

AECL-10183F
ATOMIC ENERGY
OF CANADA LIMITED
Research Company



ÉNERGIE ATOMIQUE
DU CANADA LIMITÉE
Société de Recherche

ÉVACUATION DES DÉCHETS DE COMBUSTIBLE
NUCLÉAIRE AU CANADA
– PROGRAMME DE RECHERCHE GÉNÉRIQUE

NUCLEAR FUEL WASTE DISPOSAL IN CANADA
– THE GENERIC RESEARCH PROGRAM

K. W. Dormuth, P. A. Gillespie

Whiteshell Nuclear Research
Establishment

Établissement de recherches
nucléaires de Whiteshell

Pinawa, Manitoba R0E 1L0
May 1990 mai

ÉNERGIE ATOMIQUE DU CANADA LIMITÉE

**ÉVACUATION DES DÉCHETS DE COMBUSTIBLE
NUCLÉAIRE AU CANADA**

- PROGRAMME DE RECHERCHE GÉNÉRIQUE

par

K. W. Dormuth et P. A. Gillespie

Établissement de recherches nucléaires de Whiteshell
Pinawa, Manitoba R0E 1L0
1990

AECL-10183F

NUCLEAR FUEL WASTE DISPOSAL IN CANADA
- THE GENERIC RESEARCH PROGRAM

by

K.W. Dormuth and P.A. Gillespie

ABSTRACT

Atomic Energy of Canada Limited (AECL) has developed a concept for disposing of Canada's nuclear fuel waste and is submitting it for review under the Federal Environmental Assessment and Review Process. During this review, AECL intends to show that careful, controlled burial 500 to 1000 metres deep in plutonic rock of the Canadian Precambrian Shield is a safe and feasible way to dispose of Canada's nuclear fuel waste. The concept has been assessed without identifying or evaluating any particular site for disposal. AECL is now preparing a comprehensive report based on more than 10 years of research and development.

Atomic Energy of Canada Limited
Whiteshell Nuclear Research Establishment
Pinawa, Manitoba R0E 1L0
1990

AECL-10183F

STOCKAGE PERMANENT DES DÉCHETS DE COMBUSTIBLE NUCLÉAIRE
AU CANADA - PROGRAMME DE RECHERCHE GÉNÉRIQUE

par

K.W. Dormuth et P.A. Gillespie

RÉSUMÉ

Énergie atomique du Canada limitée (EACL) a élaboré un concept de stockage permanent des déchets de combustible nucléaire canadien et le soumet à l'examen dans le cadre du Processus fédéral d'évaluation et d'examen en matière d'environnement. Au cours de cet examen, EACL montrera que l'enfouissement soigné, contrôlé, dans la roche plutonique du bouclier précambrien canadien à des profondeurs comprises entre 500 et 1 000 m, est une façon sûre et réalisable de stocker de manière permanente les déchets de combustible nucléaire canadien. Le concept a été évalué sans identifier ou évaluer de site particulier. EACL rédige actuellement un rapport complet fondé sur plus de dix ans de recherche et développement.

Énergie atomique du Canada limitée
Établissement de recherches nucléaires de Whiteshell
Pinawa, Manitoba R0E 1L0
1990

AECL-10183F

TABLE DES MATIÈRES

1. INTRODUCTION	1
2. LES DÉCHETS DE COMBUSTIBLE NUCLÉAIRE	2
3. LA NÉCESSITÉ D'UNE MÉTHODE DE STOCKAGE PERMANENT	6
4. LE MANDAT DU PROGRAMME DE RECHERCHE CANADIEN	9
5. LE CONCEPT CANADIEN DE STOCKAGE PERMANENT	11
6. LA PORTÉE DU PROGRAMME DE RECHERCHE CANADIEN	14
6.1 APERÇU	14
6.2 TECHNIQUES DE CHOIX DE SITE	15
6.3 TECHNIQUES DE CONSTRUCTION DES SYSTÈMES OUVRAGÉS (ARTIFICIELS)	16
6.4 ÉTUDE DE CONCEPTION D'UN CENTRE DE STOCKAGE PERMANENT DES DÉCHETS DE COMBUSTIBLE USÉ	17
6.5 ÉVALUATION AVANT FERMETURE QUANT À L'ENVIRONNEMENT ET LA SÛRETÉ	21
6.6 ÉVALUATION APRÈS FERMETURE QUANT À L'ENVIRONNEMENT ET LA SÛRETÉ	23
6.7 MODÈLE DE L'ENCEINTE	25
6.8 MODÈLE DE LA GÉOSPHERE	26
6.9 MODÈLE DE LA BIOSPHERE	27
7. DOCUMENTATION	28
REMERCIEMENTS	29
BIBLIOGRAPHIE	30

1. INTRODUCTION

L'expression "déchets de combustible nucléaire" se rapporte aux déchets fortement radioactifs provenant du combustible qui a été utilisé dans un réacteur nucléaire. Énergie atomique du Canada limitée a élaboré un concept d'évacuation (stockage permanent) des déchets de combustible nucléaire canadien en vue de le soumettre à l'examen dans le cadre du Processus Fédéral d'Évaluation et d'Examen en matière d'Environnement. Le concept consiste à placer les déchets dans des conteneurs résistants, à sceller les conteneurs et à les enfouir à une profondeur variant de 500 à 1000 m dans une formation rocheuse massive du bouclier précambrien canadien.

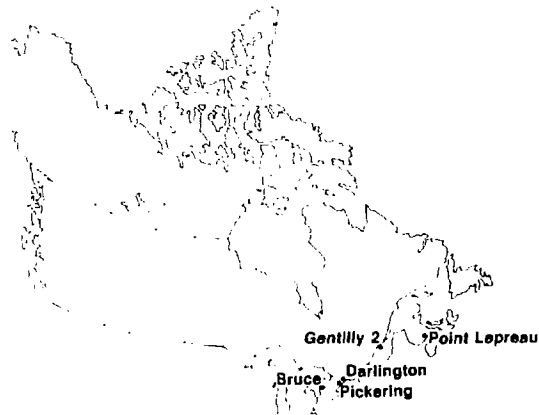
Au cours de cet examen, EACL se propose de démontrer que la mise en application du concept offrirait un moyen sûr et réalisable de stocker les déchets de combustible nucléaire canadien. Les critères de sûreté et de protection de l'environnement utilisés sont ceux établis par la documentation de réglementation de la Commission de contrôle de l'énergie atomique ou par toute autre loi, règlement et directive applicables.

EACL a notamment l'intention de montrer que:

- il existe des techniques de sélection d'un site, de conception, de construction et d'exploitation d'une installation d'évacuation (stockage permanent) qui répondent aux critères de sûreté et de protection de l'environnement;
- il existe des méthodes d'évaluation du comportement d'une installation d'évacuation (stockage permanent) dans la roche plutonique en fonction des critères de sûreté et de protection de l'environnement;
- il existe de nombreux sites pouvant convenir au Canada.

2. LES DÉCHETS DE COMBUSTIBLE NUCLÉAIRE

Au Canada, plus de 15 % de l'électricité est d'origine nucléaire, soit 12.5 millions de kilowatts (centrales installées) et 3.6 millions de kilowatts (centrales en construction). Le Québec et le Nouveau-Brunswick ont chacun une centrale de 0,7 million de kilowatts; le reste de la capacité de production est en Ontario. Les compagnies d'électricité qui exploitent des centrales électronucléaires au Canada sont Ontario Hydro, Hydro-Québec et Énergie Nouveau-Brunswick.



