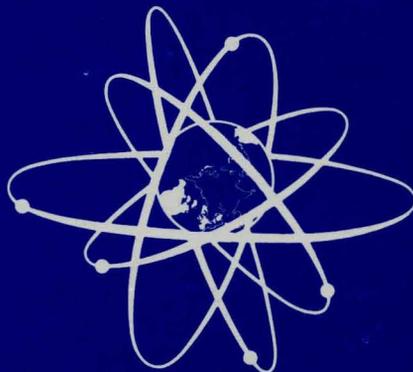

AEN

BULLETIN

NUMÉRO 2/JUIN 1984



AGENCE DE L'OCDE POUR L'ÉNERGIE NUCLÉAIRE / 38 BD SUCHET / 75016 PARIS / FRANCE

AGENCE DE L'OCDE POUR L'ÉNERGIE NUCLÉAIRE

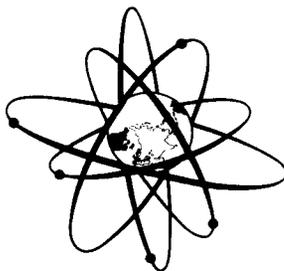
L'AGENCE DE L'OCDE POUR L'ÉNERGIE NUCLÉAIRE (AEN) a été créée en 1972 en remplacement de l'Agence Européenne pour l'Énergie Nucléaire (ENEA), elle-même créée en 1958.

Aux dix-neuf pays Membres européens de l'OCDE sont venus se joindre, au sein de l'AEN, l'Australie, le Canada, les États-Unis et le Japon. La Commission des Communautés Européennes (CCE) et l'Agence Internationale de l'Énergie Atomique (AIEA) participent toutes deux aux travaux de l'Agence.

L'AEN s'attache à promouvoir, entre les gouvernements qui en sont Membres, la coopération dans le domaine de la sûreté et de la réglementation nucléaires ainsi que le développement de l'énergie nucléaire dans le but de contribuer au progrès économique.

A cet effet, l'Agence :

- examine les aspects techniques et économiques du cycle du combustible nucléaire ;*
- encourage l'harmonisation des politiques et pratiques réglementaires ;*
- évalue l'offre et la demande et établit des prévisions sur le rôle que pourrait jouer l'énergie nucléaire pour satisfaire la demande d'énergie ;*
- échange des informations scientifiques et techniques, et*
- coordonne et appuie les programmes connexes de recherche et de développement, notamment par le biais de projets communs.*



Le Bulletin d'information de l'AEN, qui est publié deux fois par an en anglais et en français, a pour objet de donner des informations sur les principales questions concernant le développement de l'énergie nucléaire à des fins pacifiques, le programme de l'AEN et l'orientation des activités futures de l'Agence.

Les opinions exprimées dans le Bulletin d'information n'engagent que les auteurs des articles et ne reflètent pas nécessairement les points de vue du Secrétariat de l'AEN ou ceux des pays Membres.

Toute suggestion ou remarque sur des articles serait la bienvenue. Les éléments d'information figurant dans ce Bulletin peuvent être librement utilisés, à condition que la source en soit clairement mentionnée. La correspondance et les demandes d'exemplaires supplémentaires doivent être envoyées à l'adresse suivante :

Secrétariat de rédaction
Bulletin d'information de l'AEN
AGENCE DE L'OCDE POUR L'ÉNERGIE NUCLÉAIRE
38, boulevard Suchet
75016 Paris, France
Télex : 630.668 AEN/NEA

Table des matières

Avant-Propos	3
LES GRANDS PROBLÈMES DU DÉVELOPPEMENT DE L'ÉNERGIE NUCLÉAIRE	
Pour une meilleure adhésion du public aux politiques de gestion des déchets radioactifs H. Shapar	4
Un combustible pour demain : évaluation de l'offre future d'uranium D. Taylor	7
NOTES SUR LES TRAVAUX EN COURS ET LES ACTIVITÉS DE L'AEN	
Évaluation du rôle des facteurs humains dans la sûreté nucléaire M. Stephens	13
La fiabilité des méthodes d'essai non des- tructif : les programmes PISC P. Oliver	17
Enseignements tirés de l'expérience : le sys- tème de notification des incidents (IRS) de l'AEN K. Morimoto	19
Comparaison des coûts de production de l'énergie électrique dans les centrales nucléaires et dans les centrales au char- bon	21
La situation de l'énergie nucléaire dans les pays de l'OCDE	24
NOUVEAUX RAPPORTS DE L'AEN	25
Autres publications récentes de l'AEN	26

Ce Bulletin d'information a pour ambition de combler une lacune, certes limitée mais néanmoins importante, que les publications spécialisées de l'AEN nous paraissaient présenter. Étant donné qu'il puise directement sa source dans les travaux de l'AEN, le Bulletin est bien placé pour rendre compte des activités menées dans le cadre de la coopération internationale et présenter des informations récentes sur les progrès réalisés dans le domaine de l'énergie nucléaire, à l'intention des personnes entretenant des relations régulières avec l'AEN, et d'un plus large public.

Le programme de l'Agence est la source de multiples éléments d'information, dont beaucoup vont droit au cœur des questions d'actualité soulevées par le développement de l'énergie nucléaire. Dans un domaine en continuelle évolution, rares devraient être les lecteurs qui n'y trouveraient pas quelque information intéressante.

Tel est l'esprit dans lequel cette publication a été conçue et nos espoirs paraissent, en l'occurrence, avoir été fondés. Le premier numéro du Bulletin, publié en décembre dernier, a été largement diffusé et semble avoir reçu un accueil favorable, ce qui nous incline à penser que nous sommes sur le bon chemin. Toute remarque ou suggestion visant à en améliorer encore le contenu sera, bien entendu, bienvenue.

Dans les articles de fond du présent numéro, on examine les facteurs qui pourraient contribuer à mieux faire comprendre au public ce que recouvrent les stratégies de gestion des déchets radioactifs. On analyse également les principaux résultats de l'étude que l'AEN a réalisée en 1983 sur les ressources, la production et la demande d'uranium, ainsi que sur les perspectives à long terme dans le domaine de l'uranium. Depuis la publication de ce rapport, au début de l'année, l'Agence a eu communication de nouvelles informations qui ont conduit à modifier l'analyse de l'offre et de la demande d'uranium.

Les trois autres brefs articles sur des domaines clés intéressant la sûreté nucléaire et les nouvelles données chiffrées de la situation de l'électronucléaire dans les pays de l'OCDE complètent cet exposé des questions d'actualité.

Le prochain numéro abordera la contribution de l'électronucléaire à la sécurité énergétique, qui a été le thème de la session spéciale organisée en liaison avec la réunion du Comité de Direction de l'Énergie Nucléaire de l'OCDE à Washington le 11 avril. La sécurité énergétique continue à revêtir une importance décisive pour les pays Membres de l'AEN et les personnalités qui ont pris la parole à ce symposium ont cherché à cerner les moyens de faire mieux apprécier la place qu'occupe le nucléaire dans l'ensemble des ressources énergétiques du groupe des pays appartenant à l'OCDE.

LES GRANDS PROBLÈMES DU DÉVELOPPEMENT DE L'ÉNERGIE NUCLÉAIRE

Pour une meilleure adhésion du public aux politiques de gestion des déchets radioactifs

*par Howard K. Shapar
Directeur général de l'AEN*

L'évacuation des déchets radioactifs est souvent perçue comme une question très épineuse qui fait obstacle à l'acceptation de l'énergie nucléaire par le public. Étant donné que la gestion des déchets à vie longue réclame des solutions à long terme qui soulèvent d'importantes questions d'éthique, d'organisation et d'ordre technique, on prétend parfois que les décideurs ne doivent pas prendre de décisions pouvant avoir un caractère quasi irréversible tant que l'on ne dispose pas d'une certitude absolue concernant la sécurité de l'évacuation.

Cet article s'inspire d'un discours prononcé par M. Shapar à la dix-septième réunion annuelle du Forum industriel atomique du Japon, le 15 mars 1984.

Dans de nombreux pays, l'acceptation de l'énergie nucléaire par le public constitue l'un des principaux facteurs qui entrent en ligne de compte dans la planification et le développement des programmes nucléo-énergétiques. Les politiques et pratiques de gestion des déchets radioactifs ne seront acceptées que dans la mesure où le public et les milieux politiques reconnaîtront que :

1. La gestion efficace des déchets radioactifs dépend de la mise en place, en temps voulu, d'un ensemble de solutions institutionnelles, réglementaires, techniques et financières.
2. Il existe désormais des techniques de gestion des déchets ; leur adaptation en vue d'une application à l'échelle industrielle est déjà en cours.
3. L'expérience considérable que nous avons d'ores et déjà acquise en matière de stockage du combustible irradié permet de conclure que ce stockage pourra être prolongé pendant plusieurs dizaines d'années, ce qui laissera le temps de passer à l'évacuation définitive.

La gestion des déchets radioactifs constitue un défi important pour les communautés nationales et internationales car il s'agit à la fois de faire mieux comprendre les problèmes au public et de lui donner le degré nécessaire d'assurance que les aspects institutionnels, réglementaires, technologiques et économiques à long terme des divers problèmes ont été dûment pris en compte et qu'en dernier ressort ni l'homme, ni l'écosphère, ne subiront un détriment inacceptable.

La gestion des déchets : une activité industrielle courante

Il est bien évident que toutes les activités humaines, et en particulier les activités industrielles, comportent un élément de risque car la sûreté absolue est hors de portée de toute entreprise humaine. L'utilisation de l'énergie nucléaire et l'évacuation des déchets radioactifs ne font pas exception à cette règle générale et il importe donc de s'assurer que les

risques sont décrits et évalués avec précision et que des techniques appropriées sont mises au point pour en prévoir, prévenir, maîtriser et atténuer les conséquences. Il appartient donc aux gouvernements et, en fin de compte, à la société de déterminer le prix qu'ils sont prêts à payer pour réduire les risques potentiels et d'apprécier les risques en fonction des avantages de l'énergie nucléaire.

La gestion des déchets radioactifs découle naturellement de l'utilisation de l'énergie nucléaire. Peut-être conviendrait-il de préciser dès le départ qu'il n'y a en soi rien de mal à produire des déchets. Le fait de maintenir le milieu de travail en état de propreté et en bon ordre relève de la simple économie domestique et rares sont les procédés industriels qui n'engendrent pas de sous-produits, pouvant ou non avoir une valeur économique. L'industrie nucléaire produit de nombreuses formes de déchets radioactifs. Certains d'entre eux se caractérisent par un très gros volume et une faible radioactivité, alors que d'autres, notamment ceux sortant sous forme liquide des installations de traitement, sont fortement radioactifs et nécessitent des techniques de gestion extrêmement sophistiquées.

Du point de vue de la sûreté et de l'environnement, la gestion des déchets radioactifs devrait avoir pour objectif :

1. de respecter les principes de radioprotection dans l'intérêt des générations présentes et futures,
2. de préserver la qualité de l'environnement naturel,
3. d'éviter d'hypothéquer la mise en valeur actuelle ou future des ressources naturelles,
4. de réduire dans toute la mesure du possible les incidences susceptibles d'affecter les générations futures.

Lorsque la gestion des déchets en était à ses débuts, l'attention s'était surtout portée sur les préoccupations les plus immédiates liées aux techniques de traitement et de stockage, ainsi qu'aux questions de radioprotection relatives aux rejets de matières radioactives dans l'environnement. Cependant, la primauté a progressivement été accordée aux préoccupations à long terme, telles que la préservation de la qualité de l'environnement naturel, la conservation des ressources naturelles potentielles et, bien



La confiance du public est un facteur clé dans les politiques de gestion des déchets radioactifs (COI)

entendu, la réduction des incidences sur les générations futures. En fait, les aspects à long terme sont désormais au centre du débat sur les pratiques de gestion des déchets.

Le public continue à prêter une attention soutenue au très faible taux de décroissance et, partant, à la persistance très prolongée des risques liés aux déchets de haute activité. Bon nombre de ses craintes demeurent axées sur les niveaux totaux de radioactivité en jeu dans ces déchets et la rémanence de dangers non spécifiés pendant des centaines de milliers d'années. Il existe évidemment d'autres déchets industriels qui se caractérisent par une toxicité élevée et une persistance à long terme. Certains composés du cyanure et certains métaux lourds constituent de bons exemples à cet égard. La seule solution satisfaisante pour les déchets entrant dans ces catégories consiste à les isoler de la biosphère pendant des périodes suffisamment prolongées pour assurer une protection permanente.

