage *in vivo* à l'aide d'un fantôme de référence**

*Donner à tous les services de dosimétrie individuelle participants la possibilité d'évaluer leur aptitude à mesurer, avec une précision suffisante aux fins de la radioprotection, le thorium, l'uranium et les radionucléides transuraniens présents dans l'organisme. Le programme fournira en outre aux participants des renseignements précis sur les dispositions à prendre pour améliorer leur performance, et leur donnera l'occasion d'un échange d'informations avec d'autres services de dosimétrie.*

**Emploi de techniques isotopiques pour étudier la gestion du cycle de la matière organique et des nutriments en vue de l'améliorer, d'assurer une production agricole durable et de protéger l'environnement**

*Faire des études à l'aide d'isotopes qui faciliteront la mise au point de modes de gestion permettant de ralentir la décomposition de la matière organique du sol et de synchroniser ainsi la libération des nutriments avec les besoins des cultures, en vue d'un rendement maximal.*

**Diagnostic et suivi du cancer de la prostate par radio-immunoanalyse (RIA)**

*Déterminer la sensibilité et la spécificité des mesures faites à l'aide de la technique IRMA pour le diagnostic précoce du cancer primaire de la prostate et des récidives. La justesse du diagnostic par cette méthode sera comparée à celle des autres modalités.*

**Visualisation nucléaire de l'infection et de l'inflammation**

*Déterminer le rôle de l'imagerie nucléaire concernant l'infection et l'inflammation parmi les autres méthodes d'examen aux mêmes fins, telles que la radiographie, la tomographie informatisée et l'échographie.*

**MARS**

Séminaire international sur les progrès réalisés dans l'utilisation des réacteurs de recherche et d'essai  
**Bombay, Inde** (11-15 mars)

**AVRIL**

Conférence internationale  
Dix ans après Tchernobyl:  
récapitulation des conséquences de l'accident  
**Vienne, Autriche** (8-12 avril)

**JUIN**

Séminaire sur les techniques nucléaires utilisées pour le diagnostic et le traitement du cancer  
**Vienne, Autriche** (3-7 juin)

Colloque international sur l'expérience de la planification et de l'exploitation des installations d'évacuation des déchets de faible activité  
**Vienne, Autriche** (17-21 juin)

**JUILLET**

Colloque FAO/AIEA sur le recours aux techniques nucléaires et aux techniques apparentées pour l'étude du comportement dans l'environnement des produits chimiques servant à la protection des cultures  
**Vienne, Autriche** (1er-5 juillet)

**AOÛT**

Séminaire sur les techniques nucléaires utilisées pour le dépistage et la prise en charge du cancer  
**Colombo, Sri Lanka** (12-16 août)

**SEPTEMBRE**

Conférence générale de l'AIEA, 40ème session  
**Vienne, Autriche** (16-20 septembre)

**OCTOBRE**

16ème Conférence de l'AIEA sur l'énergie de fusion  
**Montréal, Canada** (7-11 octobre)

Colloque international sur le réexamen de la sûreté des centrales nucléaires existantes  
**Vienne, Autriche** (8-11 octobre)

**NOVEMBRE**

Colloque sur l'harmonisation des mesures faites dans l'environnement à des fins sanitaires à l'aide de techniques nucléaires et isotopiques  
**Hyderabad, Inde** (4-7 novembre)

Séminaire sur l'emploi de techniques isotopiques pour l'étude de l'environnement marin  
**Lieu à fixer** (4-15 novembre)

La liste ci-dessus est sélective et provisoire. Pour tous renseignements complémentaires, s'adresser à l'AIEA, Section des services de séances, ou se reporter à la publication trimestrielle de l'AIEA intitulée **Meetings on Atomic Energy** (pour passer commande, voir la rubrique *Nouvelles publications de l'AIEA*). Des précisions sur les programmes de recherche coordonnée (PRC) peuvent être obtenues à l'AIEA, auprès de la Section d'administration des contrats de recherche. Les PRC visent à faciliter la coopération mondiale dans divers domaines scientifiques et techniques, concernant aussi bien les applications médicales, agronomiques et industrielles des rayonnements que la technologie et la sûreté du secteur nucléo-électrique.