Les centrales électronucléaires au Canada

Toute l'électricité d'origine nucléaire produite au Canada provient de réacteurs CANDU¹. Le combustible est constitué de pastilles de bioxyde d'uranium empilées et scellées à l'intérieur de tubes de métal. Jusqu'à 37 de ces tubes sont soudés ensemble pour former une grappe de combustible. Une grappe pesant 25 kilogrammes peut produire autant d'électricité que 400 tonnes de charbon.



Tom Bochsler and Cameco

Inspection des grappes de combustible

Dans le réacteur, les réactions nucléaires se manifestent dans le combustible, produisent de la chaleur qui sert à faire tourner des turbines à vapeur pour produire de l'électricité. Les réactions nucléaires créent de nouveaux atomes dans le combustible dont la plupart sont instables et se transforment spontanément en atomes différents. Cette transformation spontanée est appelée "désintégration radioactive".

Une espèce atomique² produite par désintégration radioactive peut être stable ou instable. Si elle est stable, elle ne sera pas susceptible de se transformer spontanément. Si elle est instable, elle se transformera par désintégration en une autre espèce qui peut, elle aussi, être instable et ainsi de suite. Toutefois, il en résultera en fin de compte une espèce stable.

La désintégration radioactive est toujours accompagnée d'une libération d'énergie sous forme de rayonnement. Le rayonnement peut endommager le tissu et ainsi conduire à des effets graves pour la santé de l'être humain. La nocivité du rayonnement varie selon le type et l'intensité du rayonnement et la durée de la radioexposition. Les trois principaux types de rayonnement émis lors de la désintégration radioactive des déchets de combustible nucléaire sont les rayonnements alpha, bêta et gamma.

Le rayonnement alpha³ ne peut pénétrer que la couche superficielle de la peau constituée de cellules mortes et ne pose donc aucun danger d'irradiation externe. Toutefois, il peut causer de graves lésions au tissu vivant interne parce que toute l'énergie est absorbée par une seule cellule ou par un petit groupe de cellules. Par conséquent, une substance émettant un rayonnement alpha peut présenter un danger d'irradiation interne si elle est ingérée ou respirée.

Le rayonnement bêta⁴ peut pénétrer le tissu jusqu'à une profondeur de 1 ou 2 cm, mais est arrêté par une feuille d'aluminium. Le rayonnement bêta présente un danger d'irradiation externe pour le tissu superficiel seulement; il est plus dangereux lorsque la source bêta se trouve à l'intérieur d'un organisme.

2 Ces espèces atomiques diffèrent l'une de l'autre par le nombre de protons, le nombre de neutrons et la quantité d'énergie contenue dans le noyau atomique. Une espèce particulière est appelée "nucléide". Un nucléide instable est appelé "radionucléide". De nombreux radionucléides existent dans la nature; d'autres seraient très rares ou n'existeraient pas sur terre s'ils n'étaient pas produits artificiellement (par exemple, dans les réacteurs nucléaires).

3 Le rayonnement alpha est le résultat de la désintégration alpha; le noyau émet une particule alpha qui consiste en deux protons et deux neutrons.

4 Le rayonnement bêta est le résultat de la désintégration bêta; le noyau émet un électron ou un positron ("électron" chargé positivement).

Le rayonnement gamma⁵ peut traverser le corps humain de sorte qu'il présente un danger d'irradiation interne et externe. On peut protéger les personnes des sources de rayonnement gamma en interposant des blindages constitués de différents matériaux tels que le plomb, dont l'épaisseur doit être de quelques millimètres à plusieurs centimètres, l'eau ou le béton, dont l'épaisseur doit être beaucoup plus grande, par exemple.

Dans un groupe d'atomes d'une espèce radioactive particulière, la moitié (1/2) se sera transformée par désintégration au bout d'une certaine période appelée "période radioactive". Ainsi, si on a au départ un grand nombre d'atomes d'une espèce radioactive particulière, au bout d'une première période radioactive, il n'en restera que la moitié; au bout d'une deuxième période radioactive, il en restera qu'un quart; au bout d'une troisième période radioactive, il n'en restera qu'un huitième et ainsi de suite.

La période radioactive varie d'une espèce à l'autre: d'une fraction de seconde à plus d'un milliard d'années. Une quantité donnée d'une espèce à longue période émet un rayonnement à une vitesse plus faible (sa radioactivité est plus faible) que la même quantité d'une espèce à période plus courte.

À sa sortie du réacteur, une grappe de combustible est fortement radioactive mais la plupart des atomes instables se désintègrent très rapidement, ce qui réduit la radioactivité. Au bout de cent ans, la radioactivité de cette même grappe aura diminué de 99% par rapport à celle mesurée un an après la sortie. Cependant, il restera une quantité importante de certaines des espèces radioactives pendant des millions d'années. La plus grande partie du rayonnement est absorbée par la grappe elle-même et entraîne ainsi son réchauffement. Cette chaleur diminue à mesure que la radioactivité décroît.

Le combustible retiré d'un réacteur est appelé «combustible usé». On doit le retirer en raison de l'accumulation d'espèces atomiques qui gênent la production de chaleur dans le réacteur. Le combustible usé contient également certains éléments qui pourraient encore servir à produire encore de l'énergie si on les recyclait.

Toutefois, il faudrait d'abord retraiter le combustible usé pour séparer les espèces atomiques utiles de celles non voulues. Actuellement, il est plus économique d'utiliser de l'uranium "neuf" que de recycler le combustible CANDU usé, et il faudra plusieurs décennies avant que le recyclage du combustible devienne intéressant économiquement. Pour le moment, au Canada, on ne recycle pas le combustible usé. Toutefois, si on décidait de le faire, les déchets fortement radioactifs provenant du retraitement seraient d'abord incorporés à un solide, tel que le verre, et ensuite gérés de la même façon que le combustible usé.

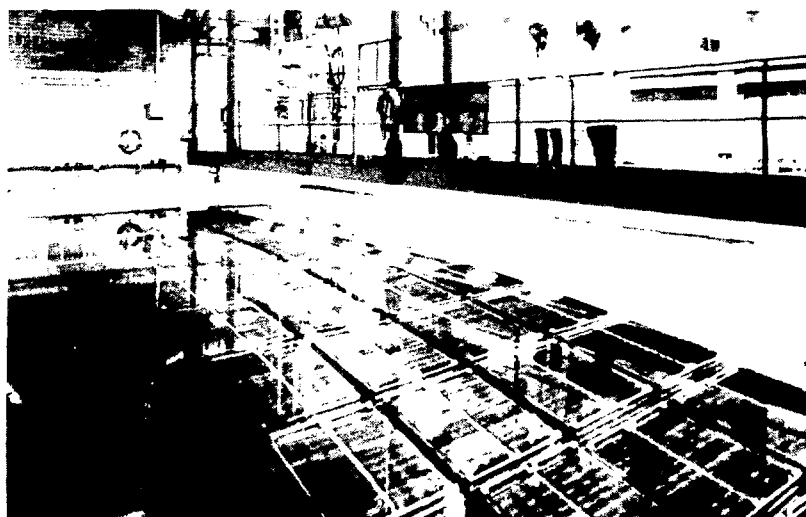
5 Le rayonnement gamma est le résultat de la désintégration gamma: le noyau émet un photon (rayon gamma) qui porte une énergie

Les déchets de combustible nucléaire se composent soit de combustible usé soit de déchets fortement radioactifs provenant du retraitement. Dans les deux cas, il s'agit d'un solide qui ne se dissoudrait que très lentement s'il était stocké à grande profondeur dans la roche du bouclier canadien. Ce solide émet un rayonnement pénétrant; il faut donc prévoir un blindage constitué de matériaux tels que l'eau, le béton ou la roche. Il produit de la chaleur; il faut donc prendre des mesures pour que la température ne s'élève pas trop. Et il est radiologiquement toxique; il faut donc prendre des mesures pour empêcher que ces déchets n'atteignent l'environnement biologique en des concentrations dangereuses. La radioactivité et, par conséquent, l'intensité du rayonnement pénétrant, la production de chaleur et la toxicité radiologique, diminuent avec le temps.