Faisabilité et technologie

De multiples efforts ont été et sont toujours déployés, à l'échelon tant national qu'international, en vue de concevoir des options en matière de gestion des déchets qui soient faisables du point de vue théorique, institutionnel et technique.

A l'échelon national – Certains pays ont créé des institutions spécialement chargées de mettre en œuvre ou d'exploiter des systèmes d'évacuation des déchets ou de gestion du combustible irradié ; à titre d'exemple, on peut citer les sociétés ONDRAF en Belgique, ANDRA en France, NIREX au Royaume-Uni, SKBF en Suède et NAGRA en Suisse. Aux États-Unis, le Ministère de l'Énergie a institué un nouveau service qui assume la responsabilité de la gestion des déchets radioactifs d'origine civile. Celui-ci supervise la mise en place d'installations provisoires et de dépôts pour le stockage et l'évacuation des déchets de haute activité et du combustible irradié, ainsi que l'élaboration d'un programme de recherche, de développement et de démonstration afférent à ces déchets et à d'autres fins.

Dans plusieurs pays (République fédérale d'Allemagne, États-Unis, France, Suède et Suisse, par exemple), on s'est intéressé avant tout à l'évacuation des déchets de haute activité ou du combustible irradié dans les formations géologiques, ce qui a notamment amené à choisir des sites appropriés à cet effet.

Un certain nombre de pays ont entrepris ou entreprendront prochainement des travaux de conception

et des investigations relatifs à des laboratoires souterrains de recherches pilotes visant la mise au point de dépôts de déchets de haute activité. Un dépôt exploité en vraie grandeur devrait faire l'objet d'une démonstration avant la fin du siècle aux États-Unis, voire dans certains autres pays. Des sites d'implantation de dépôts, qui devraient entrer en service après l'an 2000, seront choisis par plusieurs autres pays.

Des installations de stockage et d'évacuation des déchets de faible et moyenne activité ont été aménagées à faible profondeur dans le sol ou dans des cavités rocheuses dans quelques pays, notamment aux États-Unis, en France et au Royaume-Uni. Certains pays ont procédé à l'immersion en mer de déchets de faible activité.

A l'échelon international – La coopération internationale peut contribuer de façon primordiale à gagner la confiance et l'adhésion du public.

Compte tenu du nombre élevé de pays qui en font partie, l'Agence de l'OCDE pour l'Énergie Nucléaire (AEN) constitue une tribune appropriée pour l'examen des problèmes de gestion des déchets radioactifs. Ses pays Membres possèdent certains des programmes nucléaires les plus importants, ainsi que des compétences scientifiques et des techniques les plus avancées. Dans le cadre de son programme de gestion des déchets radioactifs, l'AEN poursuit les trois principaux objectifs suivants :

- favoriser la réalisation d'études et améliorer la base de données disponibles en vue d'étayer les programmes nationaux ;
- contribuer à l'efficacité des travaux de recherche et de développement en coordonnant les activités nationales et en encourageant les projets internationaux ;
- améliorer le niveau général de connaissance des problèmes et stratégies de gestion des déchets, notamment en ce qui concerne l'évacuation des déchets.

L'évacuation des déchets radioactifs dans les formations géologiques

Le procédé d'isolement à long terme des déchets de haute activité et autres déchets radioactifs à longue période qui recueille la préférence consiste à les évacuer dans des formations géologiques, de manière à assurer le confinement prolongé qui s'impose. On a décelé des caractéristiques favorables dans divers milieux tels que le sel, le granite, le basalte, les tufs volcaniques ou les argiles, qu'il s'agisse de formations

continentales ou situées sous les fonds marins.

L'AEN sert de cadre à plusieurs projets internationaux en coopération. C'est ainsi que le projet de Stripa, en Suède, permet d'étudier les roches cristallines dures en tant que milieu susceptible de recevoir un dépôt de déchets nucléaires. Le Système international de recherche de l'information sur la sorption (ISIRS), banque de données sur la sorption des radionucléides dans les milieux géologiques, facilite l'exécution de ces travaux.

Sous l'égide de l'AEN, le Groupe de travail sur l'évacuation des déchets radioactifs dans les fonds marins échange des informations et coordonne les activités de recherche et de développement concernant la possibilité d'utiliser des sites appropriés sous les fonds marins pour l'évacuation des déchets radioactifs à longue période. Ce programme ne couvre que des activités de recherche. Il n'est pas prévu, pour l'instant, de procéder à l'évacuation proprement dite des déchets dans les fonds marins.

Aspects institutionnels de l'évacuation à long terme des déchets radioactifs

Etant donné que certains types de déchets provenant du cycle du combustible nucléaire demeurent radioactifs pendant de longues périodes, il convient de s'attacher en particulier à établir des plans en vue de

la gestion à long terme et d'élaborer des réglementations appropriées. En dehors des questions purement techniques, les systèmes de financement, les responsabilités sur le plan opérationnel, la responsabilité civile et les méthodes de surveillance administrative sont autant d'éléments dont il faut tenir compte dans l'élaboration des politiques de gestion des déchets. Ces divers aspects de la gestion à long terme des déchets radioactifs font l'objet d'une étude d'ensemble entreprise par l'AEN avec le concours d'un groupe d'experts techniques et juridiques. Cette étude est sur le point de s'achever.

Dans ce domaine, la situation générale va en s'améliorant, comme en témoignent la création, ces dernières années, d'organismes nationaux et l'adoption de législations régissant la gestion des déchets radioactifs. Bien que les débats n'en soient souvent qu'à un stade préliminaire, notamment en ce qui concerne les systèmes financiers à adopter, on peut notamment en conclure qu'il ne paraît pas y avoir de problème majeur du point de vue juridique, administratif et financier. Selon la conception actuelle, les mesures adoptées devraient être adaptées aux réalisations techniques de manière à ce que les systèmes de gestion des déchets ne soient pas subordonnés à une surveillance et à un contrôle institutionnel d'une durée supérieure à quelques siècles. Au-delà de ce délai, on s'en remettra entièrement à des systèmes passifs.

Un combustible pour demain : évaluation de l'offre future d'uranium

par Derek Taylor

Division du développement de l'énergie nucléaire, AEN

L'un des principaux avantages du nucléaire par rapport aux autres grandes sources d'énergie utilisées pour produire de l'électricité réside dans le faible coût de son combustible. Cet avantage ne subsistera que tant que la production d'uranium pourra couvrir les besoins de l'industrie nucléaire et que les ressources en uranium seront suffisamment importantes pour assurer l'approvisionnement jusque dans un avenir lointain.

L'uranium en tant que source de combustible

L'un des faits les plus surprenants au sujet du nucléaire tient à ce que des quantités d'énergie aussi importantes peuvent être produites à partir d'aussi faibles quantités de combustible. Telle est peut-être la

raison pour laquelle, alors que d'autres sources d'énergie tirent leur nom de leur combustible de base, il est très rare que l'on parle de *centrales électriques alimentées à l'uranium*. Cependant, le fait même que d'aussi faibles quantités d'uranium soient en jeu constitue l'un des principaux atouts de l'énergie nucléaire. Le volume annuel d'uranium nécessaire

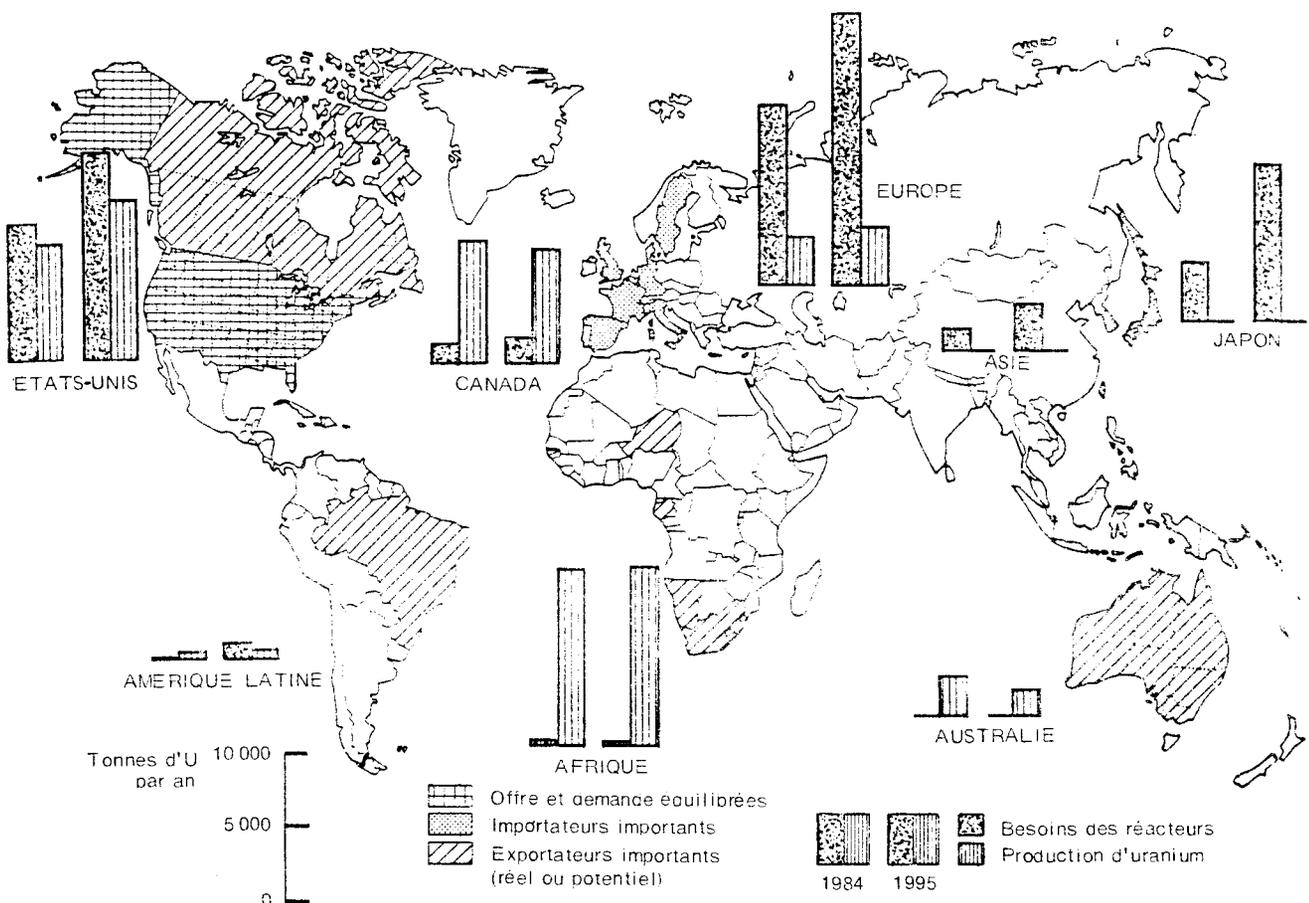
pour répondre aux besoins du monde à économie de marché (MEM), qui représentait de l'ordre de 37 000 tonnes d'uranium naturel en 1983, pourrait facilement tenir dans un cube de moins de 25 mètres de côté. C'est pourquoi, le combustible de base destiné aux réacteurs nucléaires peut être facilement transporté et stocké, ce qui est extrêmement appréciable du point de vue aussi bien de la sécurité énergétique que de la logistique, et se traduit aussi par de faibles quantités de combustible irradié.

Un autre avantage notable du nucléaire par rapport aux autres grandes sources d'énergie réside dans le faible coût de son combustible. Les coûts d'alimentation en combustible d'une centrale nucléaire représentent moins d'un cinquième des coûts afférents à une centrale de même puissance fonctionnant au mazout et, en général, entre la moitié et le quart du coût d'alimentation d'une centrale au charbon, même après avoir tenu compte de toutes les étapes liées à la préparation et au retraitement du combustible, ainsi qu'au stockage des déchets. Le coût réel de l'uranium naturel n'équivaut qu'à 10 pour cent environ des coûts de production de l'électricité dans des centrales

nucléaires, alors que les combustibles fossiles entrent pour plus de 50 pour cent dans les coûts de production de l'électricité à partir de ces centrales. En conséquence, les coûts de production de l'électricité d'origine nucléaire sont beaucoup moins sensibles aux fluctuations intervenant dans le prix du combustible de base.