*Publication trimestrielle de la Division de l'information de l'Agence internationale de l'énergie atomique, B.P. 100, A-1400 Vienne (Autriche)*  
 Tél.: (43-1) 2060-21270  
 Télécopie: (43-1) 20607  
 Courrier électronique:  
 iaeo@iaea1.iaea.or.at

**DIRECTEUR GENERAL:** M. Hans Blix  
**DIRECTEURS GENERAUX ADJOINTS:**  
 M. David Waller, M. Bruno Pellaud,  
 M. Boris Semenov, M. Sueo Machi,  
 M. Jihui Qian  
**DIRECTEUR, DIVISION DE L'INFORMATION:**  
 M. David Kyd  
**REDACTEUR EN CHEF:** M. Lothar H. Wedekind  
**SECRETAIRES DE REDACTION:**  
 M. Rodolfo Quevenco, Mme Juanita Pérez,  
 Mme Brenda Biann  
**MISE EN PAGE/CONCEPTION:**  
 Mme Hannelore Wilczek  
**RUBRIQUE ACTUALITES:**  
 Mme S. Dallalah, Mme L. Diebold,  
 Mme A.B. de Reynaud, Mme R. Spiegelberg  
**PRODUCTION:**  
 M. P. Witzig, M. R. Kelleher, Mme I. Emge,  
 Mme A. Primes, Mme M. Swoboda,  
 Mme U. Szer, M. W. Kreutzer,  
 M. G. Demal, M. A. Adler,  
 M. R. Luttenfeldner, M. F. Prochaska,  
 M. P. Patak, M. L. Nimetzki  
**SERVICES LINGUISTIQUES:**  
 M. J. Rivals, Mme E. Fritz  
**EDITION FRANÇAISE:** M. S. Drège, traduction;  
 Mme V. Laugier-Yamashita,  
 contrôle rédactionnel  
**EDITION ESPAGNOLE:** Equipo de Servicios de  
 Traductores e Intérpretes (ESTI), La Havane  
 (Cuba), traduction;  
 M. L. Herrero, contrôle rédactionnel  
**EDITION CHINOISE:** Service de traduction de  
 la Société industrielle de l'énergie nucléaire  
 de Chine, Beijing, traduction, impression,  
 distribution.

*Le Bulletin de l'AIEA est distribué gratuitement à un nombre restreint de lecteurs qui s'intéressent aux activités de l'AIEA et aux utilisations pacifiques de l'énergie nucléaire. Pour bénéficier de ce service, écrire à la rédaction du Bulletin. Des extraits des textes contenus dans le Bulletin de l'AIEA peuvent être utilisés librement sous réserve d'en mentionner la source. Toutefois, un article dont l'auteur n'est pas membre du personnel de l'AIEA ne peut être reproduit qu'avec la permission de l'auteur ou de l'organisme dont il émane, sauf s'il est destiné à servir de document de travail.*

Les opinions exprimées par les auteurs des articles ou dans les publicités publiées dans le Bulletin de l'AIEA ne correspondent pas forcément à celles de l'Agence internationale de l'énergie atomique et n'engagent donc que les signataires ou les annonceurs.

**Publicité**

Les annonceurs sont priés d'adresser leur correspondance à la Division des publications de l'AIEA, Unité de la vente des publications et de la publicité, B.P. 100, A-1400 Vienne (Autriche).