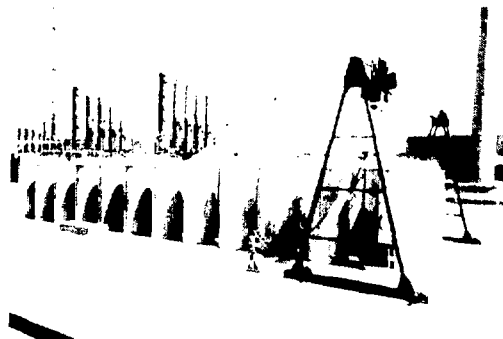
3. LA NÉCESSITÉ D'UNE MÉTHODE DE STOCKAGE PERMANENT

Au Canada, le combustible utilisé provenant des réacteurs est, pour le moment, stocké sur le site même des réacteurs. Avant la fin de 1989, on en avait accumulé environ 14 000 tonnes. La production annuelle s'élève actuellement à environ 1 800 tonnes.

Lorsque les grappes de combustible sont retirées du réacteur, elles sont immédiatement stockées dans une piscine remplie d'eau, située à côté du réacteur. L'eau de la piscine refroidit les grappes et protège ainsi le personnel du rayonnement pénétrant. Ce type de stockage est utilisé avec succès au Canada et dans d'autres pays depuis plus de 40 ans. Après plusieurs années de stockage en piscine, l'intensité du rayonnement et de la chaleur émis par les grappes de combustible utilisé, ont



Grappes de combustible utilisé stockées dans une piscine remplie d'eau, à la centrale électronucléaire de Bruce d'Ontario Hydro



Conteneurs (silos) en béton de stockage à sec et pont-roulant servant à transférer le combustible utilisé dans les conteneurs (silos)

suffisamment diminué pour qu'on puisse, si on le désire, transférer les grappes dans un lieu de stockage à sec. Des conteneurs (silos) en béton sont utilisés à cette fin à certaines centrales nucléaires.

Le stockage sous eau et le stockage à sec sont des techniques employées actuellement et qui peuvent confiner le combustible usé en toute sécurité pendant des décennies. Elles permettent de récupérer facilement le combustible usé tout en assurant le blindage, le refroidissement et les garanties.⁶

Malgré son excellente tradition de sécurité, le stockage provisoire ne peut constituer un moyen permanent de gestion des déchets de combustible nucléaire. Ce type de stockage nécessite une surveillance et un entretien qui vont devenir de plus en plus astreignants à mesure que la quantité de combustible usé augmente. Il serait injuste de charger les générations futures du fardeau de la surveillance, de l'entretien, de la reconstruction et de la sûreté des installations de stockage provisoire, puisqu'elles n'auront pas bénéficié directement de l'électricité produite. De plus, la structure de la société future pourrait subir des changements qui empêcheraient le stockage sûr. Le stockage provisoire est donc une mesure provisoire: les déchets doivent être finalement stockés de façon permanente de sorte que les générations futures n'aient pas à s'en occuper.

Plusieurs commissions, comités et organismes canadiens ont demandé qu'une méthode de stockage permanent soit élaborée. En 1977, le ministère de l'Énergie, Mines et Ressources a chargé un groupe d'experts indépendants, dirigé par le professeur Kenneth Hare, d'examiner les politiques de gestion à long terme des déchets radioactifs. Ce groupe a recommandé qu'on ne laisse pas les déchets s'accumuler indéfiniment dans des lieux de stockage provisoire (Aikin et autres, 1977, p. 6).

La Commission royale de l'Ontario sur la planification de l'énergie électrique, créée en 1977, a été chargée par le gouvernement ontarien d'examiner les questions relatives à l'énergie nucléaire. La Commission a fait ressortir "le besoin urgent de mettre au point des installations de stockage permanent en vue d'isoler les déchets [de combustible nucléaire] des écosystèmes du monde" (Porter, 1980, p. 68). Elle a également recommandé qu'on accorde la priorité absolue à la recherche sur les critères géologiques et écologiques de sélection de sites de stockage permanent (Porter, 1978).

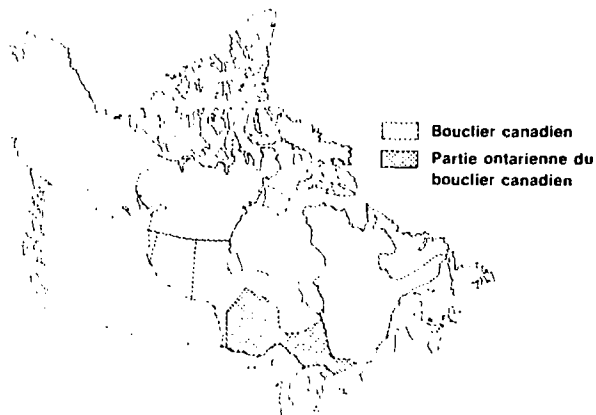
Très récemment, le Comité permanent de l'environnement et des forêts a reconnu le besoin de stockage permanent, déclarant que "quelque soit l'avenir [de l'énergie nucléaire], on doit assurer le stockage permanent des déchets qu'elle produit" (Briscoe, 1988, p. 3).

⁶ Les garanties sont les mesures adoptées dans le but d'assurer que le combustible usé n'est pas utilisé pour la fabrication d'armes nucléaires ou à d'autres fins illégales

L'organisme fédéral de réglementation de l'industrie nucléaire canadienne a reconnu également ce besoin. En 1987, après avoir effectué un sondage d'opinion auprès du public, la Commission de contrôle de l'énergie atomique a publié sa politique de réglementation (R-104) relatif au stockage des déchets radioactifs (Commission de contrôle de l'énergie atomique, 1987). Ce document soutient les objectifs internationaux de la gestion des déchets radioactifs, qui sont de protéger la santé humaine et l'environnement et de réduire au minimum le fardeau à passer aux générations futures. La politique R-104 stipule que la solution retenue "ne doit pas permettre la récupération des déchets et, de façon idéale, doit faire appel à des concepts et techniques dont le succès ne dépend pas d'un contrôle institutionnel à long terme" (Commission de contrôle de l'énergie atomique, 1987, p. 2).

4. LE MANDAT DU PROGRAMME DE RECHERCHE CANADIEN

La Commission Hare a examiné diverses méthodes de stockage permanent dont l'enfouissement dans les calottes glaciaires arctiques, le lancement dans l'espace extra-atmosphérique, le traitement nucléaire menant à des produits non radioactifs (transmutation) et le stockage permanent géologique. Les membres de la Commission sont arrivés à la conclusion que l'enfouissement dans la roche plutonique était l'option la plus prometteuse (Aikin et autres, 1977, p. 6), tout en faisant remarquer que "le bouclier précambrien canadien contient de grande quantités de ce type de roche... Le fait que le bouclier canadien soit demeuré stable pendant des centaines de millions d'années est un signe certain qu'il le demeurera encore pendant des millions d'années. On peut l'affirmer en toute confiance car le passage du régime géologique de l'état stable à l'état actif demande des millions d'années" (pp. 41-42). De plus, ils pensent que "comme l'Ontario sera le principal producteur de déchets radioactifs, c'est dans cette province que devrait être construit le premier dépôt de déchets" (p. 46).