Perspectives en matière d'offre d'uranium : le « Livre rouge »

On peut facilement se prémunir contre des interruptions à court terme des approvisionnements en uranium en constituant un stock (qui, en général, permet de couvrir les besoins pendant une période de l'ordre de un à quatre ans) mais le coût d'entretien d'un stock important peut être prohibitif, notamment pour les petites compagnies d'électricité. Par ailleurs, aucune compagnie d'électricité ne veut effectuer les énormes investissements nécessaires à la construction d'une centrale nucléaire à moins d'avoir l'assurance qu'elle pourra obtenir suffisamment d'uranium



Répartition géographique des ressources en uranium

pour alimenter la centrale pendant toute sa durée de vie utile – qui peut atteindre quarante ans ou davantage. Il importe donc au plus haut point de connaître la situation à court terme aussi bien de l'offre que de la demande d'uranium et d'avoir une idée claire des possibilités d'approvisionnement en uranium au-delà de la fin du siècle. Tel est le principal objectif du Groupe d'orientation sur les ressources en uranium qui, tous les deux ans, établit le rapport intitulé *Uranium : ressources, production et demande* couramment appelé *Livre rouge*. L'édition la plus récente de ce rapport a été publiée en décembre 1983.

La première partie du Livre rouge a trait aux ressources en uranium. Celles-ci sont divisées en différentes catégories suivant le degré de confiance qui peut être accordé aux estimations – et qui correspond en général à l'importance des efforts consacrés à l'étude des roches uranifères – et les coûts de production de l'uranium à partir des gisements. L'estimation la plus récente (se reporter à la fin du présent Article) de la quantité d'uranium ayant été découverte et susceptible d'être produite à des coûts inférieurs à \$80 par kg d'U (\$30 par livre d' U_3O_8) se situe autour de 2,6 millions de tonnes. En outre, on a découvert un million de tonnes supplémentaires d'uranium qui pourrait être produit à des coûts compris entre \$80 et \$130 par kg d'U (\$30-\$50 par livre d' U_3O_8). Il est très tentant de prendre ces 3,6 millions de tonnes et de les comparer directement aux quantités cumulées d'uranium requises pour alimenter en combustible les réacteurs qui, selon nos prévisions, devraient être en service au cours des quarante ou cinquante prochaines années, puis d'en déduire simplement que tous les besoins seront couverts jusqu'en 2020 ou 2025, voire au-delà, suivant le taux exact d'expansion de la puissance nucléaire qui aura été adopté.

Malheureusement, une démarche aussi sommaire n'a qu'une portée limitée car elle ne tient pas compte de toute une gamme de facteurs, et notamment des problèmes pratiques liés à la production d'uranium. C'est ainsi que la demande totale d'uranium dans le monde (y compris les pays à économie planifiée) jusqu'à la fin du siècle est susceptible d'atteindre un peu plus d'un million de tonnes. Les réserves d'uranium signalées par la société d'exploitation du très important gisement d'Olympic Dam en Australie méridionale pourraient répondre entièrement à cette demande (il est probable que seule une faible proportion de ces réserves a été prise en compte dans les 3,6 millions de tonnes de ressources découvertes). Cependant, la possibilité technique de produire de l'uranium à partir d'un tel gisement à la cadence de

40 000 à 70 000 tonnes par an est pratiquement inexistante car cela représenterait dix fois le taux de production des plus grandes mines d'uranium en exploitation dans le monde. D'autre part, toutes les compagnies d'électricité du monde ne souhaiteront évidemment pas se procurer la totalité de leur combustible auprès d'un seul fournisseur, voire d'un seul pays. Il est vraisemblable que le taux d'exploitation de ce gisement se situera autour de 2 500 à 3 000 tonnes d'uranium par an à partir de la fin de la présente décennie. Bien entendu, il s'agit d'un exemple extrême, qui sert toutefois à montrer pourquoi il est nécessaire, lorsqu'on établit des projections sur l'offre future d'uranium, de procéder à une analyse détaillée de la production future.

Les projections relatives à l'offre future d'uranium qui figurent dans le Livre rouge ont donc été établies à l'aide d'estimations de la capacité théorique de production compilées par les autorités nationales sur la base de chaque centre de production ; par centre de production, on entend l'unité constituée par une ou plusieurs installations de traitement et une ou plusieurs mines qui les alimentent. Deux projections ont été établies : la première était une projection détaillée jusqu'en l'an 1995 reposant uniquement sur les centres déjà *existants* et ceux dont la construction avait été *commandée*. La deuxième était une projection à plus long terme, fondée aussi bien sur les centres existants et commandés que sur ceux qui étaient *prévus* ou *envisagés* en fonction des ressources dont la présence avait déjà été établie. Selon la première projection, la production à partir des ressources découvertes (ou *connues*) pourrait augmenter lentement pour atteindre de l'ordre de 50 000 tonnes par an à la fin de la présente décennie et se maintenir à ce niveau pendant les cinq prochaines années environ. Selon la deuxième projection, la production possible à partir de ces ressources pourrait, *s'il le fallait*, être rapidement portée à près de 75 000 tonnes par an d'ici à 1995 avant de commencer à baisser lentement. Il convient de préciser qu'il est fort peu probable que la demande d'uranium atteigne les 75 000 tonnes au cours des années 90.

La demande d'uranium

Dans le Livre rouge, les besoins annuels en uranium des réacteurs ont été utilisés comme indicateurs de la demande. Bien que la demande effective à n'importe quel moment soit influencée par des facteurs tels que les politiques d'achat des compagnies d'électricité, l'importance des stocks qu'elles détiennent et leurs

engagements contractuels (contrats d'enrichissement, par exemple), les fluctuations s'équilibreraient à plus long terme, de sorte que les données utilisées dans ce rapport devraient fournir une approximation raisonnable de la demande. Cependant, depuis que ce rapport a été établi, le Secrétariat de l'AEN a reçu de nouvelles informations qui ont entraîné une révision en baisse des estimations de la puissance nucléaire installée dans la zone de l'OCDE se traduisant, à son tour, par une diminution significative (plus de 10 pour cent) des estimations relatives aux besoins annuels en uranium. Sur la base de ces données, les nouvelles estimations pour le MEM s'établissent comme suit : 1985 – 35 900 tonnes ; 1990 – 47 500 tonnes ; 1995 – 55 700 tonnes ; 2000 – 66 700 tonnes.

Si l'on compare les projections concernant l'offre d'uranium avec ces nouvelles estimations de la demande, il apparaît clairement que :

1. Les centres de production existants et commandés pourraient continuer à satisfaire tous les besoins en uranium jusqu'au-delà de la fin de la présente décennie et, éventuellement, compte tenu des récentes révisions en baisse des estimations relatives à l'expansion de la puissance nucléaire installée, jusqu'au milieu des années 90.
2. La production d'uranium à partir des ressources déjà découvertes pourrait, s'il le fallait et à condition de bénéficier des mesures d'incitation requises, être portée à 75 000 tonnes par an d'ici à 1995. Il ne sera pas nécessaire d'atteindre un tel niveau de production au cours de ce siècle.
3. La production à partir des ressources connues pourrait couvrir la demande pendant quelques années encore après la fin du siècle.

Perspectives à plus long terme

Il ne semble guère faire de doute que la production d'uranium à partir des ressources déjà découvertes pourra répondre à la demande pendant les vingt prochaines années. Cependant, lors de l'établissement des plans de nouvelles centrales nucléaires, on a avancé le chiffre de quarante années d'approvisionnement. Aussi la principale question qu'il faut alors se poser est-elle la suivante : *Quelle est la possibilité de combler l'écart qui, à un moment donné au cours du siècle prochain, ne manquera pas de se creuser entre les approvisionnements d'uranium tirés des ressources découvertes et la demande ?*. Pour répondre à cette question, il convient d'examiner une fois de plus les données relatives aux ressources.

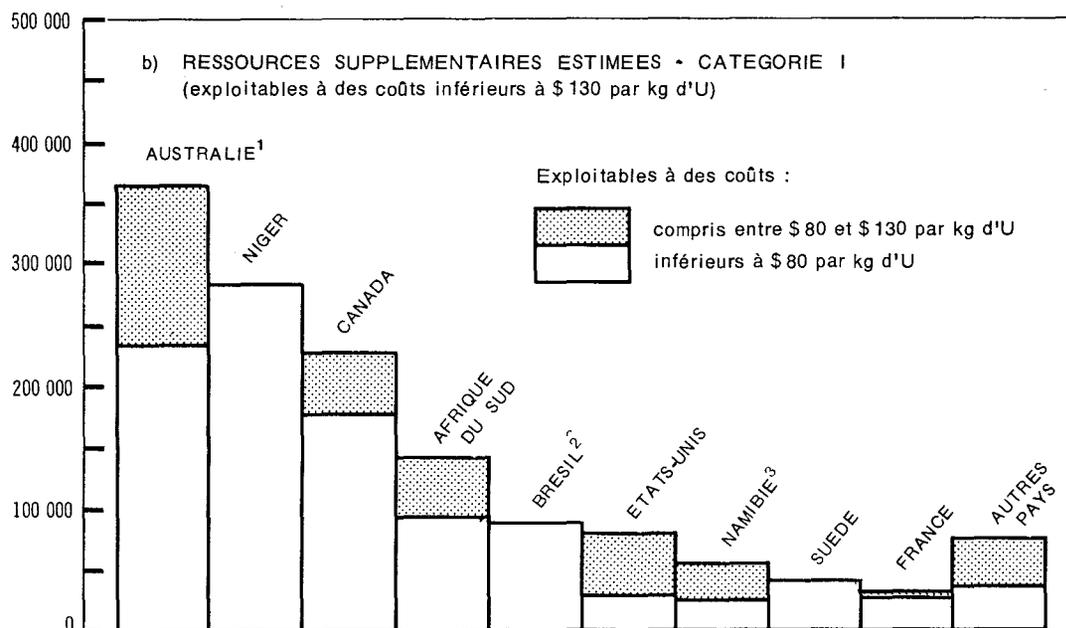
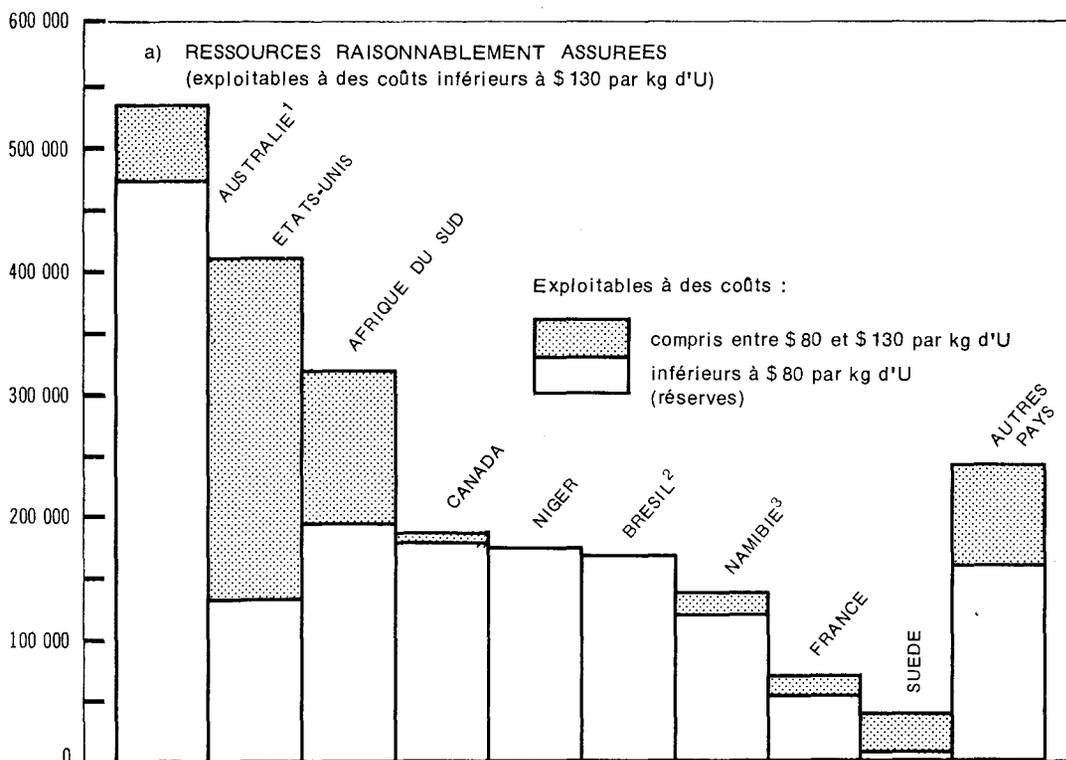
Outre les ressources connues exploitables à des coûts inférieurs à \$130 par kg d'U, il y en a beaucoup d'autres qui doivent aussi être considérées comme des sources possibles d'approvisionnement à plus long terme. Les sources les plus probables d'uranium supplémentaire sont constituées par les gisements non encore découverts qui, lorsqu'ils le seront, pourraient être exploités à des coûts analogues à ceux actuellement pratiqués par l'industrie d'exploitation de l'uranium. Ces ressources non découvertes (décrites dans le Livre rouge comme Ressources Supplémentaires Estimées – Catégorie II et Ressources Spéculatives), qui pourraient être exploitées à des coûts inférieurs à \$130 par kg d'U, sont évaluées à plus de 10 millions de tonnes d'uranium au total. Il est assurément possible qu'à la suite de leur découverte, la production provenant d'une fraction seulement de ces ressources permette de faire face à toute pénurie prévisible en matière de production au moins jusqu'en 2025. De plus, il existe des ressources exploitables à des coûts plus élevés, dont un million de tonnes environ ont déjà été découvertes et décrites, ainsi que de très grandes quantités d'uranium associées à des gisements de phosphates (au Maroc, ces gisements renferment plus de 6 millions de tonnes d'uranium) et aux schistes noirs existant dans de nombreux pays. Cet uranium pourrait être produit à des coûts qui permettraient au nucléaire de conserver son avantage économique par rapport aux autres sources d'énergie.

