

**207**

**DM14**

Projet de modification des installations de stockage  
des déchets radioactifs et réfection de Gentilly-2

**Bécancour**

**6212-02-005**

# La problématique des déchets nucléaires

Mémoire présenté au BAPE dans le cadre du projet de modification des  
installations de stockage des déchets radioactifs et réfection de Gentilly-2

Daniel Rozon, ing., Ph. D., F.C.N.S.  
professeur titulaire  
Département de génie physique  
École Polytechnique de Montréal

14 décembre 2004

## Table des matières

1.0	Introduction .....	1
2.0	Le volume et la nature des déchets .....	3
3.0	Le programme canadien de gestion des déchets nucléaires.....	7
3.1	Un bref historique .....	7
3.2	La Commission d'évaluation Seaborn .....	8
3.3	Mandat de la SGDN.....	9
3.4	Plan d'étude de la SGDN .....	9
4.0	Les mythes entourant la question des déchets : la perception du risque ..	11
4.1	L'effet des radiations : la relation entre le risque et la dose.....	12
4.2	La longévité du risque.....	14
4.3	Les déchets non-radioactifs .....	16
5.0	Les enjeux énergétiques .....	17
5.1	Les émissions de CO <sub>2</sub> et les changements climatiques .....	18
5.2	Un scénario alternatif pour le long terme.....	19
5.3	Le nucléaire vs. les éoliennes.....	21
6.0	Conclusion .....	22
Annexe	.....	24
	Le plan d'étude de la SGDN (NWMO).....	24
	Comparaison des doses annuelles de radiation naturelle .....	25

# La problématique des déchets nucléaires

D. Rozon  
École Polytechnique

## 1.0 Introduction

La réfection de la centrale nucléaire de Gentilly-2 permettra de poursuivre son exploitation jusqu'en 2035, produisant ainsi plus de 100 TWh d'électricité additionnelle, au-delà de ce qui était prévu pour la période d'amortissement de la centrale (1982-2012). Comme la centrale continuera d'être exploitée dans les mêmes conditions que présentement, aucun effet majoré n'est associé à cette production, si ce n'est de l'impact des modifications des installations de stockage qui accueilleront les déchets de retubage et le combustible utilisé additionnel.

Selon Hydro-Québec, *"les émissions radiologiques associées à la présence des installations de stockage et à la réfection de la centrale entraîneront des effets cumulatifs négligeables sur le milieu physique, sur la faune et la flore ainsi que sur la santé de la population locale et des travailleurs du complexe nucléaire"*. En considérant la description technique détaillée de ces installations et la performance des installations actuelles, je n'ai aucun doute de la véracité de cette affirmation. Mon intervention portera plutôt sur les risques à long terme associés au combustible utilisé.

Après le déclassement des systèmes de la centrale à compter de 2035, Hydro-Québec continuera d'assurer la gestion des installations de stockage jusqu'en 2055-60, i.e. la période prévue pour le démantèlement de la centrale et pour la réhabilitation du site. Une question fondamentale n'a cependant pas été adressée dans l'étude d'impact soumise par Hydro-Québec et cette question ne manquera pas d'être soulevée par les citoyens. À cause des demi-vies très longues de certains produits de fission, le combustible utilisé de la centrale sera fortement radioactif même après une période de stockage de 50 ans sur le site, et il continuera de constituer un danger pour l'environnement pendant longtemps. Quoique son activité diminue continuellement, le combustible utilisé demeurera radioactif pendant des centaines voire des milliers d'années.

La question est la suivante : que prévoit-on faire du combustible utilisé dans 50 ans ?

De toute évidence, à moins que l'on choisisse de le conserver sur place à perpétuité, il faudra le transporter vers un autre site. Ceci soulève d'autres questions :

- Quelles sont les garanties qu'un tel site sera disponible en temps utile et qu'il sera acceptable d'y stocker les déchets radioactifs provenant des centrales ?
- Est-il possible de transporter ces déchets sur de grandes distances de façon sécuritaire ?
- Ne serait-il pas plus sage de s'attaquer immédiatement au problème de la disposition ultime des déchets existants, afin d'éviter de reporter ce fardeau aux générations futures ?
- Ne vaudrait-il pas mieux arrêter d'en produire dès maintenant alors que l'on ne connaît pas de solution au problème des déchets, d'autant plus qu'on pourrait facilement se passer de l'énergie nucléaire si l'on considère les choix alternatifs maintenant disponibles (ex. les éoliennes) ?

Ces questions sont légitimes, compte tenu de l'information dont disposent les citoyens. En effet, peu de gens connaissent l'histoire du nucléaire, à part les bombes et Tchernobyl. Peu de gens connaissent les moyens déjà utilisés ou envisagés pour assurer la gestion efficace des déchets radioactifs au Canada et à travers le monde. Mais il ne faut pas se surprendre. Au Canada, malgré les nombreuses études et un programme de recherche très important s'étendant sur plus de 30 ans, nous ne sommes apparemment pas plus près d'une solution. Aucun site d'enfouissement n'a encore été identifié et aucune méthode de gestion des déchets à long terme n'a encore été adoptée par le gouvernement fédéral.

Il ne faudrait cependant pas croire que nous sommes dans l'impasse, et que le problème des déchets est insoluble comme certains voudraient nous le laisser croire. À partir d'une perception exagérée des risques associés aux faibles doses de radiation et d'une méfiance non voilée vis-à-vis des prédictions des scientifiques, certains intervenants ont fait de leurs préoccupations un article de foi qui ne tolère aucune critique. Ils n'hésitent pas à promouvoir leur croyance en multipliant leurs interventions dans les médias avec des propos alarmistes, dans le but d'influencer l'opinion publique et d'affecter les prises de décision. En perpétuant les mythes, ils ont pratiquement réussi à limiter nos choix énergétiques en forçant l'exclusion de l'option nucléaire, alors que nous avons en besoin plus que jamais.

Le combustible usé des centrales, comme toute substance radioactive, est sous juridiction fédérale. La gestion à long terme des déchets de la centrale de Gentilly s'insérera donc dans le contexte du programme canadien de gestion des déchets, qui entrera bientôt dans une phase critique avec la publication de l'étude de la Société de gestion des déchets nucléaires (SGDN/NWMO) prévue pour novembre 2005. La SGDN a été créée à l'automne 2002 suite à l'adoption de la loi C-27.

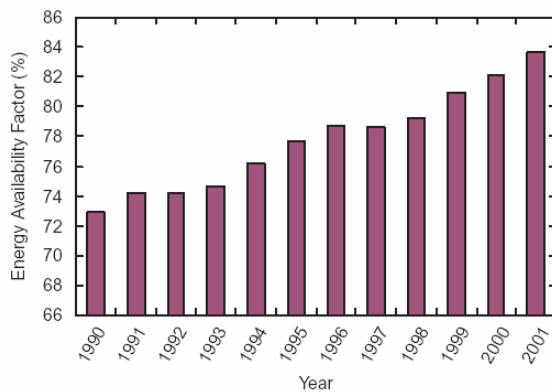
La problématique des déchets nucléaires doit donc être examinée dans une perspective nationale. Mais elle doit aussi l'être dans un contexte global, avec des dizaines de pays confrontés au même problème, mais surtout avec un besoin urgent de produire proprement beaucoup plus d'électricité que présentement. Après avoir dressé un bref historique du programme canadien, j'examinerai les enjeux énergétiques et environnementaux pour faire ressortir le rôle essentiel du nucléaire au cours des 50 prochaines années.