L'étendue du bouclier précambrien canadien

La roche plutonique s'est formée à grande profondeur dans la croûte terrestre, soit par cristallisation à partir de l'état fondu soit par altération chimique. On l'appelle parfois roche ignée intrusive ou, de façon impropre, roche cristalline. D'importants massifs de roche plutonique affleurent aujourd'hui à cause de l'érosion de la roche surjacente et d'un soulèvement qui a lieu depuis des centaines de millions d'années. Certains de ces massifs ont une étendue de plusieurs centaines de kilomètres carrés et plusieurs kilomètres de profondeur. La plupart sont constitués de granite. La roche plutonique existe ailleurs que dans le bouclier précambrien. Il y en a dans toutes les provinces, sauf dans l'Île-du-Prince-Édouard.

En 1978, les gouvernements du Canada et de l'Ontario ont établi un programme commun de recherche et développement en gestion des déchets de combustible nucléaire (Déclaration commune de 1978). EACL, en tant qu'organisme du gouvernement fédéral, a été chargé de vérifier la sûreté du stockage permanent des déchets de combustible nucléaire dans la roche plutonique. Ontario Hydro a été chargé de la mise au point et démonstration des techniques de stockage provisoire et de transport des déchets à partir des centrales électronucléaires. Une autre déclaration commune (1981) a imposé des conditions qui sont que le concept de stockage permanent doit être évalué, examiné et accepté avant qu'on ne procède à la sélection d'un site.

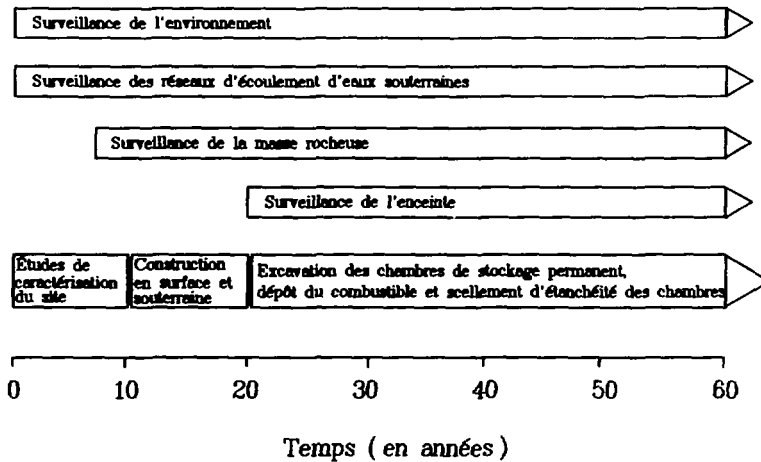
5. LE CONCEPT CANADIEN DE STOCKAGE PERMANENT

EACL propose que les déchets de combustible nucléaire soient placés dans des conteneurs résistants de très grande longévité et enfouis dans une excavation du genre de celle d'une mine (enceinte) creusée à une profondeur de 500 à 1000 m dans la roche plutonique du bouclier canadien. Les déchets seraient isolés du public et de l'environnement de surface. Ils seraient refroidis par conduction de chaleur dans la roche. Le principal souci est que les eaux souterraines, qui s'écoulent dans la roche, même à de grandes profondeurs, pourraient pénétrer à l'intérieur des conteneurs et permettre aux déchets de migrer lentement vers la surface. Ainsi, chaque conteneur serait entouré d'une "barrière" d'argile conçue pour empêcher l'écoulement des eaux et toute migration de matières radioactives à partir du conteneur. De plus, toutes les excavations (puits, galeries et chambres) seraient remblayées avec des mélanges d'argile et d'autres matériaux géologiques et ensuite scellées de manière étanche pour ralentir tout écoulement d'eaux souterraines, immobiliser les conteneurs et empêcher l'intrusion humaine.

Le concept de stockage repose donc sur l'emploi de barrières multiples pour protéger le public et l'environnement de surface. Le conteneur, tant qu'il est intact, empêcherait l'eau souterraine d'atteindre les déchets et retiendrait les matières radioactives. Il pourrait durer des centaines voire des milliers d'années, selon sa conception et les conditions existant dans l'enceinte. En cas de rupture du conteneur, les déchets résisteraient à la dissolution dans l'eau de sorte que la libération des matières radioactives serait très lente. Le matériau barrière autour du conteneur ralentirait l'écoulement de l'eau souterraine et, par conséquent, la migration du conteneur à la roche environnante. La roche assurerait la protection des déchets, du conteneur et du matériau barrière et isolerait les déchets enfouis des personnes et de l'environnement de surface, empêcherait la migration des matières radioactives vers la surface au cas où elles auraient réussi à traverser le matériau barrière. Les matériaux de remblayage et le système de scellement d'étanchéité complèteraient l'enveloppe de protection assurée par la roche.

Comme mesure d'urgence, le concept de stockage permanent comporte des modes de récupération des conteneurs avant que les galeries et les puits soient remblayés et scellés. Une fois scellée, l'enceinte deviendrait un système complètement passif n'exigeant ni surveillance ni entretien ni contrôle. La récupération serait encore possible mais plus difficile et plus coûteuse, pendant au moins plusieurs centaines d'années tant que les conteneurs demeureraient largement intacts.

La construction des installations de surface, l'excavation de l'enceinte, le dépôt des déchets et le scellement d'étanchéité de l'enceinte s'effectueraient au cours d'une période de plus de 50 ans. Une surveillance rigoureuse de l'environnement biologique



Calendrier de surveillance et de stockage permanent

(biosphère), de la roche et du réseau d'écoulement des eaux souterraines (géosphère) et de l'enceinte serait assurée avant, pendant et après ces travaux. Par exemple, l'air, l'eau de surface, les plantes et les animaux seraient échantillonnés et analysés; la pression, la température et la composition chimique des eaux souterraines seraient mesurées au moyen d'instruments placés dans des trous forés dans la masse rocheuse; le rayonnement serait mesuré à la surface et dans la surface du sol et dans les installations souterraines et autour de celles-ci; les caractéristiques de la roche seraient mesurées par des appareils placés à l'orifice des trous.

Avant le dépôt des déchets, les renseignements recueillis par surveillance serviraient à rédiger des rapports d'étude d'impact sur l'environnement et à documenter les conditions de base pour consultation ultérieure. Ces renseignements permettraient par la suite de confirmer que le système se comporte comme prévu lors de sa conception. La surveillance se poursuivrait aussi longtemps que les exploitants, les autorités de réglementation et le public l'exigeraient.

Le but du système de stockage permanent dans son ensemble est d'empêcher tout déchet d'atteindre l'environnement de surface en quantités dangereuses. Cette tâche est facilitée du fait que la radioactivité des déchets décroît avec le temps. Le comportement de ces matières, en surface, et leurs effets sur les personnes constituent la base de l'évaluation de la sûreté du système.