Avertissement

Il y a lieu de faire remarquer que, même si l'offre d'uranium suffira largement à couvrir l'expansion de la puissance nucléaire installée pendant les quarante prochaines années au moins, l'industrie assurant cette offre est confrontée à un certain nombre de problèmes qui doivent être résolus, et notamment les suivants :

1. A l'heure actuelle, la production d'uranium est en baisse et plusieurs producteurs doivent se retirer du marché. L'offre devient tributaire de l'exploitation d'un nombre de mines de plus en plus restreint.
2. L'autre aspect de la question est que la demande d'uranium va en augmentant et pourrait, avant la fin de la présente décennie, dépasser le niveau de l'offre. De nouvelles mines devront être ouvertes au cours des années 90, ce qui obligera à consacrer de gros investissements à une denrée qui, à l'heure actuelle, est jugée peu attrayante.

En tonnes d'U



1. Source : Bureau Australien des ressources minérales, mars 1984.

2. Uranium contenu « in situ ».

3. OCDE(AEN) / AIEA : « Uranium Ressources, Production et Demande », Paris 1982.

3. Comme l'offre d'uranium a été excédentaire pendant de nombreuses années, il existe d'importants stocks susceptibles d'influer en permanence sur le marché de l'uranium.
4. Au-delà de la fin du siècle, il faudra produire des quantités croissantes d'uranium à partir de ressources qui restent encore à découvrir, ce qui impliquera une très forte intensification des activités de prospection, lesquelles sont actuellement en chute libre.

Cependant, les problèmes auxquels l'industrie de l'uranium est confrontée ne devraient pas encore revêtir un caractère préoccupant pour les compagnies d'électricité ou les spécialistes de la planification énergétique. L'offre d'uranium pourra progresser jusque bien après le début du siècle prochain, et ne manquera pas de le faire, pour autant qu'elle bénéficie de mesures d'incitation appropriées. La plus grande menace qui pèse sur cette progression de l'offre tient à la faible progression de la demande.

Mise à jour des données sur l'offre et la demande d'uranium

Depuis la publication au début de cette année de la dernière édition du rapport *Uranium, Ressources, Production et Demande*, l'Agence pour l'Énergie Nucléaire a rassemblé de nouvelles informations qui viennent sensiblement modifier l'analyse de l'offre et de la demande d'uranium.

Les informations les plus importantes qui entraînent des répercussions sur les caractéristiques de l'offre proviennent du Niger. Ces chiffres, qui sont parvenus trop tardivement pour être inclus dans le Livre rouge, indiquent qu'il s'est produit un accroissement substantiel du volume des ressources d'uranium connues de ce pays par rapport aux derniers chiffres annoncés (passant de 213 000 à 454 000 tonnes). Cet accroissement a permis aux autorités du Niger de prévoir une forte augmentation de la capacité de production d'uranium du pays dans les années 1990, avec la perspective de maintenir le niveau plus élevé jusqu'à la fin de la période couverte par le rapport (2025). En outre, l'Australie a très récemment fait état d'une augmentation substantielle de ses réserves d'uranium (passant de 314 000 à 474 000 tonnes) et de divers changements dans d'autres catégories de ressources.

Les réductions opérées au cours des mois récents dans les prévisions d'expansion de l'énergie nucléaire de quelques pays ont eu pour conséquence de modifier en baisse les besoins futurs en uranium. Pour les pays de l'OCDE, les prévisions de capacité installée en 1990 ont été ramenées de 303 GWe (chiffre annoncé dans le dernier Livre rouge) à 282 GWe. Pour 1995, les prévisions passent de 377 GWe à 340 GWe. Il ressort d'un examen critique effectué par le Secrétariat que ces capacités pourraient subir de nouvelles révisions en baisse de l'ordre de 5 à 10 pour cent. On estime que le ralentissement de l'expansion de l'énergie nucléaire aura une profonde influence sur les besoins en uranium à plus long terme.

Des informations détaillées sur la situation des ressources et de la production d'uranium au Niger, sur les données révisées relatives à l'Australie, ainsi que la dernière édition de la brochure *Quelques données sur l'énergie nucléaire et le cycle du combustible dans les pays Membres de l'OCDE* sont disponibles gratuitement à l'AEN.

NOTES SUR LES TRAVAUX EN COURS ET LES ACTIVITÉS DE L'AEN

Évaluation du rôle des facteurs humains dans la sûreté nucléaire

par Michael Stephens
Division de la sûreté nucléaire, AEN

Le présent article expose le problème des facteurs humains, les raisons pour lesquelles il est difficile d'évaluer l'importance pour la sûreté nucléaire et certains des travaux effectués en vue de le résoudre.

Sous l'effet de la fatigue, un travailleur se trompe dans la lecture d'une étiquette mal imprimée et arrête le mauvais système de commande. Un opérateur comprend mal une instruction et diminue un débit de réfrigérant au lieu de l'augmenter. Au cours d'un changement de quart, un technicien oublie d'informer son remplaçant de la façon dont un certain circuit est réglé et les disjoncteurs du circuit ne sont pas remis en place après une vérification du système. Des erreurs et omissions de ce type se produisent dans n'importe quelle installation industrielle, y compris les réacteurs nucléaires. Quelle est l'importance de ces fautes pour la sûreté de l'installation ? Comment pouvons-nous en réduire au minimum la fréquence et les conséquences ? Comment allons-nous évaluer leurs incidences sur la fiabilité et la disponibilité des systèmes ?

Il est difficile d'évaluer le comportement humain même en termes qualitatifs car les êtres humains ne sauraient être assimilés à des machines ; ils peuvent agir de nombreuses façons, à des moments différents, et leurs décisions sont influencées par de nombreux facteurs psychologiques. C'est ainsi qu'ils peuvent exécuter différemment des tâches même bien définies et, avec plus ou moins d'efficacité, suivant l'habitude que chacun d'eux a de la tâche en question, suivant son degré de fatigue et les autres tâches qu'il doit exécuter, la connaissance que chaque individu a du travail à effectuer et des objectifs spécifiques à atteindre, le milieu physique changeant dans lequel il travaille, ses propres relations sociales, etc.

Une autre source de complication à ajouter à cette liste déjà longue est le degré élevé d'interdépendance entre les différentes actions d'un même individu. Une fois que quelqu'un a commis une erreur, il ou elle va très probablement la répéter, voire l'aggraver par de nouvelles erreurs. Il est aussi fort difficile (sinon impossible) de définir une façon *optimale* d'accomplir une tâche. Il est plus utile de définir un profil acceptable de comportement au cours d'une période donnée, en définissant clairement les objectifs à atteindre, ainsi que les limitations et hypothèses admises dans la description du comportement humain attendu.

Le premier effort concerté en vue de mesurer l'importance de l'élément humain dans la sûreté nucléaire se situe dans le cadre de l'étude américaine de 1975 sur les risques liés aux réacteurs, couramment désignée sous le sigle WASH-1400 [Étude de la sûreté des réacteurs, Commission de la réglementation nucléaire des États-Unis, NUREG-75/014 (1975)]. Cependant, cette étude avait ses défauts. Les principaux modèles dont on disposait à l'époque pour décrire les actions humaines supposaient certaines erreurs *types* que les gens ont tendance à commettre et notamment : erreur d'exécution (action nécessaire n'ayant pas été exécutée correctement), erreur par omission (action n'ayant pas du tout été exécutée), erreur dans la cadence d'exécution (actions non achevées dans les délais voulus), erreur dans la succession des opérations (actions non exécutées dans l'ordre voulu) et erreur intempestive (actions superflues qui interfèrent

avec le déroulement normal des événements). Les raisons psychologiques qui sous-tendent ces erreurs n'ont pas été étudiées en détail.

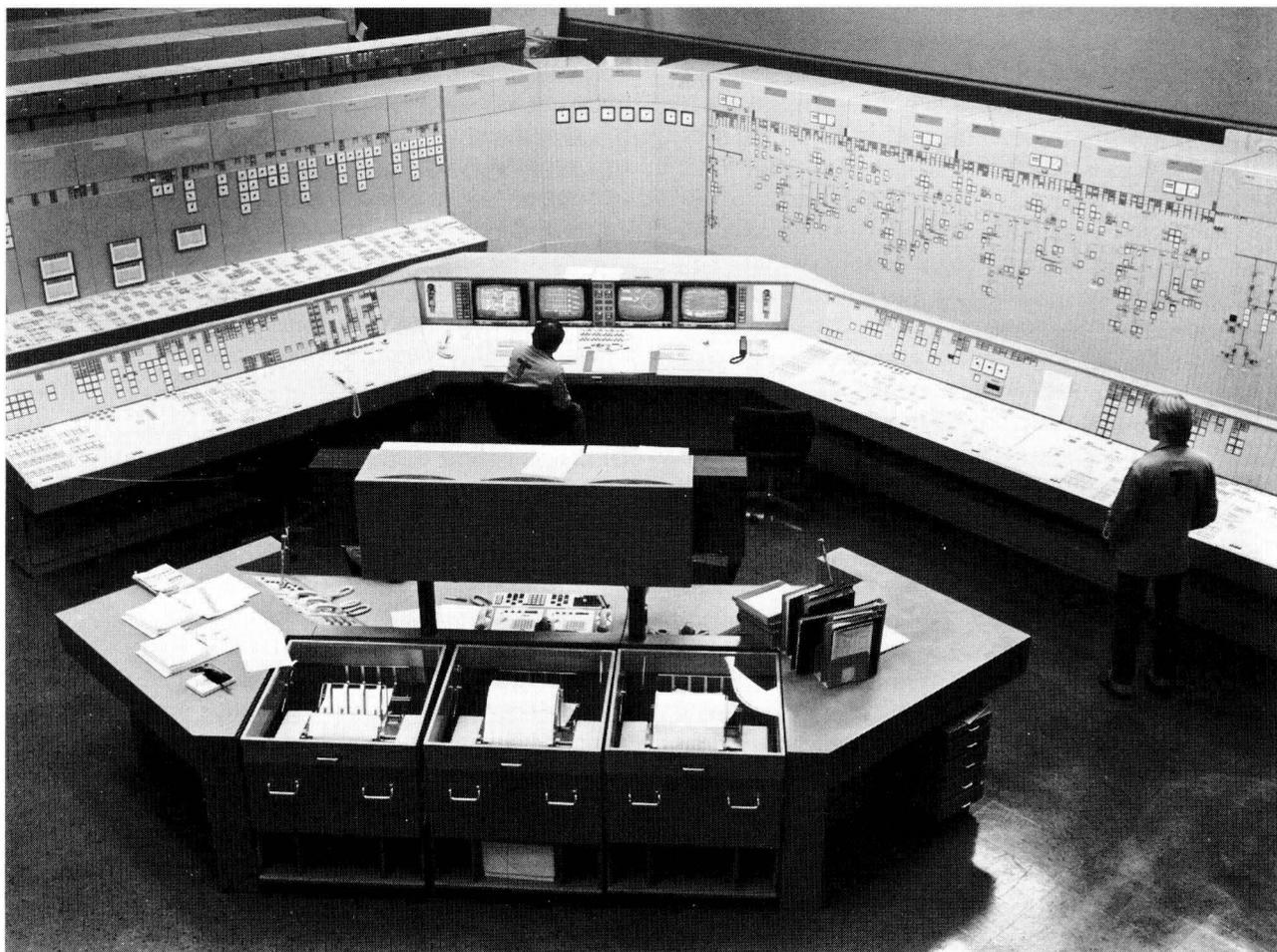
Contribution de l'AEN

Les limitations de cette démarche, du point de vue tant des données que de la modélisation, n'ont pas tardé à être relevées et, en 1978, le Comité sur la sûreté des installations nucléaires (CSIN) de l'AEN a lancé une enquête sur les sources d'information disponibles relatives à la fiabilité humaine, afin d'étudier la façon dont les techniques d'évaluation pourraient être améliorées.