Dans l'immédiat, il faut comprendre que la production des 100 TWh additionnels par la centrale de Gentilly-2 au cours des 30 prochaines années constitue un bloc d'énergie très significatif qu'il sera essentiellement impossible de remplacer sans entraîner des impacts environnementaux importants. De plus, la réfection de Gentilly-2 aura des retombées économiques significatives pour la région et permettra de soutenir plus de 650 emplois directs pour une autre génération.

Examinons d'abord la nature et le volume des déchets de combustible.

## 2.0 Le volume et la nature des déchets

Le tableau 1 montre la production d'électricité nucléaire dans le monde en l'an 2000. Il y avait à ce moment-là 438 réacteurs en fonctionnement avec une capacité totale de 351,2 GW, qui ont produit 2 448 TWh d'électricité, soit 16% de toute l'électricité produite. On peut mesurer l'importance de cette contribution en considérant que la production nucléaire de l'an 2000 est équivalente à la consommation mondiale totale d'électricité en 1960. Il y avait également 33 réacteurs en construction en l'an 2000, pour une capacité additionnelle de 28,6 GW. Bien que moins de centrales nucléaires soient maintenant en construction que par les années 70 et 80, celles en fonctionnement produisent plus d'électricité, comme le montre la figure suivante.



Le facteur d'utilisation (FU) moyen mesure la disponibilité du parc d'équipement en comparant la production annuelle réelle à la production maximale théorique obtenue si toutes les installations opéraient à pleine capacité 100% du temps. On observe que le facteur d'utilisation moyen a augmenté de plus de 10% au cours des années 90, soit l'équivalent de 35 nouveaux réacteurs de 1000 MW.

Global Average Nuclear Energy Availability Factor  
Source: IAEA 2002 Nuclear Technology Report

**Tableau 1 – La production d'électricité nucléaire dans le monde en 2000**

pays	puissance installée (MW)	électricité produite (TWh)	électricité domestique
États-Unis	97 411	753.9	19.8%
France	63 073	395.0	76.4%
Japon	43 491	304.9	33.8%
Allemagne	21 122	159.6	30.6%
Russie	19 843	119.6	14.9%
Canada	9 998 <sup>a</sup>	68.7	11.8%
Corée du Sud	12 990	103.5	40.7%
Angleterre	12 968	78.3	21.9%
Ukraine	11 207	72.4	47.3%
Suède	9 432	54.8	39.0%
Espagne	7 512	59.3	27.6%
Chine	2 167	16.0	1.2%
Autres	47 625	262.4	-
<b>Total</b>	<b>351 327</b>	<b>2 448.4</b>	<b>16.0%</b>

(IAEA Reference Data Series No. 2, April 2001)

On observe au tableau 1 que la puissance indiquée pour le Canada ne comprend pas les sept réacteurs de OPG arrêtés en 1996 (4800 MW). Trois de ces réacteurs ont déjà repris la production (Pickering 4, Bruce 3 et 4), et les autres ne devraient pas tarder. La puissance nucléaire installée au Canada se situe donc plutôt autour de 15 GW. Tous les réacteurs au Canada sont de type CANDU-PHWR modérés à l'eau lourde, alors que la majorité des réacteurs dans le monde sont de type LWR modérés à l'eau légère (tableau 2).

**Tableau 2 - Les filières de réacteur**

<i>Filières</i>	<i>modérateur</i>	<i>réacteurs</i>	<i>MWe</i>
PWR, BWR, ABWR, WWER	eau légère	352	310 320
GCR, AGR, LWGR	graphite	51	24 369
<b>PHWR, HWLWR</b>	eau lourde	<b>34</b>	<b>16 490</b>
FBR (neutrons rapides)	aucun	1	148
total	-	438	351 327

(IAEA Reference Data Series No. 2, April 2001)

À cause de la très faible absorption des neutrons par l'eau lourde, les réacteurs CANDU peuvent utiliser **l'uranium naturel** comme combustible. L'uranium naturel contient seulement 0,7% en U-235 fissile, le reste étant U-238 non fissile. Tous les autres réacteurs dans le monde nécessitent du combustible enrichi en U-235 à une teneur de 3-4%. Avec un taux de combustion de 7,5 GWj/t et un FU de 0,85, on peut calculer alors une *production moyenne de 1760 t de combustible usé au Canada à chaque année*. Cette quantité est comparée aux déchets de combustible des réacteurs à eau (LWR) au tableau 3. On constate qu'en plus des 8400 t/a de combustible usé des réacteurs LWR, il s'accumule près de 50 000 t/a d'uranium appauvri aux usines d'enrichissement.<sup>1</sup>

**Tableau 3 - La consommation de combustible**

	<i>Puissance installée</i>	<i>Taux de combustion (GWj/t)</i>	<i>Combustible usé (par an)</i>	<i>Uranium naturel requis</i>
CANDU	15 GW	7,5	1760 t	1760 t
LWR	335 GW	35	8400 t	58100 t*
Total	350 GW	-	10169 t	59820 t

\* incluant 50 000 t d'uranium appauvri (99,8% U-238) des usines d'enrichissement

Ainsi, en supposant que la durée du cycle de vie de toutes les centrales actuelles sera de **50 ans**, ce qui sera le cas de Gentilly 2 si l'on procède avec le projet de réfection, **la quantité totale de combustible usé accumulé au Canada à partir des réacteurs actuels sera de l'ordre de 88 000 t. (soit environs 4,7 millions de grappes)**. Il s'agit-là de l'inventaire des déchets de combustible dont il faudra disposer en même temps que le combustible usé de **Gentilly 2** d'ici 50 ans. Comme Gentilly 2 ne représente que 4% de la puissance nucléaire installée au Canada, il faudra se départir d'environ **3500 t de combustible usé (175 000 grappes)** à la fin de la vie utile de la centrale.

<sup>1</sup> Cet énorme inventaire d'uranium (non-radioactif et chimiquement pur) pourra éventuellement servir à fabriquer du combustible pour des réacteurs à neutrons rapides (surrégénérateurs)

Lors de son passage dans le réacteur, le combustible est exposé à un flux intense de neutrons et sa composition change. Lorsqu'un neutron est absorbé par un noyau du combustible, deux choses peuvent se produire :

- la fission : le noyau se fragmente en 2 ou 3 noyaux appelés **produits de fission**. Ces fragments étant emprisonnés dans la matrice de combustible, ils déposent directement l'énergie de fission sous forme de chaleur dans le combustible.
- la capture : le neutron est capturé et il y a transmutation du noyau. Le noyau résultant peut absorber un autre neutron ou bien se désintégrer s'il est radioactif. La capture des neutrons dans le combustible conduit donc à la formation de nouveaux isotopes dans la série des **actinides** (où se trouve l'uranium dans le tableau des éléments). Les actinides les plus importants sont les isotopes du plutonium, créés à partir de la capture dans le U-238. Le Pu-239 est particulièrement important car il est fissile et peut produire jusqu'à 40% de l'énergie de la grappe avant qu'elle soit retirée du réacteur. D'autres actinides sont créés en plus petite quantité suite à la capture de neutrons (U-236, Np-237, Am-241)

On constate au tableau 4 que la composition du combustible a très peu changé lors de son passage dans le réacteur. On note en effet que **l'uranium constitue presque 99% du volume du combustible utilisé des réacteurs CANDU**. Ce contenu d'uranium possède cependant peu de valeur à cause de sa faible teneur fissile, ne contenant que 0,23 % en U-235 (soit à peu près la teneur de rejet des usines d'enrichissement) et 0,27% en plutonium fissile. Ainsi, malgré la présence de plutonium, **la teneur fissile du combustible utilisé des réacteurs CANDU est beaucoup plus faible que celle de l'uranium naturel**. Le prix actuel de l'uranium est de l'ordre de 60\$CAN/kg. Même s'il est à son plus haut depuis 20 ans<sup>2</sup>, le prix de l'uranium est encore très faible par rapport aux coûts élevés du retraitement (qui pourraient atteindre 1000\$/kg).