Le concept de stockage permanent permet la sélection de méthodes, de matériaux et de plans pour la plupart des éléments du système de stockage permanent. La sélection pourrait s'effectuer sur la base du comportement, de la disponibilité, du coût ou du caractère pratique. Il faudrait faire plusieurs choix, par exemple en ce qui concerne:

- la forme de déchets: grappes de combustible usé ou un solide tel que le verre, contenant les déchets fortement radioactifs provenant du retraitement;
- la matière du conteneur: alliage de titane, cuivre ou autres matières résistantes;
- la conception du conteneur;
- la composition des matériaux servant de barrière, de remblai et de système de scellement d'étanchéité;
- la profondeur et le nombre de niveaux de l'enceinte;
- la méthode d'excavation: abattage à l'explosif ou forage;
- la dimension et la forme des excavations; et
- l'emplacement des conteneurs: dans une chambre ou dans des trous de forage du sol de la chambre.

La sélection d'un site de stockage permanent serait d'une grande importance. Les caractéristiques de ce site étant essentielles pour le comportement de tout le système de stockage, le site devra convenir techniquement. Étant donné qu'on trouve dans le bouclier canadien un grand nombre de sites qui seraient convenables sur le plan technique, il est probable que des facteurs sociaux, politiques et économiques joueraient un rôle important dans la sélection. Le système de stockage permanent serait spécialement conçu pour le site choisi par la suite.

6. LA PORTÉE DU PROGRAMME DE RECHERCHE CANADIEN

6.1 APERÇU

La Déclaration commune de 1978 a entraîné le lancement du Programme canadien de gestion des déchets de combustible nucléaire. Depuis plus de 10 ans, EACL et Ontario Hydro font de la recherche sur un concept de stockage permanent. Ces travaux sont effectués sur diverses aires de recherches du bouclier canadien, aux laboratoires d'EACL et d'Ontario Hydro, dans des universités et des cabinets de consultants privés. Elles portent sur la géologie, l'écologie, la physique, la chimie, les mathématiques, la métallurgie, l'ingénierie et les sciences sociales. AECL mène des programmes d'information pour tenir le public au courant des travaux et pour connaître les préoccupations du public afin de pouvoir traiter de celles-ci dans le cadre du programme de recherche.

Étant donné que, selon la Déclaration commune de 1981, aucun site ne peut être choisi avant que l'examen du concept ait été effectué, on n'a évalué la convenance d'aucun site particulier. On mène plutôt des recherches à divers sites et, à l'aide de l'information recueillie, on met au point des techniques, on conçoit une installation de stockage permanent hypothétique et on évalue la sûreté et la faisabilité d'une telle installation. Comme cette recherche ne s'applique pas à un site particulier, on l'appelle souvent recherche "générique".

La recherche porte principalement sur le concept d'enfouissement, à grande profondeur, dans la roche plutonique du bouclier précambrien canadien. On examine d'autres milieux de stockage permanent en suivant les programmes de recherche d'autres pays et on examine l'information dont on dispose actuellement sur les formations sédimentaires et salines du Canada.

6.2 TECHNIQUES DE CHOIX DE SITE

EACL procède à la mise au point d'une technique de sélection de site afin de pouvoir identifier un site convenable techniquement, c'est-à-dire un site où les déchets de combustible nucléaire pourraient être stockés de façon permanente, en toute sûreté, à l'aide des méthodes dont on dispose actuellement. On procède à la mise au point et à l'évaluation de méthodes:

- de présélection de sites qui consiste à identifier un petit nombre de régions ou de sites qui pourraient convenir; et
- de caractérisation de site qui consiste à faire l'étude détaillée d'un site.

Afin de mettre au point des techniques de sélection de sites, d'établir des critères techniques de présélection et de classement des sites possibles et d'évaluer le comportement de la roche plutonique en tant que milieu de stockage permanent, on examine les conditions géologiques existant dans plusieurs aires de recherches sur le terrain du bouclier canadien et au Laboratoire de Recherches Souterrain d'EACL. On effectue des études en surface, en trous de forage et en milieu souterrain tout en se servant de méthodes d'exploration courantes et en mettant au point de nouvelles méthodes selon le besoin. Ces études permettent de perfectionner et de démontrer notre capacité d'obtenir, sur n'importe quel site pouvant convenir, tous les renseignements nécessaires à l'évaluation de l'environnement et de la sûreté et à la conception d'une installation de stockage permanent. Les renseignements en question comprennent:

- la nature de l'écoulement d'eaux souterraines à travers la roche;
- les caractéristiques physiques, chimiques et structurales de la roche;
- les caractéristiques physiques et chimiques des eaux souterraines;
- l'interaction des contaminants et de la roche et des eaux souterraines; et
- les effets éventuels d'une enceinte de stockage permanent sur les conditions de l'environnement souterrain.

On étudie, par la recherche sur l'environnement effectuée dans le bouclier canadien, la nature et l'influence de l'environnement près de la surface et de celui de la surface. Les facteurs à l'étude comprennent la décharge d'eaux souterraines provenant d'un point situé à grande profondeur dans la roche, le comportement des contaminants d'eau de lacs, de sédiments et de sol et les sources possibles d'aliments et d'eau domestique.

6.3 TECHNIQUES DE CONSTRUCTION DES SYSTÈMES OUVRAGÉS (ARTIFICIELS)

Les systèmes ouvragés sont des barrières artificielles qui protégeraient les personnes et l'environnement de surface. Ces barrières comprendraient les déchets proprement dits, le conteneur, le matériau barrière entourant le conteneur et les matériaux de remblayage et de scellement d'étanchéité de l'enceinte. EACL étudie des méthodes et des matériaux de construction de ces barrières et de mise en place de ces barrières dans l'enceinte. Elle étudie également les propriétés de ces barrières en vue de prévoir leur comportement.

Les scientifiques d'EACL étudient les deux types de déchets de combustible nucléaire: grappes de combustible usé et déchets solidifiés fortement radioactifs provenant du retraitement. Les propriétés présentant de l'intérêt sont la composition chimique et physique de ces déchets, la production de chaleur et les facteurs déterminant la libération de matières dans l'eau souterraine.

EACL a établi que le conteneur de stockage permanent doit avoir une vie utile d'au moins 500 ans. On a mis au point et évalué, quant à la capacité de satisfaire à cette condition, des conteneurs et des métaux pour conteneurs dans les milieux de pression, de température et chimique qu'on s'attend à trouver en enceinte de stockage permanent. Comme l'eau souterraine se trouvant au niveau de l'enceinte est saline, on évalue une grande gamme de matériaux résistant à la corrosion. On a construit des prototypes de différents conteneurs en grandeur réelle et en demi-grandeur réelle et on a vérifié leur comportement. On examine également des méthodes de fabrication, de remplissage, de scellement d'étanchéité et d'inspection des conteneurs.

On étudie les matériaux possibles pour la barrière, le remblai et le scellement d'étanchéité afin de comprendre leur comportement dans une enceinte de stockage permanent. Au Laboratoire de Recherches Souterrain, on fait des études à grande échelle pour savoir comment mettre en place les conteneurs, le matériau barrière, le remblai et les matériaux de scellement d'étanchéité.

On étudie un certain nombre de concepts possibles d'implantation et d'exploitation d'enceinte de stockage. Par exemple, les conteneurs pourraient être placés sur le sol de la chambre de stockage ou dans des trous de forage du sol de la chambre; les chambres pourraient être aménagées à un seul niveau ou à plusieurs niveaux de l'enceinte. Toutes ces possibilités sont évaluées dans le but de déterminer leurs qualités relatives quant à la sûreté, au coût et au caractère pratique.