Le premier domaine à examiner englobait les nombreuses descriptions d'incidents survenus dans des centrales nucléaires qui étaient soumises aux divers systèmes nationaux de notification. Ces données et informations avaient l'avantage d'être *réelles* ; cepen-

dant, comme l'histoire de l'industrie nucléaire est relativement brève, la base statistique était insuffisante. En outre, les actions humaines de nature à aggraver les incidents étaient couramment décrites dans ces rapports de façon très incomplète, souvent simplement sous le qualificatif d'*erreur humaine*. Les détails importants faisaient en général défaut, s'agissant par exemple du moment auquel une erreur a été commise et où elle a été découverte par la suite ; il était rarement rendu compte d'autres facteurs contribuant aux erreurs humaines (par exemple, ce que la personne en cause cherchait à faire, quelles informations nécessaires lui avaient manqué et sur quelles hypothèses erronées elle s'était appuyée pour essayer de décider comment atteindre son but).

Le Groupe du CSIN a étudié plusieurs autres sources possibles d'informations sur le comportement humain. C'est ainsi que des organismes à vocation aussi bien militaire qu'aérospatiale recueillent depuis longtemps des données sur la fiabilité humaine.



La salle de commandes de la centrale nucléaire d'Olkiluoto, en Finlande (TVO)

Toutefois, ces informations sont éminemment spécialisées et non aisément transférables au personnel affecté à une centrale nucléaire. Le compte rendu des séances de formation mettant en jeu des simulateurs de salle de commande pourrait constituer une autre source d'informations sur le comportement des opérateurs. Malheureusement, les divergences entre la réalité et l'attitude face à des simulateurs ont rendu suspectes les données de ce type.

Ce qui manquait, même dans les tentatives en vue de recueillir des *données sur la fiabilité humaine*, c'est une façon de classer les erreurs dans des catégories bien définies. Ainsi, lorsqu'on cherchait à recueillir des informations sur certaines actions humaines incorrectes (lecture erronée des étiquettes, par exemple), on se heurtait toujours au problème qui consiste à préciser le contexte psychologique dans lequel chaque erreur avait été commise. Apparemment, il était possible de rassembler des statistiques simples, portant notamment sur le nombre de fois où de grandes vannes restent en mauvaise position dans une centrale type. Cependant, comme il a été indiqué ci-dessus, nombreuses sont les raisons psychologiques pour lesquelles de telles erreurs peuvent être commises, de sorte que les statistiques ne contribuent guère à montrer les moyens d'en corriger les causes.

Description du comportement humain

Que faire pour surmonter ces obstacles ? Il est indispensable, pour progresser dans ce domaine, de s'entendre sur une description qualitative cohérente des mécanismes psychologiques qui sous-tendent les actions humaines et les facteurs susceptibles de les influencer. Une fois ce résultat obtenu, il serait possible non seulement de recueillir des données homogènes sur la fiabilité humaine, mais aussi d'en déduire des façons d'améliorer l'efficacité des systèmes et de décrire l'importance, du point de vue de la sûreté, des autres erreurs auxquelles il fallait encore s'attendre et qui devaient être prises en compte. On a adopté un modèle à trois niveaux des processus de pensée humaine, définis en termes de compétences acquises, de règles apprises et de pensée créatrice. Cette distinction entre les modes de pensée est importante car une action incorrecte peut découler de types tout à fait différents d'erreur mentale. Par exemple, il se peut que la personne ou les personnes en cause soient maladroites, oublient que la situation constitue un cas spécial ou interprètent mal ce qui se produit.

Le Groupe de l'AEN a établi une série de catégories de données fondées sur cette façon de décrire les processus de pensée qui se sont fourvoyés et les

L'accident de Three Mile Island

On s'est souvent demandé si les analyses de sûreté effectuées avant l'accident de Three Mile Island (TMI) avaient couvert les événements qui s'étaient produits dans cette centrale. Des séquences analogues de défaillances d'équipements avaient en fait été envisagées dans de précédentes évaluations des risques. Cependant, la séquence précise des actions humaines en cause n'avait pas, comme on aurait pu s'y attendre, été dégagee.

Toutefois, en se fondant sur les erreurs commises à divers stades de l'accident (avec l'avantage du recul), on peut observer que certaines conditions régnant dans l'installation ont favorisé les types d'erreurs qui ont été commises. Par exemple, plusieurs défaillances d'équipements ont fait que le personnel a reçu des informations incorrectes à divers moments : les fiches de réparation masquaient des indicateurs lumineux sur le panneau de commande, un indicateur montrait qu'une vanne était fermée alors qu'en fait elle était restée ouverte,

une jauge se trouvait sur un panneau de commande secondaire qui n'était pas directement visible. D'autres défaillances d'équipements sont venues compliquer la situation : deux vannes étaient restées fermées par erreur après une vérification antérieure du système, une fuite mineure persistante avait dissimulé l'apparition, par la suite, d'une fuite importante. La formation que les opérateurs avaient reçue précédemment les a aussi induits en erreur : ils ont arrêté les pompes de circulation du fluide de refroidissement après avoir mal interprété l'importance des niveaux de ce fluide. Une évaluation ultérieure de tout le déroulement des événements survenus à Three Mile Island a permis d'apporter des améliorations notables non seulement aux équipements et aux pratiques de formation, mais aussi à la façon dont l'élément humain est considéré et pris en compte dans la conception et l'exploitation des centrales.

facteurs fortuits qui s'y rattachent. Ce Groupe a aussi élaboré une stratégie en vue de tirer le meilleur parti possible des sources d'information disponibles, de recueillir des données sur le comportement humain avec plus d'efficacité que n'importe lequel des systèmes existants et sous une forme directement utilisable par les spécialistes de l'analyse des facteurs humains. Cette stratégie implique que le personnel des installations soit couramment appelé à fournir des informations de base sur les incidents et que des équipes de spécialistes examinent les relevés d'exploitation des installations et interrogent le personnel au sujet de certains événements importants en vue de les analyser plus en détail.

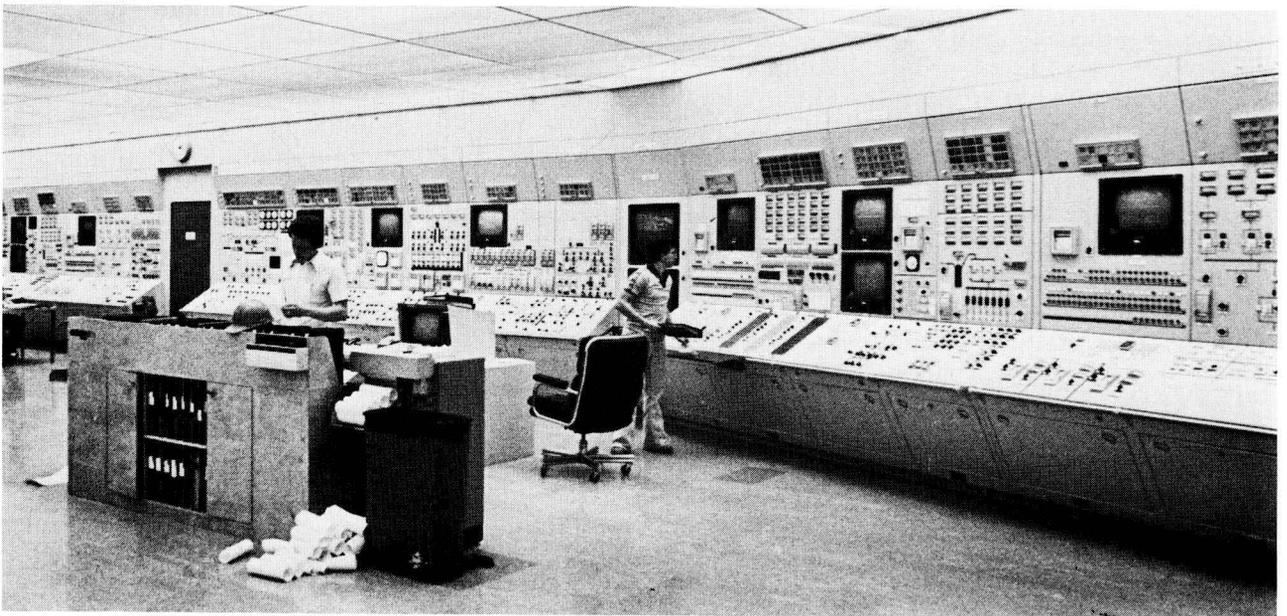
Amélioration du rôle des facteurs humains dans la sûreté nucléaire

Pour améliorer la sûreté, il est plus profitable d'optimiser le milieu dans lequel une personne qualifiée doit travailler que de chercher à *améliorer* d'une façon quelconque les facultés intrinsèques de ladite personne. Même une connaissance superficielle du comportement humain permet d'en déduire certains principes généraux visant à aider les êtres humains à se comporter correctement. Bon nombre de ces principes sont aussi évidents qu'ils sont souvent enfreints : veiller constamment à ce que les équipements portent des étiquettes cohérentes et permettant de les différencier, contrôler les panneaux de commande et les documents, concevoir les systèmes

de manière à ce que, d'une part, ils donnent des réponses sans équivoque en cas d'intervention humaine et, de l'autre, ils surmontent les défaillances dues à des causes humaines (ou en réduisent les conséquences au minimum).

Les études sur les facteurs humains progressent désormais rapidement dans de nombreux pays. On se préoccupe bien davantage des besoins humains en concevant les équipements que des individus seront appelés à faire marcher et en tirant des enseignements de l'expérience acquise en vue de corriger les erreurs du passé. Beaucoup d'efforts sont consacrés à la mise au point de techniques mathématiques permettant de quantifier l'importance du comportement humain pour la fiabilité des systèmes et les risques découlant d'accidents. Les travaux actuels de l'AEN sont axés sur le type de formation qu'il convient de dispenser aux opérateurs pour qu'ils comprennent mieux ce qui se passe dans une centrale en cas d'urgence et sur les procédures et équipements dont ils pourraient être dotés pour faire face aux accidents au cours desquels le cœur du réacteur a été endommagé ou des systèmes essentiels ont été altérés.

Des exemplaires des rapports établis par un Groupe de l'AEN qui s'intitulent *Guide pour la rédaction des procédures d'entretien, d'essai et d'étalonnage* (Rapport n° 68 du CSIN) et *Évaluation de la fiabilité humaine dans les centrales nucléaires* (Rapport n° 75 du CSIN) peuvent être obtenus sur demande adressée par écrit à la Division de la sûreté nucléaire, Agence de l'OCDE pour l'Énergie Nucléaire, 38 boulevard Suchet, F-75016 Paris, France.



Salle de commande d'une centrale au Canada. (Ontario Hydro).

La fiabilité des méthodes d'essai non destructif : les programmes PISC

par Peter Oliver
Division de la sûreté nucléaire, AEN

Les phénomènes de fissuration par corrosion sous contrainte dans les canalisations de réacteurs à eau bouillante ou les fissures découvertes sous le revêtement de la cuve dans des réacteurs français à eau sous pression constituent des manifestations récentes d'un problème général de sûreté qui se pose depuis longtemps.

Quelles sont les perspectives offertes par les méthodes non destructives pour la détection, la localisation et l'évaluation des dimensions des pailles ?

Origines du projet PISC

A la fin des années 70, un certain nombre de pays Membres de l'OCDE se sont associés à un projet international informel en collaboration, organisé sous l'égide du Comité de direction de l'inspection des plaques (Plate Inspection Steering Committee – PISC), en vue de déterminer les limites de précision des méthodes de détection des fissures. On a été amené à mettre sur pied le programme PISC en raison de la connaissance de plus en plus poussée, dans les différents pays, de la propagation des fissures dans les aciers et des conséquences qui en découlent pour l'intégrité d'une structure, ainsi que de l'évolution intervenue dans les méthodes de détection. Dans ce projet, il s'agissait simplement de tester au plan international une procédure d'essai par ultrasons recommandée dans le Code américain ASME XI et utilisée dans de nombreux pays.