<b>1957</b> Afghanistan Afrique du Sud Albanie Allemagne Argentine <b>Australie</b> <b>Autriche</b> <b>Bélarus</b> <b>Bésil</b> Bulgarie <b>Canada</b> Corée, République de Cuba <b>Danemark</b> Egypte El Salvador Espagne <b>Etats-Unis d'Amérique</b> Ethiopie <b>Fédération russe</b> <b>France</b> Grèce <b>Guatemala</b> Haïti Hongrie <b>Inde</b> Indonésie Islande Israël Italie <b>Japon</b> Maroc Monaco Myanmar <b>Norvège</b> Nouvelle-Zélande <b>Pakistan</b> Paraguay Pays-Bas Pérou Pologne <b>Portugal</b> République Dominicaine <b>Roumanie</b> <b>Royaume-Uni</b> de Grande-Bretagne et d'Irlande du Nord Saint-Siège Sri Lanka <b>Suède</b> <b>Suisse</b> Thaïlande Tunisie <b>Turquie</b> Ukraine Venezuela Viet Nam Yougoslavie	<b>1958</b> Belgique Cambodge Equateur Finlande Iran, Rép. islamique d' Luxembourg Mexique Philippines Soudan	<b>1959</b> Iraq	<b>1960</b> Chili Colombie Ghana Sénégal	<b>1961</b> Liban Mali Zaire	<b>1962</b> Arabie Saoudite Libéria	<b>1963</b> Algérie Bolivie Côte d'Ivoire Jamahiriya Arabe Libyenne République Arabe Syrienne Uruguay	<b>1964</b> Cameroun Gabon Koweït Nigeria	<b>1965</b> Chypre Costa Rica Jamaïque Kenya Madagascar	<b>1966</b> Jordanie Panama	<b>1967</b> Ouganda Sierra Leone Singapour	<b>1968</b> Liechtenstein	<b>1969</b> Malaisie Niger Zambie	<b>1970</b> Irlande	<b>1972</b> Bangladesh	<b>1973</b> Mongolie	<b>1974</b> Maurice	<b>1976</b> Emirats Arabes Unis Qatar République-Unie de Tanzanie	<b>1977</b> Nicaragua	<b>1983</b> Namibie	<b>1984</b> Chine	<b>1986</b> Zimbabwe	<b>1991</b> Lettonie Lituanie	<b>1992</b> Croatie Estonie Slovénie	<b>1993</b> Arménie République slovaque République tchèque	<b>1994</b> Îles Marshall Kazakhstan l'ex-République yougoslave de Macédoine Ouzbékistan Yémen	<b>1995</b> Bosnie-Herzégovine Géorgie
---	--	---------------------	--	---------------------------------------	---	---	---	--	-----------------------------------	---	------------------------------	--	------------------------	---------------------------	-------------------------	------------------------	--	--------------------------	------------------------	----------------------	-------------------------	-------------------------------------	---	---	--	--

Dix-huit ratifications étaient nécessaires pour l'entrée en vigueur du Statut de l'AIEA. Au 29 juillet 1957, les Etats figurant en caractères gras avaient ratifié le Statut.

L'année représente l'année de l'admission de l'Etat comme membre de l'AIEA. Les Etats ne figurent pas nécessairement sous le nom qu'ils avaient à l'époque.

L'admission des Etats dont le nom apparaît en italique a été approuvée par la Conférence générale mais ne prendra effet que lorsque les instruments juridiques nécessaires auront été déposés.



L'Agence internationale de l'énergie atomique, qui est née le 29 juillet 1957, est une organisation intergouvernementale indépendante faisant partie du système des Nations Unies. Elle a son siège à Vienne (Autriche) et compte plus d'une centaine d'Etats Membres qui coopèrent pour atteindre les principaux objectifs du Statut de l'AIEA: hâter et accroître la contribution de l'énergie atomique à la paix, la santé et la prospérité dans le monde entier et s'assurer, dans la mesure de ses moyens, que l'aide fournie par elle-même ou à sa demande ou sous sa direction ou sous son contrôle n'est pas utilisée de manière à servir à des fins militaires.

**Siège de l'AIEA, au Centre international de Vienne.**

Until now, one of the biggest problems with reading personal exposure doses has been the size of the monitoring equipment. Which is precisely why we're introducing the Electronic Pocket Dosimeter (EPD) "MY DOSE mini™" PDM-Series.

These high-performance

dosimeters combine an easy-to-read digital display with a wide measuring range suiting a wide range of needs.

But the big news is how very small and lightweight they've become. Able to fit into any pocket and weighing just 50~90 grams,

the Aloka EPDs can go anywhere you go. Which may prove to be quite a sizable improvement, indeed.

SCIENCE AND HUMANITY

**ALOKA**

ALOKA CO., LTD.

6-22-1 Mure, Mitaka-shi, Tokyo 181, Japan

Telephone: (0422) 45-5111

Facsimile: (0422) 45-4058

Telex: 02822-344

To: 3rd Export Section  
Overseas Marketing Dept.  
Attn: N. Odaka

Model	Energy	Range	Application
PDM-101	60 keV ~	0.01 ~ 99.99 $\mu$ Sv	High sensitivity, photon
PDM-102	40 keV ~	1 ~ 9,999 $\mu$ Sv	General use, photon
PDM-173	40 keV ~	0.01 ~ 99.99 mSv	General use, photon
PDM-107	20 keV ~	1 ~ 9,999 $\mu$ Sv	Low energy, photon
PDM-303	thermal ~ fast	0.01 ~ 99.99 mSv	Neutron
ADM-102	40 keV ~	0.001 ~ 99.99 mSv	With vibration & sound alarm, photon



## Safety, convenience and a variety of styles to choose from.



PDM-107



PDM-102



PDM-173



PDM-101



PDM-303



ADM-102