6.4 ÉTUDE DE CONCEPTION D'UN CENTRE DE STOCKAGE PERMANENT DES DÉCHETS DE COMBUSTIBLE USÉ

On a effectué une étude technique de conception d'un centre de stockage permanent de combustible usé (CSCU) dans le but d'examiner la faisabilité technique, les coûts, la sûreté et les conséquences éventuelles pour l'environnement d'une telle installation. La conception est fondée sur des conditions de site hypothétiques tirées de renseignements obtenus lors de la recherche effectuée dans plusieurs aires de recherches sur le terrain du bouclier canadien. Elle est également fondée sur l'application de techniques actuelles ou leurs extrapolations facilement réalisables.

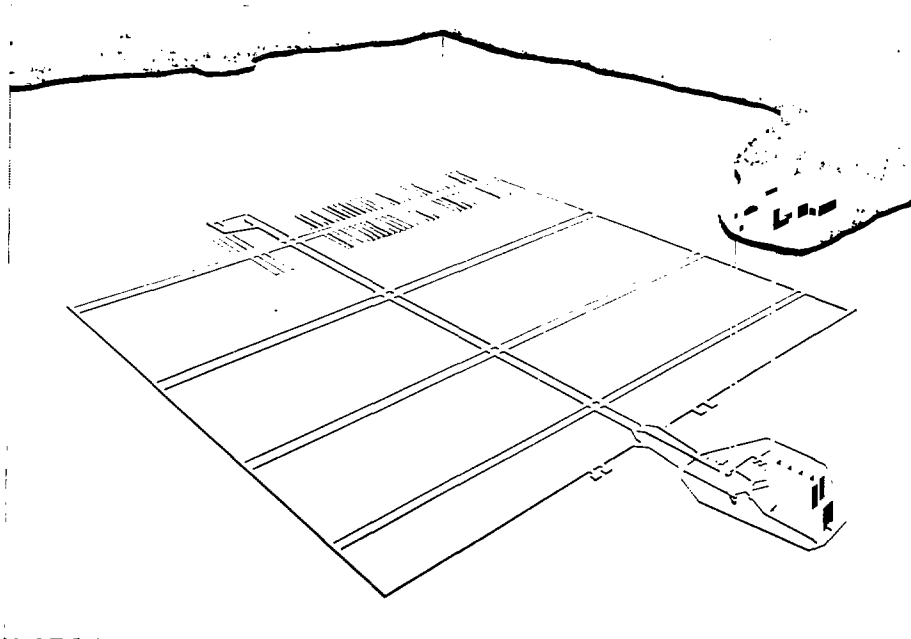
Cette étude ne doit être considérée que comme une "étude de cas" réaliste. Les détails relatifs à la construction d'une future installation peuvent différer de beaucoup, surtout en ce qui a trait aux caractéristiques relevant dans une grande mesure des conditions existant au site (structure de la roche, propriétés chimiques des eaux souterraines, caractéristiques de la surface, etc.). De plus, les spécifications ont été établies en 1985 et la conception d'une future installation serait de toute évidence modifiée, afin de tirer avantage des connaissances acquises depuis.

Plusieurs hypothèses ont été émises lors de l'étude de conception: stocker les déchets sous forme de grappes de combustible usé; aménager une enceinte dont la capacité serait de 190 000 tonnes (10,1 millions de grappes); commencer le stockage des déchets en 2020 et remplir entièrement l'enceinte en 2060; stocker les grappes aux sites mêmes des réacteurs pendant 10 ans avant de les transporter à une installation de stockage.

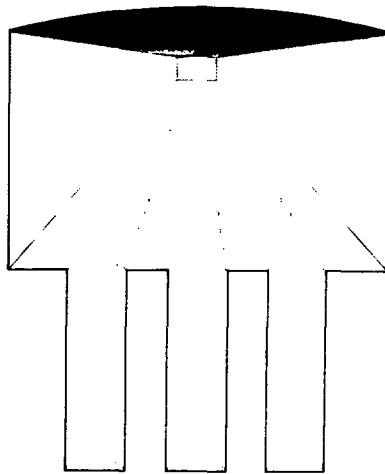
Les installations de surface comprennent une usine de fabrication de conteneurs, une usine de conditionnement (emballage) du combustible usé, une usine de béton, une usine de concassage de roche et le chevalement d'extraction de l'enceinte. Elles comprennent également des installations auxiliaires, à savoir un bâtiment de services d'entretien et réparation, un bâtiment de services administratifs, une centrale Diesel, un entrepôt, une caserne de pompiers et un bâtiment de services de sécurité ainsi que des installations de gestion des déchets secondaires radioactifs et non radioactifs. Les installations de surface sont situées sur un site de 5,2 kilomètres de long et 3 kilomètres de large.

On a choisi le granite comme milieu de stockage permanent de référence du fait que c'est le type de pluton le plus abondant du bouclier canadien. L'enceinte comprend cinq puits verticaux partant de la surface du sol et descendant à une profondeur de 1 000 mètres où se trouve un réseau de galeries et chambres de stockage horizontales. Ce réseau occupe une surface d'environ 2 kilomètres carrés. Il y a

7 Les déchets secondaires sont des déchets produits durant l'exploitation de l'installation de stockage même. Ils se distinguent des déchets primaires expédiés à l'installation de stockage permanent.

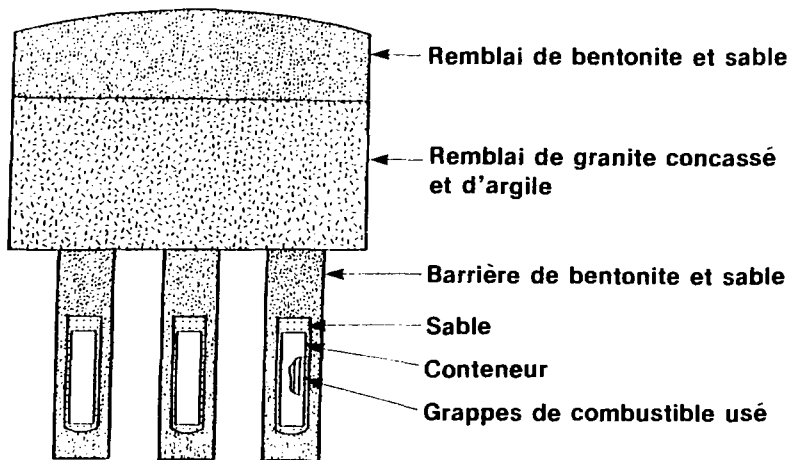


Plan conceptuel de l'enceinte montrant toutes les chambres de stockage permanent de la première partie et sept chambres de la deuxième partie



Une chambre de stockage permanent de l'enceinte. On peut voir les trous de forage du sol de la chambre

512 chambres de stockage ayant chacune jusqu'à 282 trous forés dans le sol. Il y a 140 256 trous de forage au total pouvant loger chacun un conteneur de déchets. Le conteneur est un récipient cylindrique blindé fabriqué en alliage de titane, qui peut contenir 72 grappes de combustible usé. Des perles de verre sont tassées autour des grappes de combustible usé du conteneur pour supporter la paroi de celui-ci.



Coupe d'une chambre de stockage permanent

Le matériau barrière est un mélange de 50% en poids d'argile (bentonite à sodium) et de 50% de sable de silice. Ce matériau est tassé autour du conteneur (silo) de chaque trou. Les puits et la partie inférieure des chambres et des galeries sont remblayés avec un mélange de 25% en poids d'argile de lac glaciaire et de 75% de granite concassé provenant des travaux d'excavation de l'enceinte. La partie supérieure des chambres et des galeries est remblayée avec le même matériau que celui utilisé pour la barrière.