Trois plaques d'acier épaisses (30 cm) comportant des soudures ont été mises à la disposition du projet par le Comité de recherches sur les cuves sous pression (PVRC) des États-Unis dans le cadre de son programme de recherche à long terme et elles ont été expédiées tour à tour dans dix pays de l'OCDE, où des équipes d'inspection se sont efforcées de localiser, à l'aide de la procédure ASME, les pailles artificielles qui avaient été implantées dans les soudures. Ces équipes ont également été invitées à inspecter les plaques d'essai à l'aide de toute autre méthode de pointe.

Par rapport à la distribution des défauts réels qui est apparue lors du découpage des plaques à la fin du programme, les résultats de l'inspection ont accusé une dispersion considérable d'une équipe à l'autre. Ils ont aussi montré que les procédures d'essai classi-

ques ne permettraient de déceler que la moitié environ des types de défauts dont la présence, selon les règles de la mécanique théorique, devrait être évitée dans une cuve caractéristique d'un réacteur à eau sous pression. (D'autres méthodes ont donné des résultats à la fois meilleurs et plus cohérents.) Ce premier programme PISC ne peut nullement être qualifié d'expérience scientifique mais il a bien attiré l'attention sur la nécessité de dispenser une formation appropriée aux inspecteurs en vue d'améliorer la cohérence des résultats, et sur l'urgence qu'il y avait à introduire des techniques plus nouvelles aptes à localiser toutes les pailles importantes.

Localisation des pailles dans des sections d'acier de forte épaisseur

L'AEN a donc décidé de réaliser un deuxième programme PISC afin d'examiner de plus près le degré de fiabilité avec lequel les meilleures méthodes disponibles permettraient de localiser les pailles et d'en évaluer les dimensions dans des sections d'acier de forte épaisseur. Quatre nouveaux blocs d'essai, soit deux plaques planes comportant des soudures bout à bout et deux plaques à tubulures encastées, ont été fournies par quatre pays Membres (République fédérale d'Allemagne, Italie, Japon et Royaume-Uni) à des fins d'inspection dans le cadre d'une série d'essais circulaires menés à l'échelon international. Ces plaques, qui pèsent jusqu'à 16 tonnes, comportent divers défauts implantés dans les soudures. Elles sont envoyées successivement à quatorze pays au titre d'un programme triennal qui devrait s'achever en août 1984.

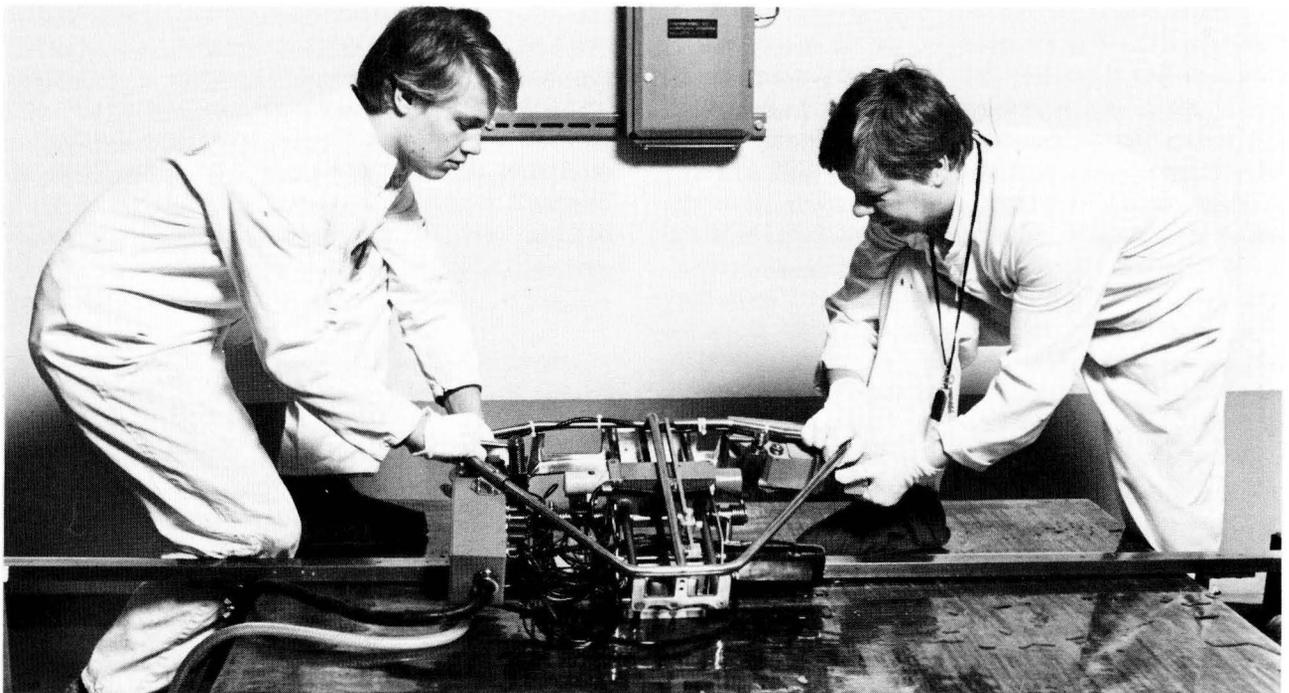
Les équipes d'inspection, qui bien entendu ne con-

naissent pas la configuration des défauts, sont invitées à utiliser toute technique et procédure d'inspection par ultrasons de leur choix, pour autant qu'elles soumettent la totalité des informations au laboratoire arbitre, en même temps que les résultats des essais. Les données sont informatisées, afin qu'il soit possible d'établir une comparaison avec la configuration réelle des pailles, laquelle ne sera connue que lorsque les plaques seront découpées au cours d'un *examen destructif* à la fin de l'année. Les données sont codées de manière à protéger l'anonymat des équipes chargées des essais, dont l'identité n'est connue que du laboratoire arbitre.

Parallèlement aux essais circulaires, un certain nombre d'études spéciales sont effectuées dans les laboratoires de recherche de cinq pays Membres, en vue de déterminer quantitativement les effets, sur la détection des défauts et l'évaluation de leurs dimensions, de plusieurs facteurs tels que la présence d'un revêtement en acier inoxydable sur les plaques, les

caractéristiques du matériel d'essai et la nature précise des défauts eux-mêmes. Ces études s'achèveront en même temps que les essais circulaires et les deux séries de résultats seront groupées de manière à parfaire les connaissances relatives à la fiabilité.

D'importants progrès ont été réalisés au cours des dix dernières années dans les méthodes d'inspection par ultrasons : l'enregistrement automatique des mouvements des palpeurs, joint au traitement informatisé des données, rend l'inspection beaucoup moins tributaire de l'opérateur, d'où une meilleure cohérence dans les résultats. Le projet PISC-II indiquera la voie à suivre pour parvenir aux meilleures procédures et déterminera pour la première fois la façon dont les résultats sont influencés par des facteurs tels que les variables liées au revêtement et au matériel. Les résultats seront portés à l'attention des autorités compétentes en matière de réglementation et d'autorisation, en tant que contribution à l'amélioration des codes de bonne pratique.



Essai de la plaque n° 2 du programme PISC II à VTT, en Finlande (VTT)

Enseignements tirés de l'expérience : le système de notification des incidents (IRS) de l'AEN

par Koichi Morimoto
Division de la sûreté nucléaire, AEN

Depuis longtemps, de nombreux pays de l'OCDE s'emploient à trouver de meilleurs moyens d'échanger des informations sur les incidents survenus au cours de l'exploitation des réacteurs, afin que les enseignements tirés de l'expérience puissent être exploités en retour au stade de la conception et de la construction.

En fait, les pays Membres de l'AEN ont entrepris dès 1965 d'échanger régulièrement des informations sur les aspects importants de l'expérience acquise en cours d'exploitation, tout en se rendant compte qu'il fallait systématiser les échanges pour en accroître l'efficacité à mesure que les centrales nucléaires se multipliaient dans chaque pays et que leurs équipements devenaient plus standardisés. L'accident survenu à la centrale de Three Mile Island (TMI) en 1979 a contribué à rendre la nécessité d'un tel système plus évidente. L'AEN a commencé à jouer un rôle actif à cet égard en 1980, date à laquelle son Comité sur la sûreté des installations nucléaires (CSIN) a introduit le système de notification des incidents (Incident Reporting System – IRS) à titre d'essai. En 1983, les pays participants ont franchi une nouvelle étape en convenant d'élaborer des lignes directrices et d'accepter des procédures d'échange et des critères de notification. Au cours des douze derniers mois, ce système est devenu pleinement opérationnel.

Le système de notification des incidents poursuit deux principaux objectifs :

- D'une part, il permet aux autorités chargées de la réglementation et aux compagnies d'électricité de profiter des enseignements tirés d'incidents importants qui se produisent dans d'autres pays. Celles-ci sont alors en mesure de décider si les enseignements en question doivent être appliqués à leurs propres installations et comment prendre des mesures correctrices pour empêcher des incidents analogues.
- De l'autre, ce système peut aider à cerner les sujets de préoccupation ou les problèmes génériques de sûreté qui justifient l'introduction de nouvelles améliorations dans la conception des systèmes ou dans les pratiques opérationnelles et les recherches sur la sûreté.

Les pays participant au système de notification des

incidents s'engagent à rendre compte des incidents conformément à des procédures et critères communs de notification. Un pays de l'AEN qui ne possède pas de centrale nucléaire peut s'associer au système en qualité d'observateur et recevoir les informations diffusées, à condition qu'il accepte de souscrire à l'engagement de notification au cas où il se doterait en fin de compte d'installations nucléaires.

Toutes les communications entre les pays participants et le secrétariat de l'AEN sont assurées par les *coordonnateurs IRS* désignés par les autorités locales. Les coordonnateurs ont deux tâches principales : ils analysent les événements en fonction de l'importance que ces derniers présentent pour la sûreté et établissent des rapports. Chaque rapport IRS comprend une page de couverture qui résume brièvement l'incident. Les caractéristiques des événements, leurs causes possibles, les enseignements tirés et les mesures prises sont exposés en détail. Il est également fait mention des *motifs de la notification*, afin d'expliquer pourquoi le coordonnateur a jugé l'incident important. Une fois achevés, ces rapports sont envoyés à l'AEN à Paris. Les coordonnateurs diffusent également les rapports IRS qu'ils reçoivent du secrétariat de l'AEN aux organismes compétents de leur propre pays, tels que les compagnies d'électricité et les instituts de recherche.

Les critères de notification sont assez complets et détaillés, les aspects suivants bénéficiant d'une attention particulière : dégradation notable des systèmes liés à la sûreté, libération notable de matières radioactives ou exposition à ces dernières, déficiences dans la conception ou la construction, effets d'incidents extérieurs inhabituels et événements suscitant un intérêt considérable de la part du public.

Recherche de l'information

Un système informatisé de recherche de l'information

est actuellement mis au point en coopération avec l'établissement d'Ispra du Centre commun de recherches de la Commission des Communautés Européennes, afin d'aider les participants au système de notification des incidents et le secrétariat de l'AEN à rechercher des éléments spécifiques dans les notifications d'incidents et à fournir des informations à des fins d'évaluation.

Au cours de 1983, on a effectué une enquête préliminaire sur les 235 notifications d'incidents qui avaient été stockées dans cette banque de données. Cette analyse assistée par ordinateur a permis de dégager la tendance qualitative des incidents à partir d'un certain nombre d'aspects distincts, tels que l'importance des erreurs humaines, le recensement des systèmes défectueux, la classification des incidents suivant leurs caractéristiques et leurs relations avec l'âge des centrales. Cette enquête a montré que plusieurs aspects importants qui présentent de l'intérêt pour les analyses de sûreté visant les incidents pourraient être recensés à l'aide d'un bon système de recherche de l'information. On s'attache actuellement à apporter de nouvelles améliorations au logiciel et aux méthodes utilisées à des fins d'analyse.