*La faible teneur fissile, l'abondance des ressources d'uranium au Canada et le coût élevé du retraitement font donc en sorte que l'on n'envisage pas le retraitement du combustible CANDU dans un avenir prévisible.*

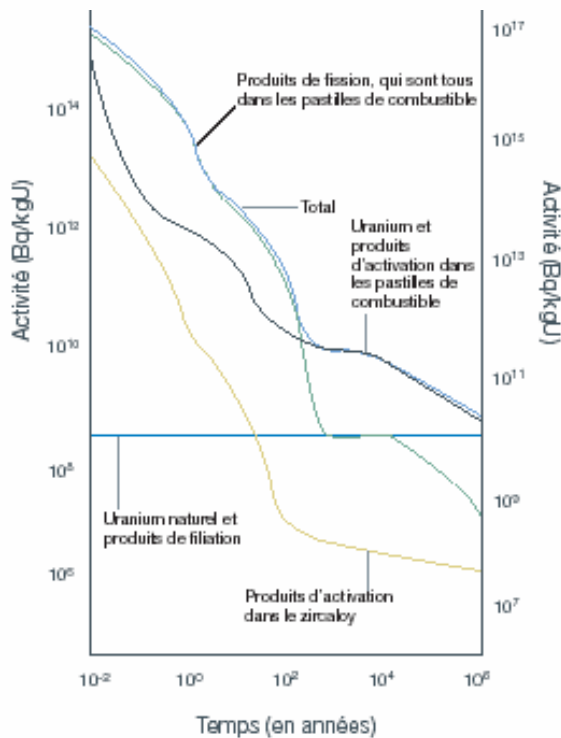
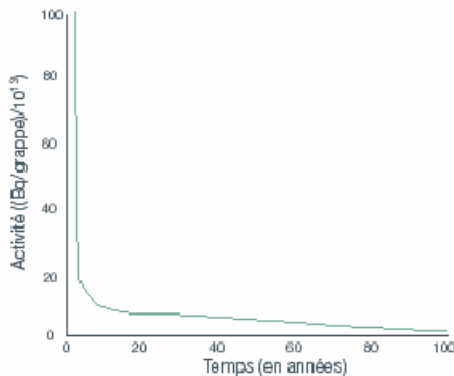
**Tableau 4 - La composition du combustible utilisé<sup>3</sup>**

isotope	demi-vie (années)	CANDU		PWR	
		neuf	usé	neuf	usé
U-238	4 400 000 000	99.28%	98.58%	96.8%	93.79%
<b>U-235 (fissile)</b>	<b>710 000 000</b>	<b>0.72%</b>	<b>0.23%</b>	<b>3.2%</b>	<b>0.91%</b>
U-236	23 000 000	-	0.07%	-	0.40%
<b>Pu-239 (fissile)</b>	<b>24 000</b>	-	<b>0.25%</b>	-	<b>0.59%</b>
Pu-240	6 600	-	0.10%	-	0.23%
<b>Pu-241 (fissile)</b>	<b>14.3</b>	-	<b>0.02%</b>	-	<b>0.08%</b>
Pu-242	360 000	-	0.01%	-	0.05%
produits de fission et actinides mineurs	variable	-	0.74%	-	3.21%

<sup>2</sup> 20\$US/lb de yellowcake (U<sub>3</sub>O<sub>8</sub>), selon Tradetech (30/09/04)

<sup>3</sup> D. Rozon, W. Shen, 'A Parametric Study of the DUPIC Fuel Cycle to Reflect PWR Fuel Management Strategy', Nucl. Sci. Eng., **138**, 1 (2001)

La situation est différente pour les réacteurs à l'eau (i.e. dans le reste du monde). On constate au tableau 4 qu'avec une teneur fissile résiduelle plus importante (1,6%), *il est beaucoup plus intéressant de retraiter le combustible usé des réacteurs à eau (PWR et autres) afin de récupérer l'uranium et le plutonium*. Grâce aux installations commerciales de retraitement en Europe (capacité de 3000 t/a), près de 40% du combustible usé des LWR est présentement retraité. Une partie seulement du plutonium récupéré est recyclée sous forme de combustible à oxyde mixte (MOX) dans les réacteurs actuels. La majorité du plutonium récupéré est en fait stocké pour utilisation future dans des réacteurs à neutrons rapides de prochaine génération. Une conséquence importante du retraitement est la **réduction substantielle du volume des déchets de haute activité**. En effet, les déchets vitrifiés contenant tous les produits de fission et tous les actinides mineurs ne représentent que 3% du volume initial.



**Pratiquement toute la radioactivité dans le combustible usé est initialement attribuable aux produits de fission**, qui constituent moins de 0,7% du volume. Parmi les 350 isotopes différents que l'on retrouve parmi les fragments de fission, plus de 200 sont radioactifs. Certains produits de fission ont des demi-vies très courtes, d'autres plus longues.

Lorsqu'il est retiré du réacteur, le combustible usé est tellement radioactif qu'il doit être conservé sous l'eau des piscines pour en assurer le refroidissement. Cependant, à mesure que les produits de fission à demi-vie courte se désintègrent, l'activité du combustible diminue très rapidement. Comme on le constate sur la figure ci-contre, **l'activité du combustible aura diminué par un facteur 1000 au cours des premiers 50 ans**.

La désintégration des produits de fission se poursuivra pendant de nombreuses années. À cause de certains produits de fission (tels Sr-90, Cs-137, I-129, Tc-99) qui ont de longues demi-vies, il faudra attendre encore 500-1000 ans avant que l'activité des produits de fission ne diminue par un autre facteur 1000.

**Ainsi, après avoir diminué par un facteur de 1 000 000, l'activité des produits de fission deviendra négligeable après 500 ans, c'est-à-dire qu'elle deviendra comparable à l'activité de l'uranium naturel.**

Par ailleurs, le combustible usé contient également du **plutonium** et de faibles concentrations d'actinides mineurs (ex. neptunium-237, américium-241). Comme ces actinides possèdent des demi-vies généralement plus longues que les produits de fission, la désintégration lente des actinides fait en sorte que l'activité du combustible sera dominée par la décroissance des actinides après 500 ans. La radioactivité du combustible usé sera donc **marginale plus élevée que l'uranium naturel pendant plusieurs milliers d'années, sinon un million d'années**, principalement à cause du Pu-239 avec une demi-vie de 24 000 ans.