Les principales activités qui se déroulent à un centre de stockage permanent de combustible usé sont les suivantes:

- la fabrication des conteneurs (silos);
- la réception des grappes de combustible usé dans les châteaux de transport (de la centrale nucléaire) et le déchargement des châteaux de transport;
- la mise en place des grappes de combustible usé dans les conteneurs (silos), le tassage des perles de verres autour de ces grappes, le scellement d'étanchéité et l'inspection des conteneurs;
- le dépôt des conteneurs (silos) dans les installations souterraines prévues pour le stockage;
- le dépôt des conteneurs (silos) dans les trous;
- le scellement d'étanchéité des trous;

- le remblayage et le scellement d'étanchéité des chambres de stockage;
- le déclassement des installations de surface; et
- la fermeture de l'enceinte (remblayage et scellement d'étanchéité des galeries et des puits).

6.5 ÉVALUATION AVANT FERMETURE QUANT À L'ENVIRONNEMENT ET LA SÛRETÉ

La phase avant fermeture du stockage des déchets de combustible nucléaire comprend le transport du combustible usé au centre de stockage, la construction et l'exploitation du centre, le déclassement des installations de surface et la fermeture de l'enceinte. Le but de l'examen en matière d'environnement et de sûreté avant fermeture de l'enceinte est d'établir les effets possibles de ces activités sur la santé et la sécurité des êtres humains ainsi que sur l'environnement naturel et le milieu socio-économique. On procède à l'évaluation des conditions normales et anormales.

Du fait que la Déclaration Commune de 1981 exige que le concept de stockage permanent soit évalué, examiné et accepté avant de procéder au choix du site, l'évaluation avant fermeture de l'enceinte est générique, à savoir qu'elle ne s'applique à aucun site particulier. À la place, on a évalué les effets découlant de la réalisation d'un CSCU pour chacune des trois régions envisagées: celles du sud, du centre et du nord de la partie du bouclier canadien située en Ontario. Les caractéristiques environnementales prédominantes de chaque région sont déterminées et les conséquences éventuelles identifiées.



Régions sud, centre et nord de la partie ontarienne du bouclier canadien

On évalue les effets du transport en supposant que le site de stockage est situé au centre géographique de chaque région. Le combustible usé est expédié à sec dans des châteaux de transport par voie terrestre, voie ferroviaire, voie d'eau et voie terrestre, ou encore par voie d'eau et voie ferroviaire. Le transport par voie d'eau n'est envisagé que pour les régions du centre et du nord, et on suppose que le combustible usé est déchargé à une installation spécialement conçue sur la rive nord du Lac Supérieur, d'où le transport se poursuit par voie terrestre ou ferroviaire.

L'évaluation des activités avant fermeture de l'enceinte tient compte des points suivants:

- les effets radiologiques et non radiologiques sur la population;
- les effets radiologiques et non radiologiques sur les travailleurs;
- les effets non radiologiques sur l'environnement;
- les conséquences socio-économiques; et
- les conséquences économiques pour l'Ontario et les autres provinces.

L'efficacité des mesures de sécurité et sûreté est aussi évaluée.

6.6 ÉVALUATION APRÈS FERMETURE QUANT À L'ENVIRONNEMENT ET LA SÛRETÉ

La phase après fermeture du stockage permanent des déchets de combustible nucléaire commence après la fermeture de l'enceinte. L'objectif de l'évaluation après fermeture est de déterminer les effets à long terme de l'installation de stockage permanent et de fournir des valeurs du risque qu'on peut comparer avec les critères réglementaires.

L'évaluation des effets à long terme demande la connaissance des particularités du site de stockage permanent, et il serait insensé d'effectuer une évaluation générale. À la place, nous évaluons les effets à long terme de la réalisation, sur un site hypothétique, d'une enceinte de stockage permanent de référence; les caractéristiques de ce site sont basées sur des renseignements provenant d'une des aires de recherches d'EACL (l'Aire de Recherches de Whiteshell). Cette évaluation devrait donc être considérée comme une étude de cas, semblable à l'étude de conception technique. Elle démontre l'acquisition de renseignements obtenus sur le terrain et en laboratoire ainsi que leur utilisation pour évaluer les effets.

L'enceinte de stockage permanent de référence est semblable au CSCU avec, toutefois, quelques différences. Par exemple, on considère que l'enceinte est à une profondeur de 500 mètres au lieu de 1 000 mètres, car le risque évalué pour l'enceinte moins profonde tend à être plus élevé. On appelle une hypothèse de ce genre, qui tend à prédire à l'excès les répercussions, "hypothèse prudente". Cette évaluation comporte de nombreuses hypothèses prudentes.

Notre approche est la compréhension des caractéristiques d'une installation de stockage permanent, des processus qui sont importants pour en garantir la sûreté et des événements futurs possibles qui pourraient avoir un effet néfaste sur celle-ci. Nous réalisons des modèles mathématiques du système à l'appui de cette compréhension; ils servent à évaluer les répercussions bien avant dans l'avenir. On effectue des études sur le terrain et en laboratoire dont les renseignements réalistes et valables serviront aux modèles et à l'essai de validation de leurs résultats.

On évalue les effets possibles dans le cas de scénarios tenant compte de l'exploitation normale et d'événements et de processus anormaux (par exemple, une rupture du système de scellement d'étanchéité du puits). Les incertitudes que comportent les évaluations sont également évaluées en vue de donner une perspective de l'étendue des répercussions possibles et de la probabilité de leur manifestation.⁸

⁸ L'évaluation repose dans une grande mesure sur la méthode dite d'analyse probabiliste pour l'évaluation de ces incertitudes; c'est-à-dire que la plupart des renseignements utilisés dans l'évaluation sont donnés en fonction des distributions de probabilités plutôt que de simples valeurs; ces distributions de probabilités sont utilisées dans les calculs pour évaluer une distribution correspondante des probabilités des résultats.

Il est indispensable d'avoir recours aux modèles mathématiques parce qu'il n'est pas possible d'observer le comportement du système de stockage permanent durant les longues périodes (au moins 10 000 années) pour lesquelles on doit évaluer les effets . À la place, il faut évaluer les effets à long terme du système à partir des renseignements dont nous disposons avant et au cours de la phase avant fermeture. La fiabilité des modèles, pour cette évaluation du concept, s'établit en comparant les calculs avec les observations des phénomènes importants sur le terrain ou en laboratoire -- dont les observations des systèmes naturels tels les gisements d'uranium -- et en comparant entre eux les calculs effectués au moyen de modèles différents réalisés séparément. Plusieurs intercomparaisons de modèles ont été organisées dans différents pays, de sorte qu'il y a une grande variété de compétences qui concourent à établir la confiance en ces modèles.

Dans l'éventualité de la construction réelle d'une installation de stockage permanent, les modèles et les données utilisés seront améliorés pendant toute la durée de la phase avant fermeture de l'installation, soit pendant plus de 50 ans. Modèles et données seront ajustés continuellement à mesure que l'on recueillera les renseignements provenant des systèmes de surveillance avant et pendant la construction et au cours de l'exploitation. Quand on sera prêt à fermer l'enceinte, la fiabilité et la précision des modèles auront été complètement établies.