Indépendamment de cette analyse utile qui est effectuée à Ispra, l'AEN étudie aussi la possibilité de permettre aux pays participants d'avoir un accès direct en ligne à l'information stockée dans la banque de données. Afin de déterminer les difficultés techniques éventuelles et d'évaluer les coûts, le Commissariat à l'Energie Atomique (CEA), France, installe actuellement à titre d'essai une liaison en ligne avec le système informatique et, compte tenu de cette expérience, une proposition sera établie pour examen par les experts des divers pays participants.

Dès lors qu'une procédure d'accès en ligne aura été arrêtée, chaque pays sera en mesure d'entrer en contact avec le Centre commun de recherches d'Ispra et de rechercher facilement et rapidement les données. A mesure que le nombre de notifications d'incidents stockées dans le système augmentera, la banque de données jouera un rôle beaucoup plus efficace, voire indispensable, dans l'évaluation de la sûreté.

Relations avec le système de l'AIEA

L'Agence Internationale de l'Energie Atomique (AIEA) a aussi travaillé à l'établissement d'un système analogue de notification des incidents destiné à ses Etats Membres et les moyens d'échanger des informations entre les deux systèmes, de manière à éviter les doubles emplois, ont déjà donné lieu à des

échanges de vues. Tous les pays de l'AEN participant au système sont convenus qu'il importe au plus haut point d'observer le principe de la réciprocité dans les contributions respectives et de garantir le caractère confidentiel des rapports.

En dehors de cette activité, les deux Agences ont récemment organisé, à Paris, une réunion en vue de procéder à un échange d'informations sur l'expérience acquise en cours d'exploitation, à laquelle ont assisté des experts venus de dix-huit pays, dont cinq pays non Membres de l'AEN, à savoir l'Inde, la République de Corée, la Tchécoslovaquie, l'URSS et la Yougoslavie. Des sujets tels que la fissuration par corrosion sous contrainte, les anomalies de fonctionnement et le mauvais positionnement des vannes, l'indépendance des circuits électriques et des systèmes de commande, la fréquence des arrêts intempestifs et la fiabilité des groupes électrogènes de secours à moteur diesel ont été présentés comme des aspects importants qui méritaient une analyse plus approfondie. Les participants à la réunion se sont félicités de la possibilité qui leur était offerte d'échanger librement et directement des données sur l'expérience acquise en cours d'exploitation, ainsi que d'examiner les enseignements tirés des incidents importants survenus à l'échelle mondiale.

Au cours de la prochaine réunion prévue en juillet 1984, l'accent sera mis sur l'échange d'informations détaillées plutôt que sur l'évaluation ou l'analyse des incidents. Le choix d'incidents ayant une importance particulière et les analyses détaillées des problèmes génériques de sûreté seront abordés séparément lors de la session annuelle du CSIN.

Amélioration de la fréquence de notification

En mars 1984, 518 rapports au total couvrant 456 incidents avaient été diffusés par l'intermédiaire du système de notification des incidents de l'AEN. La fréquence de notification s'est sensiblement améliorée et se situe désormais en moyenne autour de 0,6 incident par réacteur-an. L'écart entre les contributions fournies par les différents pays s'est resserré et le système de notification des incidents en vient maintenant à être considéré comme l'un des projets internationaux en matière de sûreté nucléaire donnant les résultats les plus intéressants. Dans la totalité des pays Membres de l'OCDE, la sûreté d'exploitation des centrales nucléaires aura assurément tout à gagner des nouveaux progrès qui seront accomplis dans le cadre de ce système.

Comparaison des coûts de production de l'énergie électrique dans les centrales nucléaires et dans les centrales au charbon

C'est en décembre 1983 que l'AEN a publié l'étude sur les coûts de production de l'énergie électrique dans les centrales nucléaires et dans les centrales au charbon. Ce rapport a déjà suscité un large intérêt et des commentaires favorables.

Les travaux ont été exécutés par un groupe d'experts appartenant à onze pays Membres de l'OCDE, y compris un certain nombre de pays d'Europe occidentale, le Canada, les États-Unis et le Japon. Des données nationales comparatives ont été recueillies auprès de ces pays et adaptées à une méthodologie commune, ainsi qu'à une série d'hypothèses fondamentales.

Cet article s'inspire d'une communication intitulée « Une comparaison internationale des coûts de production de l'énergie électrique dans les centrales nucléaires et dans les centrales au charbon », préparée par M. P. Silvennoinen, Chef de la Division du développement de l'énergie nucléaire de l'AEN.

Coûts annuels de production

On calcule les coûts de production de l'énergie électrique par une centrale existante ou prévue en additionnant, d'une part, les coûts de combustible et d'exploitation et, d'autre part, une fraction appropriée du coût en capital. La répartition du capital peut se faire soit d'après l'échelonnement des engagements financiers des compagnies d'électricité, soit sur la base d'un plan d'amortissement plus théorique. Dans ce dernier cas, deux possibilités peuvent être envisagées : soit un amortissement linéaire avec remboursement constant du capital, soit un remboursement par annuités constantes, dans lequel la fraction capital et la fraction intérêt varient.

L'une et l'autre de ces démarches se prêtent à des fins comptables et à l'analyse du financement car elles garantissent que les coûts encourus sont correctement pris en compte. Cependant, une analyse effectuée d'année en année ne fournit guère d'orientations pour la politique d'investissement. Il peut arriver, par exemple, que le coût du kWh varie brusquement d'une année à l'autre.

Coûts moyens pour une centrale prise isolément

Pour obtenir le coût moyen, on divise le coût total (en monnaie actuelle) par la somme de la production annuelle (actualisée) d'électricité pendant toute la durée de vie de la centrale. Telle est la méthode choisie par l'Union internationale des producteurs et distributeurs d'énergie électrique (UNIPED) qui a été

considérée comme offrant le meilleur fondement à l'étude de l'AEN.

Dans ce type de calcul, il faut tenir compte des flux chronologiques de dépenses consacrées à la construction de la centrale, à son exploitation, à son combustible et, ultérieurement, à la gestion du combustible irradié ainsi qu'au déclassement de la centrale. Ces coûts seront actualisés à une date de référence.

Coûts liés au réseau

Cependant, la méthode de la centrale prise isolément qui est décrite ci-dessus pourra ne pas mettre en lumière toutes les incidences économiques découlant du raccordement d'une nouvelle centrale électrique au réseau de distribution. En fait, elle ne fera apparaître ces incidences que si, à la date du raccordement, il est nécessaire que le coefficient d'utilisation en base soit supérieur à la puissance unitaire envisagée pour cette centrale.

On tient compte en général des divers aspects de l'intégration au réseau en considérant la demande prévue, la durée de l'utilisation en énergie et la capacité de toutes les centrales, qu'elles soient nucléaires, alimentées au charbon ou de quelque autre type, et notamment à la fois les centrales en exploitation et celles en construction ou qu'il est prévu de raccorder au réseau. Compte tenu des données sur la demande journalière et annuelle prévue, le processus d'optimisation montrera quelle centrale utiliser à n'importe quel moment donné pour un coût d'exploitation minimal du réseau. Cette

méthode peut servir à déterminer le coût réel d'une adjonction au réseau de production d'électricité mais les résultats s'appliquent à un réseau particulier et ne peuvent être généralisés de façon commode aux fins de comparaison internationale.

Principales hypothèses

Les hypothèses nationales concernant les principaux paramètres varient sensiblement. C'est ainsi que les durées de vie économique adoptées pour un réacteur sont comprises entre 16 et 40 ans, les taux d'actualisation, entre 3 et 9 pour cent en termes réels, les coefficients d'utilisation à l'équilibre, entre 64 et 80 pour cent, et les délais de construction des réacteurs, entre 6 et 10 ans. Dans les comparaisons, on a défini une hypothèse de référence selon laquelle la durée de vie est fixée à 20 ans, le coefficient moyen d'utilisation actualisé, à 70 pour cent et le taux d'intérêt réel, à 5 ou 10 pour cent. Même compte tenu de ces règles fondamentales, on est parvenu à la conclusion qu'il n'existe pas de coût de production de l'électricité par des centrales nucléaires ou des centrales au charbon qui soit le seul exact et qu'il n'y a guère intérêt à chercher à appliquer des hypothèses totalement uniformes, alors que les conditions sont si différentes d'un pays à l'autre et à l'intérieur même d'un pays.

Il a été convenu de rapporter toutes les données au 1er janvier 1981, afin de pouvoir utiliser les résultats que l'UNIPEDÉ a déjà obtenus pour un certain nombre de pays. Le choix de la date de référence constitue l'un des principaux sujets de préoccupation car les imperfections des marchés monétaires mondiaux introduisent une grave distorsion et, de ce point de vue, il faudrait témoigner d'une grande prudence dans la comparaison des résultats. Le fait d'adopter une date de référence différente modifierait l'ordre relatif des pays en ce qui concerne les coûts d'investissement. Il y a lieu de noter en particulier que les rapports entre les estimations nationales de coûts sont très sensibles à la date et à la méthode retenues pour la comparaison.

Cas concrets

La conclusion qui se dégage de l'étude est que les centrales nucléaires mises en service en 1990 en Europe et au Japon présenteront un avantage économique de 30 à 70 pour cent par rapport aux centrales au charbon concurrentes. En revanche, aux États-Unis et au Canada, la compétitivité du nucléaire et du

charbon dépend, dans une très large mesure, de la région considérée. Les centrales nucléaires présenteront un avantage économique dans les provinces centrales et atlantiques du Canada et pourront conserver une petite avance dans les régions du nord-est et du sud-est des États-Unis. Toutefois, selon les hypothèses de référence, une nouvelle centrale au charbon implantée à proximité des principaux gisements houillers d'Amérique du Nord est susceptible de produire de l'électricité meilleur marché, même si cette centrale devait être équipée de systèmes de désulfuration des gaz de combustion.

Principales variables

Dans une comparaison économique de ce type entre deux combustibles, il est manifeste que les principales variables sont les suivantes :

1. Les taux d'actualisation ou, en termes plus généraux, le coût du capital.
2. Les coûts d'investissement dans le nucléaire, si les variations de premier ordre peuvent être attribuées dans une large mesure aux délais de construction influant sur les intérêts intercalaires en cours de construction.
3. Les prix du charbon et leur tendance future à la hausse.

Comme ce rapport est fondé sur des hypothèses qui reflètent la situation des prix du charbon en 1982, il est assez intéressant d'analyser les incidences qu'aurait la baisse de 20 pour cent environ des prix du charbon sur le marché au comptant observée en 1983. Une telle réduction du prix sur le marché actuel au comptant ne laisse rien présager au sujet des dix à vingt prochaines années. Cependant, on peut évaluer les incidences de cet ordre de grandeur en diminuant de 20 pour cent les données communiquées au sujet du prix du charbon. Il apparaît que cette manipulation hypothétique des données relatives aux coûts ne ferait disparaître l'avantage du nucléaire que pour les États-Unis dans l'hypothèse d'un taux d'actualisation de 5 pour cent. Dans l'hypothèse d'un taux d'actualisation de 10 pour cent, il y aurait également trois pays européens dans lesquels le charbon paraîtrait avantageux. Cependant, il importe de noter que l'effet produit par une variation du taux d'actualisation est encore plus marqué que celui imputable à une réduction de 20 pour cent du prix du charbon.

Outre les facteurs sus-mentionnés, les rapports des coûts sont également très sensibles aux coefficients d'utilisation, à d'autres composantes des coûts en capital, aux facteurs liés au site, notamment. Toutefois, dans l'hypothèse d'un taux d'actualisation de

5 pour cent, le nucléaire conserverait son avantage économique en Europe occidentale, au Japon et dans les provinces centrales du Canada, même si les coûts en capital des centrales nucléaires augmentaient de 50 pour cent, ou si les coûts des services liés au cycle du combustible étaient multipliés par deux ou par trois, ou encore si le coefficient d'utilisation des centrales nucléaires tombait au-dessous de 50 pour cent.