*Le problème de la gestion des déchets nucléaires sera donc de confiner le combustible usé de façon sécuritaire pendant suffisamment longtemps pour permettre à son activité de décroître à des niveaux comparables à la radioactivité ambiante. Le défi est de taille, car la période de confinement requise est extrêmement longue.*

### 3.0 Le programme canadien de gestion des déchets nucléaires

Lorsque la production d'électricité nucléaire a été envisagée pour la première fois au cours des années 50, les ressources d'uranium étaient considérées comme étant relativement rares de telle sorte que le retraitement et le recyclage étaient perçus comme nécessaires pour rendre cette option viable. Des technologies ont été développées dans plusieurs laboratoires nationaux pour le retraitement et pour le conditionnement des déchets par vitrification, et plusieurs concepts de réacteurs ont été développés pour tirer profit du recyclage. Ainsi, la période 1950-1970 est caractérisée par la construction de plusieurs prototypes de réacteurs à travers le monde. Ces réacteurs de *première génération* ont permis d'établir les caractéristiques des principales filières, de résoudre les problèmes d'ingénierie et d'ouvrir la voie aux réacteurs actuels (de *seconde génération*).

#### 3.1 Un bref historique

Au Canada, l'ÉACL a étudié plusieurs variantes des réacteurs CANDU. Ces réacteurs à tubes de force sont modérés à l'eau lourde, par opposition aux cuves pressurisées des réacteurs à eau légère. Le prototype de Gentilly 1 était un de ces prototypes de première génération. Des procédés de retraitement et de recyclage ont été étudiés au Laboratoire de Chalk River, incluant de nombreuses études environnementales sur la tenue des déchets vitrifiés. Des procédés de fabrication de combustible au plutonium et au thorium ont été développés, et du combustible expérimental a été irradié dans les réacteurs de recherche pour établir leur performance.

Cependant, avec la découverte d'importants gisements d'uranium au Canada et avec le perfectionnement de la technologie des réacteurs CANDU, il s'est avéré que le cycle actuel à l'uranium naturel, sans retraitement, était de beaucoup préférable économiquement aux 'cycles avancés' de combustible. À plus long terme, pour faire face à l'épuisement éventuel des ressources et à la hausse du prix de l'uranium, l'ÉACL a recommandé au gouvernement de poursuivre son programme de développement sur le recyclage, en parallèle avec un programme permettant la disposition du combustible usé, avec ou sans recyclage.

En 1972, un comité constitué de représentants d'ÉACL, d'Ontario Hydro et d'Hydro-Québec a examiné différentes options de gestion des déchets et a conclu que les formations géologiques offraient les meilleures perspectives. En 1977, le ministre fédéral Énergie, mines et ressources (EMR) a demandé à un groupe d'experts indépendants présidés par le prof. F.K. Hare de procéder à une revue des documents techniques de l'ÉACL et de faire rapport sur le stockage sécuritaire à long terme des déchets radioactifs. Le **rapport Hare** a conclu qu'il y avait

d'excellentes perspectives pour la disposition sécuritaire et permanente des déchets de combustible dans des formations géologiques profondes du bouclier canadien, et il recommandait au gouvernement de mettre sur pied un programme national pour la gestion des déchets basé sur ce concept. Cette recommandation a été entérinée en 1978 par la **Commission Porter** sur la planification de l'électricité en Ontario, en demandant qu'une plus grande priorité soit accordée aux programmes de recherche et de démonstration du concept d'enfouissement. Cette recommandation a finalement été retenue par le Comité permanent de la Chambre des communes sur l'énergie et les ressources.

À compter de 1980, un programme de recherche a été mis sur pied pour étudier les caractéristiques du stockage des déchets dans le bouclier canadien. Un laboratoire de recherche souterrain (URL) a été construit aux Laboratoires de Whiteshell au Manitoba, et pendant 10 ans, les caractéristiques des formations géologiques ont été étudiées et une technique d'enfouissement a été développée.<sup>4</sup> En 1992, à la demande du gouvernement, l'ÉACL a remis un rapport d'impact détaillé sur le concept, qui a fait l'objet d'une revue par l'Agence canadienne d'évaluation environnementale entre 1992 et 1996.

### 3.2 La Commission d'évaluation Seaborn

La Commission d'évaluation fédérale, présidée par Blair Seaborn, a reçu plus de 500 mémoires et a entendu des citoyens dans des dizaines de villes canadiennes. Elle a formé son propre comité scientifique pour faire l'évaluation technique du concept proposé par l'ÉACL. La commission a remis son rapport en 1998.<sup>5</sup> Les principales conclusions de la Commission Seaborn étaient que:

- pour être acceptable, un concept de gestion des déchets doit reposer sur un appui étendu du public ;
- la sûreté est une partie essentielle de l'acceptabilité, mais n'en n'est qu'une partie. La sûreté doit être vue selon deux perspectives complémentaires : technique et sociale ;
- pour être acceptable, un concept de gestion des déchets doit être évalué selon des critères sociaux et éthiques fiables, après une comparaison des risques, des coûts et bénéfices des différentes options ;
- le concept doit recevoir l'appui des peuples autochtones ;
- pour être considéré sécuritaire, le concept de gestion doit être suffisamment robuste pour rencontrer toutes les exigences de la réglementation. Il doit également :
  - être basé sur des données techniques et des analogues naturels réalistes
  - incorporer les meilleures pratiques scientifiques ;
  - démontrer la flexibilité et la faisabilité de son implantation ;
  - être soumis à une revue indépendante et faire appel à l'expertise internationale.

Les Commission Seaborn a formulé les recommandations suivantes :

- dans l'ensemble, **la sécurité du concept de l'ÉACL a été démontrée de façon adéquate d'un point de vue technique**, mais elle ne l'a pas été dans une perspective sociale ; en

---

<sup>4</sup> Une large part de la recherche a porté sur la géologie et la chimie, sur le choix des matériaux retardateurs (contenants, remblai) et sur l'élaboration de modèles pour prédire la migration des radionucléides à travers dans le sous sol granitique du bouclier canadien et dans la biosphère. Ce programme a coûté près de 500 millions \$, essentiellement aux frais des producteurs d'électricité. Ce coût est relativement faible, ne représentant qu'une faible fraction des revenus dérivés de la production nucléaire d'électricité (de l'ordre de 750 milliards \$).

<sup>5</sup> *Rapport de la Commission d'évaluation environnementale sur le concept de stockage des déchets de combustible*, EN-106-30/1-1998

- particulier, le comité scientifique de revue établi par la Commission concluait que, malgré plusieurs déficiences, le concept était globalement sécuritaire;
- par ailleurs, la sécurité du concept de l'ÉACL n'a été démontrée de façon adéquate dans une **perspective sociale** ;
  - il n'a pas été démontré que le concept d'enfouissement en formations géologiques profondes recevait l'appui du public.

La conclusion principale de la Commission Seaborn : *dans son état actuel (1992), le concept d'enfouissement de l'ÉACL ne dispose pas d'un niveau d'acceptabilité suffisant pour être adopté comme politique canadienne pour gérer les déchets nucléaires.*

La Commission Seaborn a également recommandé plusieurs étapes additionnelles afin d'obtenir l'appui du public. Entre autre, on recommandait la création d'un organisme indépendant pour développer un plan de participation du public et pour comparer les différentes options de gestion des déchets dans un cadre éthique et social approprié. Pour faire suite aux recommandations de la Commission Seaborn, le gouvernement canadien a finalement adopté la **loi C-27** en juin 2002, créant la Société de gestion des déchets nucléaires (SGDN).

### 3.3 Mandat de la SGDN

La société de gestion des déchets nucléaires (SGDN/NWMO) a donc été créée en vertu de la Loi C-27 sur les déchets de combustible nucléaire pour se pencher sur les solutions de gestion du combustible nucléaire irradié du Canada. Cette loi exige que les sociétés productrices d'électricité dont les activités génèrent du combustible nucléaire irradié :

- établissent une société de gestion des déchets chargée de faire des **recommandations au gouvernement du Canada** sur la gestion à long terme du combustible nucléaire irradié;
- instituent des fonds en fiducie indépendants pour financer la gestion à long terme du combustible.