Pour l'évaluation après fermeture, le système de stockage permanent a été divisé en trois éléments: l'enceinte, la géosphère et la biosphère. L'enceinte comprend les barrières ouvragées (artificielles) qui se composent des déchets, du conteneur, du matériau barrière entourant le conteneur et des matériaux utilisés pour le remblayage et le scellement d'étanchéité de l'enceinte de stockage permanent. La géosphère comporte la masse rocheuse et son réseau d'écoulement d'eaux souterraines. La biosphère est constituée de l'environnement de la surface et de celui qui est proche de la surface, dont le sol, l'eau, l'air, les êtres humains et les autres organismes.

Les scientifiques spécialistes des processus qui sont importants dans le comportement de chacun de ces éléments, réalisent un modèle qui représente ces éléments. Aux trois sections suivantes, on examine brièvement ces modèles.

6.7 MODÈLE DE L'ENCEINTE

Le modèle de l'enceinte sert à évaluer le déplacement des contaminants de l'enceinte à la géosphère environnante. Ce modèle simule:

- la corrosion des conteneurs;
- la libération des contaminants à partir des déchets; et
- la migration de ces contaminants dans le matériau barrière et le remblai.

Les renseignements dont on se sert en vue de la réalisation du modèle d'enceinte proviennent principalement de la recherche sur les techniques de construction des systèmes ouvragés (artificiels) qu'on décrit à la section 6.3.

6.8 MODÈLE DE LA GÉOSPHERE

Le modèle de la géosphère sert à évaluer le déplacement des contaminants de l'enceinte à la biosphère. Ce modèle propre au site simule:

- le mouvement des eaux souterraines dans la roche entourant l'enceinte;
- la migration des contaminants dans les eaux souterraines; et
- la décharge des contaminants en des points de l'environnement de la surface et près de la surface.

Les renseignements dont on se sert en vue de la réalisation du modèle de géosphère proviennent principalement de la recherche sur les techniques de choix de site qui est décrite à la section 6.2.

6.9 MODÈLE DE LA BIOSPHÈRE

Le modèle de la biosphère sert à évaluer les concentrations de contaminants dans l'environnement et à évaluer les effets radiologiques sur les êtres humains les plus touchés en raison de l'endroit où ils vivent et de leur style de vie (régime alimentaire, source de nourriture, source d'eau potable, etc.). Ce modèle simule:

- la migration des contaminants dans la biosphère, c'est-à-dire dans les eaux de surface, le sol, l'air, les plantes et les animaux; et
- la radioexposition interne des êtres humains (provenant de la nourriture, de l'eau et de la terre qu'ils avalent et de l'air qu'ils respirent) et la radioexposition externe (provenant du sol, de l'air, de l'eau et des bâtiments).

Les renseignements dont on se sert en vue de la réalisation du modèle de biosphère proviennent de la recherche sur les techniques de choix de site qui est décrite à la section 6.2 ainsi que d'autres études centrées sur:

- la dispersion des contaminants dans l'air;
- l'absorption par les plantes des contaminants du sol et de l'air;
- le transfert des contaminants aux animaux; et
- le transfert des contaminants aux êtres humains.

7. DOCUMENTATION

La recherche effectuée dans le cadre du Programme canadien de gestion des déchets de combustible nucléaire a été documentée dans les rapports d'EACL, les dossiers techniques d'EACL, les rapports d'Ontario Hydro et les communications publiées dans les revues scientifiques et les comptes rendus de conférences. Il existe plus de 1 000 publications de ce genre.

Nous rédigeons actuellement un rapport complet sur les travaux que nous avons effectués. On donnera une vue d'ensemble destinée à un auditoire technique général et décrivant les caractéristiques du combustible usé, la nécessité d'une méthode de stockage permanent, les règlements régissant ce stockage, le concept de stockage développé par EACL, les méthodes techniques de choix de site, les méthodes d'évaluation et les résultats, et les autres concepts pouvant remplacer le concept de stockage permanent proposé. Ce survol comprendra également les conclusions et les recommandations. On rédige aussi un résumé de cet aperçu destiné à un public n'ayant pas de connaissances techniques. Le gros du rapport décrira en détail la recherche examinée brièvement aux sections 6.2 à 6.9. Cette description minutieuse vise à informer le lecteur qui souhaite connaître à fond les éléments scientifiques et techniques du concept de stockage permanent proposé.

EACL pense que ce rapport complet apportera une grande partie de l'information qui sera nécessaire à l'examen du concept de stockage permanent.

REMERCIEMENTS

La recherche et le développement en stockage permanent des déchets de combustible nucléaire, au Canada, est financée en commun par EACL et Ontario Hydro. En plus d'en assurer le financement direct, Ontario Hydro met à la disposition d'EACL ses compétences et installations par l'intermédiaire d'un programme d'aide technique.

La recherche est examinée et évaluée de façon indépendante et continue par le Comité Technique Consultatif auprès d'EACL pour le Programme de gestion des déchets de combustible nucléaire. Ce comité, qui se compose d'éminents scientifiques et ingénieurs nommés par des sociétés et associations savantes canadiennes, contribue de façon inestimable à la qualité et direction de la recherche.

La Commission géologique du Canada, le Centre canadien de la technologie des minéraux et de l'énergie ainsi que l'Institut national de recherche en hydrologie ont participé pour une large part au programme de recherche en géoscience.

BIBLIOGRAPHIE

- Aikin, A.M., J.M. Harrison et F.K. Hare (président). 1977. The management of Canada's nuclear wastes. Rapport d'étude sous contrat pour le compte du Ministère de l'Énergie, Mines et Ressources. Rapport EP-77-6.
- Briscoe, B. (président). 1988. Les déchets hautement radioactifs au Canada: La onzième heure a sonné. Rapport du Comité permanent de l'environnement et des forêts sur l'entreposage et l'évacuation des déchets hautement radioactifs. Centre d'édition du gouvernement du Canada, Ottawa (Ontario).
- Commission de contrôle de l'énergie atomique. 1987. Objectifs, exigences et lignes directrices réglementaires à long terme pour l'évacuation des déchets radioactifs. Document de réglementation R-104 de la Commission de contrôle de l'énergie atomique du Canada.
- Déclaration commune. 1978. Déclaration commune du ministre de l'Énergie, Mines et Ressources et du ministre de l'Énergie de l'Ontario, 5 juin 1978.
- Déclaration commune. 1981. Déclaration commune du ministre de l'Énergie, Mines et Ressources et du ministre de l'Énergie de l'Ontario, 4 août 1981.
- Porter, A. (président). 1978. A Race Against Time -- Interim Report on Nuclear Power in Ontario. soumis par la Commission royale sur la planification de l'énergie électrique. J.C. Thatcher, Imprimeur de la Reine pour l'Ontario, Toronto (Ontario).
- Porter, A. (président). 1980. Concepts, conclusions and recommandations. Rapport soumis par la Commission royale sur la planification de l'énergie électrique (rapport définitif). vol. 1. J.C. Thatcher, Imprimeur de la Reine pour l'Ontario, Toronto (Ontario).

ISSN 0067-0367

**To identify individual documents in the series
we have assigned an AECL— number to each.**

**Please refer to the AECL— number when
requesting additional copies of this document
from**

**Scientific Document Distribution Office
Atomic Energy of Canada Limited
Chalk River, Ontario, Canada
K0J 1J0**

Price: A

ISSN 0067-0367

**Pour identifier les rapports individuels
faisant partie de cette série, nous avons
affecté un numéro AECL— à chacun d'eux.**

**Veillez indiquer le numéro AECL— lorsque
vous demandez d'autres exemplaires de ce rapport
au**

**Service de Distribution des Documents Officiels
Energie Atomique du Canada Limitée
Chalk River, Ontario, Canada
K0J 1J0**

Prix: A