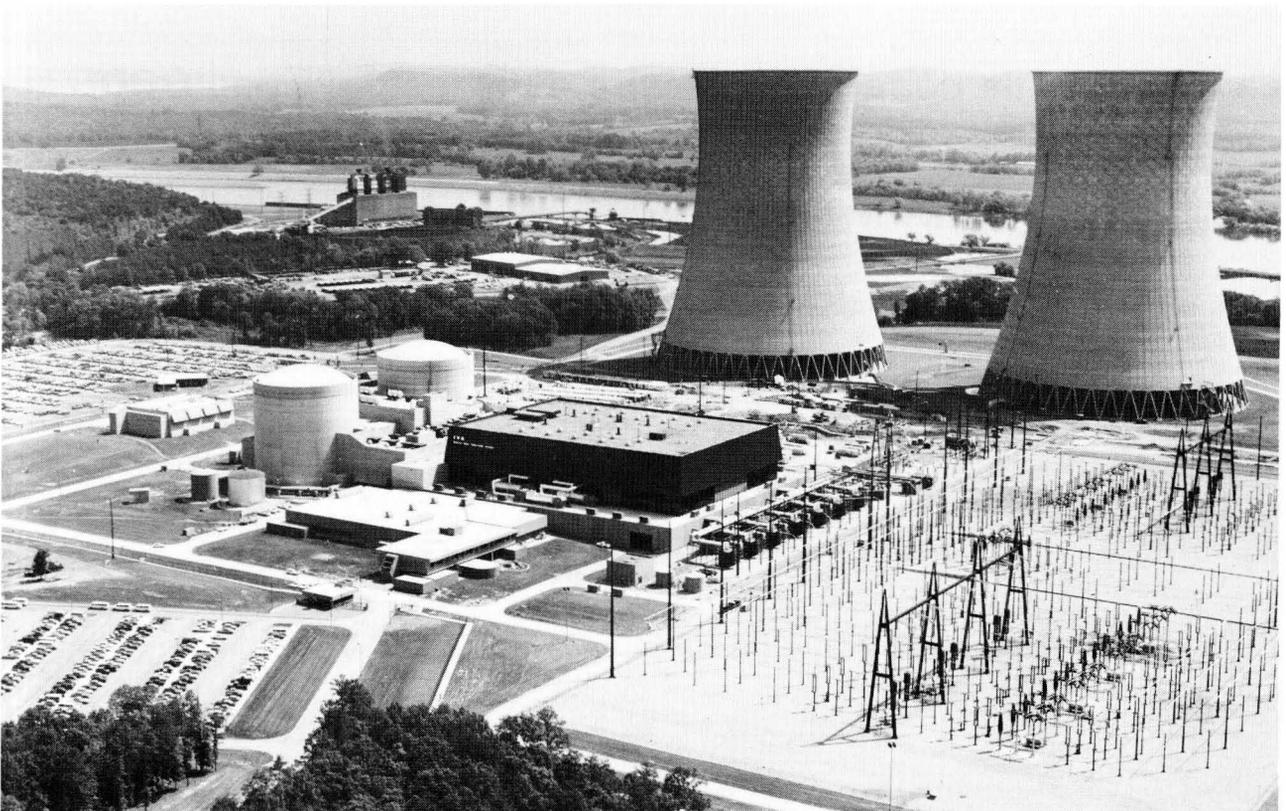
Observations générales

Il y a lieu de souligner qu'il existe de nombreuses méthodes différentes de calcul des coûts de production de l'énergie électrique qui donnent des réponses différentes et ont des usages différents. Les coûts obtenus par l'une de ces méthodes ne doivent pas être comparés aux coûts obtenus par une autre méthode ni être utilisés à des fins incompatibles en dehors du contexte original.

Par exemple, bien que la méthode du coût moyen ait été utilisée dans l'étude de l'AEN, cela ne signifie pas

que cette méthode serait la mieux à même, notamment, d'expliquer les annulations récentes de centrales à moitié construites aux États-Unis. Il y a eu des dépassements de coûts aux États-Unis et, en raison de la hausse des coûts et des contraintes financières, les compagnies d'électricité se sont trouvées dans l'impossibilité de mener à terme des projets, indépendamment de la question de savoir si le coût moyen d'un kWh aurait en fin de compte été ou non inférieur. Cependant, cette méthode se prête bien à une comparaison internationale des politiques d'investissement entre deux technologies.

D'autre part, le propos de cette étude n'était pas de mettre par trop en relief les différences observées dans les coûts de production de l'énergie électrique entre les divers pays. Même s'il était possible d'établir simultanément des estimations des coûts de construction d'une centrale répondant aux mêmes spécifications dans tous les pays, l'effet de la hausse des coûts des facteurs, ainsi que de l'inflation générale et des imperfections du marché monétaire, ne saurait être entièrement éliminé.



La centrale nucléaire de Watts Bar, aux États-Unis. C'est le seul site de la Vallée du Tennessee qui regroupe un barrage hydroélectrique, une centrale alimentée au charbon et une centrale nucléaire (TVA).

Comparaison entre le nucléaire et le charbon

En ce qui concerne les comparaisons entre combustibles, il est apparu très clairement que, sur la base de la série d'hypothèses de référence, l'électricité d'origine nucléaire présente un avantage économique très net sur le charbon lorsqu'il s'agit de produire de l'électricité en base dans les pays pour lesquels des données ont été fournies (qu'elles aient été tirées directement ou déduites des évaluations de coûts établies par les compagnies d'électricité), sauf dans les cas où il est possible de se procurer facilement du charbon bon marché à proximité d'un point de consommation, comme dans certaines régions des États-Unis et du Canada.

Les perspectives du nucléaire seraient moins favorables si l'on disposait de charbon meilleur marché ou si les prix futurs du charbon pouvaient être stabilisés en termes réels. D'après le rapport de l'AEN, on semblait admettre précédemment, dans les pays européens, que les prix du charbon augmenteraient en moyenne de 1 à 2 pour cent par an en termes réels jusqu'à et après la date à laquelle la centrale de référence serait mise en service. La situation s'est quelque peu

modifiée par suite de la baisse des prix du charbon sur le marché au comptant depuis le début de 1983. Outre le niveau actuel plus faible des coûts, la hausse ne sera peut-être pas aussi rapide qu'on l'avait supposé dans le passé. En revanche, les coûts de production de l'énergie électrique par des centrales au charbon sont fortement influencés par l'importance des mesures de lutte contre la pollution, qui pourraient même être encore renforcées à l'avenir.

L'avantage économique du nucléaire sur le charbon est désormais - à court terme tout au moins - légèrement inférieur à ce qu'il était au moment où les données de l'AEN ont été recueillies. La compétitivité du nucléaire s'améliorera si les coûts en capital peuvent être stabilisés et rendus plus prévisibles. Cette remarque paraît s'appliquer tout particulièrement aux États-Unis, où la hausse des coûts a été très marquée ces dernières années. Pour éviter une nouvelle hausse, on pourrait réduire les délais de construction et, partant, les intérêts intercalaires, recourir à la standardisation et, chaque fois que cela est possible, implanter plusieurs réacteurs sur un même site en les faisant bénéficier de services communs.

La situation de l'énergie nucléaire dans les pays de l'OCDE au 31 décembre 1983

La brochure de l'AEN intitulée « Quelques données sur l'énergie nucléaire et le cycle du combustible » est préparée à partir des réponses au questionnaire sur la production d'électricité, l'énergie nucléaire et les données sur le cycle du combustible, qui est diffusé chaque année dans les pays Membres de l'OCDE. Outre les données mises à jour, il est demandé aux pays d'indiquer les prévisions les plus probables pour l'horizon 2000.

Des exemplaires de cette brochure peuvent être obtenus gratuitement sur demande auprès de l'AEN.

Estimations relatives à l'expansion de l'énergie nucléaire dans la zone OCDE

Année	Puissance nucléaire installée (GWe)	Production d'électricité nucléaire (TWh)	Part de l'électricité nucléaire dans la production totale (%)
1983	160	806	15.8
1985	201	1059	18.9
1990	282	1505	23.0
1995	341	1880	25.7
2000	392	2149	26.4

Pays	Puissance nucléaire installée (GWe) (centrales exploitables)	Production d'électricité nucléaire (TWh)	Part de l'électricité nucléaire dans la production totale (%)
R.F. d'Allemagne	11.2	63.0	17.9
Belgique	3.5	23.0	45.9
Canada	7.6	46.4	11.6
Espagne	3.8	10.7	9.1
États-Unis	65.7	292.1	12.7
Finlande	2.2	16.7	41.5
France	27.2	137.0	48.4
Italie	1.3	5.1	2.9
Japon	19.1	113.0	20.5
Pays-Bas	0.5	3.5	6.9
Royaume-Uni	8.3	43.9	17.7
Suède	7.3	39.1	37.0
Suisse	1.9	12.4	27.8
Total OCDE (arrondi)	160	806	16

NOUVEAUX RAPPORTS DE L'AEN

Comparaison internationale sur la modélisation des conséquences des accidents de réacteurs

(ISBN 92-64-22554-4)

Prix : £ 9,50 US\$ 19 FF 95 DM 42

La présente étude a été effectuée afin de comparer et d'évaluer les différentes techniques disponibles pour estimer les conséquences radiologiques d'hypothétiques rejets accidentels dans l'atmosphère de substances radioactives provenant de réacteurs à eau ordinaire. Pour procéder à cette comparaison il a fallu établir plusieurs hypothèses quant à la quantité de substances radioactives rejetées dans l'atmosphère (le terme source), à l'environnement du lieu du rejet, à la répartition de la population, etc. On a affecté des valeurs à chacun de ces paramètres de façon à pouvoir à coup sûr contrôler et comparer tous les aspects des modèles de conséquences.

Évacuation des déchets de haute activité sous les fonds marins

(ISBN 92-64-22576-5)

Prix : £ 14 US\$ 28 FF 140 DM 62

Il a été suggéré que les formations géologiques stables situées sous les océans, lesquels recouvrent les trois quarts de la surface du globe, pourraient convenir pour l'isolement à long terme des déchets radioactifs de haute activité résultant des programmes électronucléaires. L'objectif du programme de recherche du groupe de travail

de l'AEN sur l'évacuation dans les fonds marins est de fournir les informations scientifiques et techniques nécessaires aux autorités internationales et nationales pour évaluer la faisabilité technique et la sûreté à long terme de ce concept. Ce rapport présente l'état des connaissances dans ce domaine à la fin de 1982.

Un certain nombre de nouveaux rapports de l'AEN sont en cours de préparation, notamment :

- Radioprotection – le rôle de l'AEN
- Objectifs de protection radiologique à long terme pour la gestion des déchets radioactifs
- La phase d'orientation de IUREP (Projet international d'évaluation des ressources en uranium)
- Législations nucléaires – Étude analytique : Réglementation générale et cadre institutionnel des activités nucléaires – Vol. 2 (Espagne, États-Unis, Norvège, Nouvelle-Zélande, Portugal, Royaume-Uni, Suède, Suisse et Turquie). Tableaux de conventions internationales.

Autres publications récentes de l'AEN

Compte rendu d'une réunion de travail sur les aspects économiques du traitement des minerais de l'uranium, Paris, 25-26 avril 1983.

Les coûts de production de l'énergie électrique dans les centrales nucléaires et dans les centrales au charbon – Rapport établi par un Groupe d'experts.

Rapport d'un Groupe d'experts sur la comparaison internationale sur la modélisation des conséquences des accidents de réacteurs.

Législations nucléaires – Étude analytique : Réglementation générale et cadre institutionnel des activités nucléaires – Vol. 1 (République fédérale d'Allemagne, Autriche, Belgique, Canada, Danemark, France, Grèce, Irlande, Islande, Italie, Japon, Luxembourg, Pays-Bas).

Bulletin de Droit Nucléaire n° 32.

Uranium : Ressources, Production et Demande, décembre 1983.

Bulletin d'information R & D sur les techniques de prospection de l'uranium, n° 4 et 5.

Bulletin d'information R & D sur les techniques d'extraction de l'uranium, n° 2.

Mission de la phase d'orientation de IUREP (Projet international d'évaluation des ressources en uranium), rapport succinct sur la Norvège.

Évacuation des déchets radioactifs en formations géologiques

Programme coordonné de recherches et de surveillance du milieu lié à l'immersion de déchets radioactifs en mer.

Bulletin sur la migration des radionucléides dans la géosphère, n° 9.

La Banque de données de l'AEN – Un service international de données et de logiciels pour l'énergie nucléaire.

Catalogue des publications de l'AEN, novembre 1983.

Ces publications peuvent être obtenues auprès des :

BUREAUX DES PUBLICATIONS DE L'OCDE :

- 2, rue André Pascal, 75775 Paris, Cedex 16, France.
- Suite 1207, 1750 Pennsylvania Avenue, N.W. Washington D.C. 20006 –4582, États-Unis.
- Simrock-Strasse 4, 5300 Bonn, République fédérale d'Allemagne.
- Landic Akasaka Building, 2-3-4 Akasaka, Minatoku, Tokyo 107, Japon,
- ainsi qu'auprès des dépositaires des publications de l'OCDE.