La Loi sur les déchets de combustible nucléaire exige que la SGDN :

- mette sur pied un **comité consultatif** dont les observations sur l'étude et sur les rapports de la société seront rendues publiques et;
- d'ici **novembre 2005**, soumette au ministère des Ressources naturelles les méthodes proposées pour la gestion du combustible nucléaire irradié, accompagnées des observations du comité consultatif.

La loi autorise le gouvernement du Canada à décider ensuite de la méthode à adopter. Celle-ci sera alors mise en oeuvre par la SGDN, sous réserve de toutes les approbations réglementaires nécessaires.

### 3.4 Plan d'étude de la SGDN

Le plan d'étude de la SGDN est décrit brièvement en annexe. Ce plan comporte de nombreuses occasions d'engagement visant à recueillir les opinions exprimées par les citoyens et à garantir que l'on intègre continuellement à l'étude le fruit des discussions. Les travaux s'effectuent par étapes et font l'objet de communications régulières à grande échelle pour constituer une base de discussion et de réflexion.

Au cours de la première année de son mandat, la SGDN a commandité plus d'une cinquantaine de rapports sur différents concepts directeurs de l'étude. Elle a organisé plusieurs ateliers qui ont permis des discussions face-à-face entre spécialistes ou avec les communautés affectés. Un site Web a été élaboré pour recueillir et présenter toutes les informations recueillies et

pour permettre aux citoyens de communiquer avec la Société sur une base continue.<sup>6</sup> Avec la publication de son premier **document de discussion** à la fin de 2003, la SGDN a présenté les différentes options techniques et a formulé une dizaine de questions-clé auxquelles elle entend répondre, en demandant au public si les bonnes questions sont posées.

La SGDN a par la suite organisé un **dialogue national** en collaboration avec les Réseaux canadiens de recherche en politiques publiques (RCRPP), dans le but d'identifier les valeurs qui sous-tendent la perception que se font les citoyens sur la gestion à long terme du combustible nucléaire. Une quinzaine de sessions de dialogue ('focus groups') ont été organisées à travers le Canada, permettant à la SGDN d'élaborer un cadre d'évaluation des options reflétant ces valeurs. Le rapport de la RCRPP a été soumis en mai 2004, et se trouve sur le site web de la SGDN.

La SGDN a également constitué une **équipe d'évaluation**, formée d'experts internationaux, pour développer une méthodologie rigoureuse et pour l'appliquer de façon préliminaire sur les trois options de base que la SGDN est tenue d'examiner par la loi :

- entreposage permanent à l'emplacement des réacteurs nucléaires ;
- entreposage centralisé en surface ou souterrain ;
- évacuation en couches géologiques profondes dans le bouclier canadien.

L'objectif global de la SGDN est de sélectionner une solution de gestion à long terme qui soit socialement acceptable, techniquement sûre, écologiquement responsable et économiquement viable, et qui reflète les valeurs et les priorités de la population canadienne.

Les trois options de base pour la gestion des déchets ont été examinées en fonction des huit sous-objectifs (critères) suivants :

- équité (répartition équitable des coûts, des avantages, des risques et des responsabilités);
- santé et sécurité de la population ;
- santé et sécurité des travailleurs ;
- bien-être des collectivités ;
- sécurité (sûreté des matériaux, des installations et de l'infrastructure)
- intégrité de l'environnement ;
- viabilité économique ;
- adaptabilité (capacité d'adaptation en fonction de l'évolution des conditions au fil des ans)

Le **rapport d'évaluation préliminaire** de l'équipe d'évaluation a été déposé en juin 2004.<sup>7</sup> L'équipe d'évaluation a constaté que chacune des options possédait des forces et des faiblesses très spécifiques et très différentes, mais que dans l'ensemble :

- *l'option d'évacuation géologique devrait être significativement plus performante* en regard des huit objectifs, particulièrement en ce qui a trait aux exigences à long terme ;
- l'option d'entreposage centralisé devrait être plus performante que l'entreposage sur le site des centrales ;
- comme l'implantation d'une gestion centralisée s'étendra sur plusieurs décades, il serait avantageux de développer l'approche par étapes, de façon flexible, afin de permettre le retour d'expérience et l'impact des nouvelles connaissances.

Les résultats de l'évaluation préliminaire, ainsi que les conclusions du "dialogue national" de la RCRPP ont été présentés dans le deuxième document de discussion publié en septembre 2004.<sup>8</sup> La SGDN poursuivra son étude et ses activités d'engagement. Le **rapport préliminaire de l'étude de la SGDN** devrait sortir au printemps et sera suivi par une période de consultation avant la production du **rapport final** en novembre 2005.

<sup>6</sup> Tous les rapports produits ou commandités par la SGDN peuvent être consultés sur le site web suivant : [www.sgdn.ca/documentation](http://www.sgdn.ca/documentation)

<sup>7</sup> *Assessing the Options*, NWMO Assessment Team Report, June 2004.

<sup>8</sup> *Les options et leurs implications*, DD-2, Société de gestion des déchets nucléaires (septembre 2004)

Comme on peut le constater, le processus entrepris par la SGDN est très transparent. Même si l'on ne connaît pas encore le résultat de l'étude, ni le sort que lui réservera le gouvernement fédéral, il semble déjà évident que des efforts remarquables ont été déployés à date pour corriger une lacune importante identifiée dans le rapport de la Commission Seaborn, concernant l'**acceptabilité** de la méthode proposée.

#### 4.0 Les mythes entourant la question des déchets : la perception du risque

Mais comment se fait-il que cela ait pris tout ce temps pour en être toujours à la case de départ ? En analysant les nombreuses interventions publiques lors des audiences de la Commission Seaborn, ainsi que plusieurs des communications recueillies plus récemment par la SGDN, on peut en déduire que les préoccupations exprimées par les intervenants semblent provenir :

- du **mystère** qui pour la plupart des gens entoure la fission nucléaire et la radiation ;
- de la **peur** engendrée par association avec les bombes et Tchernobyl;
- de l'atmosphère de secret qui entourait le nucléaire dans ses premières années, et du **manque de transparence** du gouvernement fédéral et l'industrie nucléaire ;
- de la **crainte des conséquences désastreuses** si jamais quelque chose n'allait pas, même si la chose est *statistiquement improbable* ;
- d'une certaine **méfiance** vis-à-vis des prédictions des scientifiques sur ce qui pourrait arriver dans *dix mille ans* ;
- d'un certain **malaise** avec une approche de gestion qui ne prévoit pas une supervision continue de l'enceinte de confinement et de la géosphère qui l'entoure (vu que l'on ne peut pas croire les modèles et que les conséquences seraient désastreuses);
- des **difficultés** à déterminer la meilleure façon de protéger les intérêts des générations futures dans nos prises de décision actuelles concernant les déchets que nous avons produits ;
- d'un sentiment qu'il devrait bien exister une meilleure façon, moins dangereuse, de produire l'électricité dont nous avons besoin.

En tant qu'ingénieur physicien ayant dévoué pratiquement toute sa vie à l'enseignement universitaire et à la recherche en génie nucléaire, je ne peux que déplorer le **manque d'information et d'éducation de la population** sur tout ce qui touche la physique nucléaire, et sur la **radioactivité** en particulier. La radioactivité est pourtant omniprésente dans la nature. Par ailleurs, en ce qui concerne la physique des réacteurs à fission, je peux comprendre que cela ne soit pas à la portée de tout le monde. Je suis cependant convaincu, pour avoir enseigné la théorie nucléaire à des techniciens de la centrale de Gentilly aussi bien qu'à des étudiants gradués à l'université pendant près de 30 ans, qu'il est parfaitement possible d'expliquer les choses plus simplement, dans un langage que tous peuvent comprendre. Mais pas en quinze secondes, ou même en quelques minutes comme les médias le souhaiteraient. Pour commencer, on pourrait enseigner des rudiments de physique atomique et nucléaire dans nos écoles et collèges, au même titre que l'électricité et le magnétisme.

*La peur et la perception du risque sont des moyens extrêmement puissants pour manipuler l'opinion publique.*

On n'a qu'à se rappeler que c'est justement la perception du risque posé par les armes de destruction massive en Irak qui a poussé une forte majorité de citoyens américains à appuyer

l'intervention militaire. En ce qui concerne la politique de gestion des déchets, deux **mythes** semblent prévaloir :<sup>9</sup>

1. *les déchets nucléaires sont extrêmement toxiques* et leur disposition pose un danger d'une ampleur sans précédent ; l'exigence de les isoler complètement de la biosphère suggère que *la moindre fuite posera un problème sérieux pour l'environnement* et pour la sécurité de ceux qui pourraient y être exposés ;
2. à cause des longues demi-vies de plusieurs radionucléides, la disposition des déchets nucléaires pose un *risque pour l'humanité d'une durée sans précédent*, dépassant largement la capacité des institutions humaines.

Qu'en est-il vraiment? Comment le risque des radiations ionisantes se compare-t-il avec les autres risques auxquels nous sommes continuellement soumis ?

#### 4.1 L'effet des radiations : la relation entre le risque et la dose

Depuis des milliards d'années, la vie s'est développée sur terre dans un environnement radioactif. À titre d'exemple, on rapporte qu'en moyenne, *chaque cellule de notre corps est frappée par une radiation ionisante trois fois par année.*<sup>10</sup> De toute évidence, nos organismes doivent posséder des mécanismes réparateurs. Lorsque la radiation dépose son énergie dans une cellule, celle-ci peut l'absorber sans conséquence ou bien elle peut être endommagée et mourir. Dans un tel cas, la cellule est éliminée sans trop de conséquences pour l'organisme si le nombre de cellules affectées n'est pas trop grand. La radiation peut par ailleurs créer un défaut dans l'ADN, qui la plupart du temps se répare de lui-même. Parfois, le dommage est trop grand et la cellule meurt. Occasionnellement, la réparation effectuée naturellement comporte une erreur et la cellule devient cancéreuse. Tout dépend donc de la **dose**. La dose peut être externe (champ de radiation à proximité d'une source radioactive) ou interne (ingestion ou absorption d'une particule radioactive).

La **dose** se mesure en Sievert ou en **milli sievert** (mSv). Elle est relativement facile à déterminer si l'on connaît le champ de radiation ou la concentration des radionucléides absorbés par un individu. Par ailleurs, il est très facile de détecter et de mesurer précisément la radiation avec des instruments (compteurs, dosimètres).

Il est généralement reconnu qu'une dose supérieure à 4 000 mSv peut entraîner la mort, alors qu'une dose supérieure à 1 000 mSv provoquera la 'maladie des radiations' dont la victime pourra éventuellement récupérer. De telles doses sont extrêmement rares, et n'ont jamais été réalisées au Canada. Par ailleurs, des milliers de personnes sont mortes de la radiation des bombes au Japon en 1945, et de plus, une trentaine de pompiers et opérateurs sont morts à Tchernobyl en 1986 après avoir reçu des doses massives.

Afin d'établir une relation de cause à effet, les Nations Unies ont suivi près de 96 000 survivants des bombes de 1945, et ce pendant plus de 50 ans.<sup>11</sup> Ces individus avaient subi des doses variant de 1 mSv à 30 000 mSv.

L'étude de l'ONU a permis d'établir qu'il n'y avait *pas d'augmentation statistiquement significative de l'incidence de cancer pour les personnes recevant moins de 20 mSv*, mais que pour des doses supérieures, *le risque de cancer semble augmenter linéairement avec la dose reçue.*

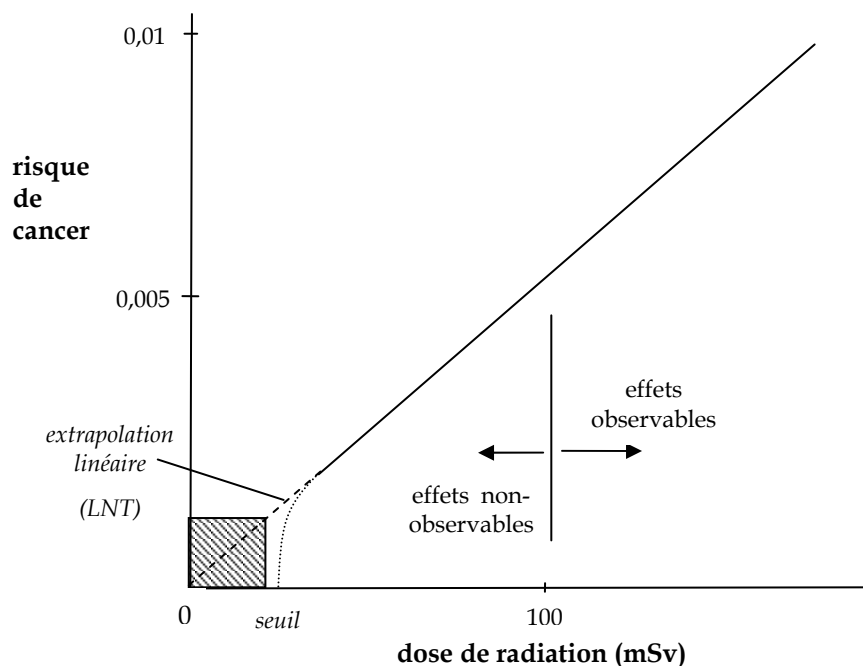
<sup>9</sup> voir l'article 'Nuclear Waste Disposal : the Nature of the Problem', Jerry J. Cohen, 15<sup>th</sup> Int. Conf. on the Unity of the Sciences, Washington DC (novembre 1986)

<sup>10</sup> Dr. A.A. Driedger, Faculté de médecine, Université de Western Ontario (communication privée). Voir aussi L. Feinendegen, *Eur. J. Nucl. Med.*,**18**, 740-751( 1991)

<sup>11</sup> On a également vérifié l'incidence de défauts génétiques chez les enfants des survivants.

L'exposition chronique à de plus **faibles niveaux de dose** pendant de plus longues périodes peut aussi entraîner des conséquences, mais celles-ci sont difficiles à vérifier car elles se manifestent plusieurs années plus tard et sont difficiles à départager des nombreuses autres causes possibles. Comme on peut le constater dans la figure en annexe, *le niveau moyen de dose annuelle attribuable aux causes naturelles varie énormément d'un endroit à l'autre*. Il se situe en moyenne à 2.6 mSv au Canada, mais il peut atteindre plusieurs centaines de mSv à certains endroits. De nombreuses études ont été réalisées auprès de populations exposées à des niveaux anormalement élevés (endroits où la radiation naturelle est particulièrement élevée, ou encore pour des doses mesurées de travailleurs de la santé ou du secteur nucléaire). Pour les doses les plus élevées, les résultats sont cohérents avec la variation linéaire suggérée par les survivants d'Hiroshima. Mais malgré toutes ces études, **il est toujours impossible de démontrer une relation de cause à effet à des niveaux de dose inférieurs à 100 mSv**.

Cela ne veut pas dire qu'il n'y a pas d'effet en dessous de 100 mSv. À cause de l'absence de données fiables, la forme de la relation risque vs. dose demeure incertaine à très faibles doses. La **réglementation** (l'octroi des permis) vise à limiter les doses à un niveau acceptable, qui se situera nécessairement à l'intérieur de cette zone incertaine. L'**hypothèse** la plus souvent utilisée est l'**extrapolation linéaire** (Linear No Threshold Hypothesis, LNT). Ceci est illustré dans le diagramme suivant :



En extrapolant jusqu'à zéro, il sera toujours possible de prédire le risque si l'on connaît la dose et ainsi imposer des limites sur la dose en fonction d'un risque acceptable (par exemple  $10^{-6}$ , ou une chance sur 1 000 000). Cette approche est évidemment **conservatrice** compte tenu de l'existence probable d'un **seuil en dessous duquel il n'y a plus d'effet**. En effet, la plupart des scientifiques s'entendent pour dire qu'un tel seuil existe, même s'il n'est pas possible de le mesurer. En fait, les résultats d'une étude épidémiologique volumineuse sur les risques du cancer des poumons causés par le radon dans les habitations aux É.-U. montrent que la radiation à très

faible dose a des effets bénéfiques plutôt que néfastes (réduction du nombre de cancers plutôt qu'une augmentation).<sup>12</sup>

L'utilisation de l'hypothèse linéaire LNT est parfaitement justifiable pour la réglementation. *Par ailleurs, son **interprétation littérale** a des implications très importantes, car elle suppose que toute radiation est dangereuse (comporte des risques), **aussi infime soit la dose reçue**. Une telle interprétation est gratuite, n'est pas conforme à l'observation et peut conduire à des conclusions erronées.*

Elle conduit, par exemple, aux erreurs suivantes:

- il y a eu plus de 50 000 morts suite à l'accident de Tchernobyl (en appliquant une dose extrêmement faible à pratiquement toute la population de l'hémisphère nord)
- le niveau extrêmement faible de relâche d'un site d'enfouissement géologique de déchets nucléaire, dans un avenir lointain (ex. 10 000 ans), risque d'occasionner un nombre inacceptable de cancers dans les populations affectées

Un exemple loufoque d'une interprétation abusive de l'hypothèse linéaire est le suivant.<sup>13</sup> Supposons par exemple que l'ingestion subite de 20 comprimés d'aspirines soit mortelle. En utilisant LNT, le risque par comprimé s'établirait donc à 0,05. Si 300 millions personnes en Amérique prennent une aspirine par année, il en résulterait alors 15 millions de morts, ce qui est évidemment absurde.

*Par conséquent, toute interprétation réaliste des effets des radiations à faibles doses doit comporter un seuil, comme c'est le cas pour toute substance toxique.*

Ainsi, à cause d'une mauvaise interprétation de la réglementation, plusieurs personnes sont convaincues que toute forme de radiation ionisante est nocive et que la moindre exposition comporte un risque accru de développer un cancer. En réalité, nous sommes tous exposés à la radiation naturelle, qu'on le veuille ou non. Il existe un seuil sous lequel la radiation n'a plus d'effet, et la réglementation veille à ce que l'exposition des personnes à ne représente qu'une faible fraction du niveau naturel.

## 4.2 La longévité du risque

Nous avons vu qu'une petite fraction du combustible usé (en particulier le plutonium) possède des demi-vies très longues. Les actinides sont responsables d'un niveau d'activité des déchets qui demeurera un peu plus élevé que celui du minerai d'uranium naturel pendant des centaines de milliers d'années. *En faisant abstraction des obstacles qui s'interposent à leur relâche* dans la biosphère, certains prétendent que la disposition des déchets nucléaires pose un risque pour l'humanité d'une durée sans précédent, dépassant largement la capacité des institutions humaines.

On ne peut justement pas faire abstraction des **barrières** qui s'interposent entre les déchets et la biosphère :

- la céramique du combustible lui-même est très peu soluble
- les contenants résistent à la corrosion pendant des centaines d'années
- le matériau de remblai est choisi pour retarder l'infiltration d'eau et la migration des produits de fission
- une formation géologique de plusieurs centaines de mètres a été choisie pour favoriser le confinement pendant des millions d'années

<sup>12</sup> B.L. Cohen, *Test of the Linear No-Threshold Theory of Radiation Carcinogenesis for Inhaled Radon Decay Products*, Health Physics, vol. 68, no. 2 (1995)

<sup>13</sup> H. Tammemagi, D. Jackson, *Unlocking the atom*, McMaster University Press (2002)

Les modèles utilisés pour prédire le déplacement des radionucléides à travers les barrières sont fort complexes et comportent nécessairement des incertitudes (sur les données, sur les cheminements possibles, sur l'hydrologie ou sur les détails de la formation géologique). Ces **incertitudes** deviennent de plus en plus importantes à mesure que l'horizon est repoussé. Au-delà d'un certain horizon, les prédictions des modèles ne sont plus pertinentes. Il faut alors recourir à des calculs simplifiés pour faire une **évaluation qualitative** de la protection offerte par le système d'enfouissement. On peut alors diviser la période d'étude (comme en Finlande) en trois époques : une première période où l'environnement est prévisible (quelques milliers d'années), une deuxième période de changements climatiques extrêmes (plus de 10 000 ans) et finalement, l'avenir lointain (plus de 200 000 ans).

*Pour le très long terme, lorsque l'utilisation de modèles détaillés devient trop imprécise, la prise en compte d'analogues naturels est très importante pour mesurer l'acceptabilité des systèmes d'enfouissement.*

Deux exemples d'analogues sont particulièrement pertinents :

- le **réacteur naturel d'Oklo**, le site d'une mine d'uranium au Gabon où l'on a découvert en 1972 l'évidence de l'existence il y a plus d'un milliard d'années **d'un réacteur naturel à fission** qui aurait fonctionné pendant quelques centaines de milliers d'années. La chose s'explique du fait qu'à cette époque, la teneur en U-235 dans l'uranium naturel était plus élevée que présentement, car sa demi-vie est beaucoup plus faible que celle d'U-238.<sup>14</sup> La fission se déroulait lentement, mais elle a conduit avec les années à produire de grandes quantités de produits de fission et de plutonium. Ceux-ci sont disparus depuis longtemps par décroissance radioactive, mais leur présence est vérifiable aujourd'hui à partir des produits de filiation stables que l'on a trouvé au même endroit que l'uranium. Par conséquent, on a observé dans la nature que **le plutonium et les autres actinides ne se sont pas déplacés par rapport à l'uranium** qui a été contenu dans la formation géologique *pendant plus d'un milliard d'années*.
- la mine de **Cigar Lake** en Saskatchewan, est un autre bel exemple de **confinement naturel**. Située dans le bassin de l'Athabasca, cette formation contient plusieurs des gisements les plus grands et les plus riches au monde, contenant des centaines de milliers de tonnes de minerai d'uranium fortement radioactif (avec des teneurs de plus de 10% d'uranium).<sup>15</sup> Paradoxalement, la carte de la radioactivité de surface au Canada publiée en 1986 par le *Geological Survey* montre que le niveau de radioactivité dans cette région est significativement **plus faible** que la moyenne canadienne. Ce niveau anormalement faible de radioactivité en surface dans le bassin de l'Athabaska démontre clairement comment l'uranium a été effectivement confiné dans le sous-sol, en dépit des mouvements séismiques, de la fracturation des roches et des infiltrations d'eau. Il devrait donc être possible d'enfouir les déchets radioactifs dans les mêmes formations géologiques, **avec une confiance élevée que les déchets seront confinés de façon sécuritaire pendant au moins quelques centaines de millions d'années**.

Ces deux exemples montrent comment la perception du risque peut être faussée, certains refusant même de se rendre à l'évidence (on cherche toujours les ADM en Irak...). On peut faire ressortir un dernier aspect de la **perception démesurée du risque** des déchets nucléaires lorsqu'on les compare aux autres déchets.

---

<sup>14</sup> Soit plus de 3% par rapport à 0,7%. Ce niveau d'enrichissement correspond à celui des réacteurs à eau (LWR)

<sup>15</sup> Le gisement de Cigar Lake découvert en 1987 produira à lui seul plus d'uranium que requis pour couvrir tous les besoins domestiques pour 50 ans. Le Canada était déjà le premier producteur mondial, et il l'est toujours.

### 4.3 Les déchets non radioactifs

Plus de 1500 substances cancérigènes ont déjà été identifiées. Parmi les **substances toxiques**, on trouve plusieurs produits inorganiques, tels des composés de sélénium, des cyanures, de l'arsenic et plusieurs métaux comme le cuivre, le plomb ou le mercure. Ces substances ne sont pas radioactives, et par conséquent elles *demeureront toxiques pour toujours*. *Les déchets radioactifs ne sont donc pas les seuls à poser un problème de longévité du risque, loin de là.*

En principe, parce qu'ils ne posent pas un problème permanent, il devrait être plus simple de gérer les déchets radioactifs à long terme que de gérer les autres déchets toxiques créés par la société. Le cas le plus épineux est sans doute celui des déchets domestiques. Des quantités incroyables de déchets sont produites par les municipalités à chaque année, surtout les grandes villes, qui les accumulent sans savoir où les mettre.

Un bel exemple est celui du **Centre environnemental St-Michel** situé au cœur de l'île de Montréal. J'ai vécu pendant sept ans dans le quartier Ahuntsic à Montréal, dans le voisinage immédiat de ce que l'on appelait la carrière Miron. À partir de 1965, la ville de Montréal a commencé à y enfouir ses déchets domestiques, et l'opération s'est poursuivie pendant plus de 30 ans. Le site a maintenant été transformé en "centre environnemental". On y a construit une usine thermique pour brûler une partie du méthane qui se dégage continuellement des profondeurs du site, produisant ainsi 25 MW d'électricité (soit 30 fois moins que Gentilly-2).<sup>16</sup> À la surface, la ville nous promet un grand parc, avec un beau terrain de golf... Des mesures sont également prises pour contrôler les effluents, mais on soupçonne que ces mesures n'auront que peu d'effet à long terme, compte tenu de l'immensité du site.

Le site web du Centre nous informe que plus de **35 millions de tonnes** de déchets domestiques ont été enfouis dans la carrière Miron entre 1965 et 1998. Ceci en fait *un des plus gros centres d'enfouissement en Amérique*. Quels sont les risques associés avec ce site ?

- les **émanations** de gaz n'ont pas commencé en 1998. En fait, elles se sont poursuivies pendant 35 ans, et à cause des vents dominants, les pauvres gens du quartier St-Michel ont dû respirer un air vicié pendant plus d'une génération.<sup>17</sup> Encore aujourd'hui, on continue d'y entasser toutes les feuilles mortes de l'île de Montréal dans une énorme pile de compost, ce qui dégage à l'occasion des odeurs particulièrement désagréables dans le voisinage lorsqu'on extrait le compost. A-t-on jamais fait des études épidémiologiques dans le quartier St-Michel (par rapport aux autres quartiers autour du site) pour vérifier si le **taux de cancer** y est plus élevé ? Pas à ma connaissance, mais je serais bien curieux de le savoir.
- aucune vérification ni aucun tri des déchets n'ont été effectués lors de l'enfouissement. Il est généralement accepté que nos déchets domestiques contiennent jusqu'à 1% de matières toxiques pouvant causer le cancer. En faisant le calcul, 1% de 35 millions de tonnes donne **350 000 tonnes de matières toxiques, ce qui représente près de 4 fois la quantité totale des déchets radioactifs prévus au Canada sur 50 ans**. Malheureusement, les matières toxiques sont stables et présenteront un danger aussi important dans 10 000 ans que maintenant. De plus, ils ont été enfouis littéralement en surface, et sont donc essentiellement accessibles à la biosphère, contrairement aux déchets radioactifs que l'on enfouira à une profondeur de 1000 m. Il me semble donc inévitable qu'à la longue, ces poisons issus des déchets domestiques **se disperseront dans l'environnement**. A-t-on soumis le projet à une évaluation d'impact sur l'environnement avant de décider d'y

---

<sup>16</sup> Le gaz est capté par un réseau de conduites enfoncées dans les déchets.

<sup>17</sup> J'en sais quelque chose car je pouvais y goûter moi-même quand le vent changeait de direction.

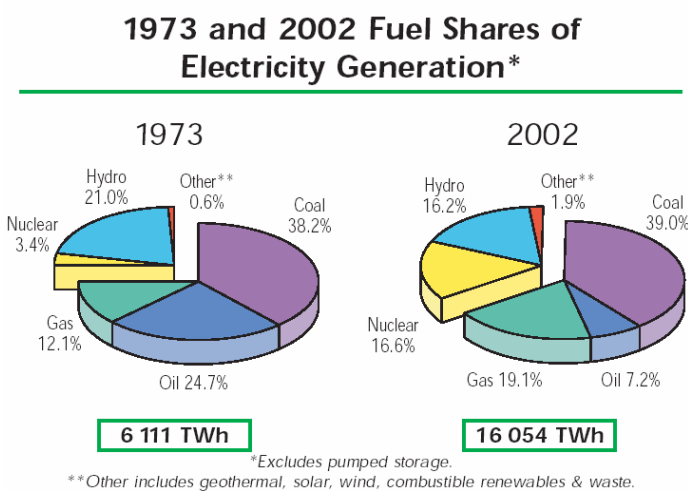
enfouir les déchets ? Jamais ! Lorsqu'on a proposé le Centre environnemental St-Michel, est-ce qu'on a étudié l'impact des déchets sur des milliers d'années ? J'en doute.

N'allez pas croire par ces propos que je suis contre le Centre environnemental St-Michel. La ville de Montréal y fait des efforts louables pour atténuer l'impact, mais en ce qui concerne le très long terme, il est trop tard. Comme tout le monde, j'accepte cette situation car il faut bien faire quelque chose avec nos déchets. Nous reconnaissons tous que le développement urbain aura des impacts sur l'environnement.

De la même façon, nous devons admettre que la production d'électricité aura toujours un impact sur l'environnement. Devant les impératifs de la demande future, il sera donc essentiel d'évaluer les options et de comparer les risques et les impacts.

## 5.0 Les enjeux énergétiques

Tout en exagérant l'importance du risque associé aux déchets nucléaires, certains intervenants prétendent que l'on peut facilement se passer du nucléaire pour nos approvisionnements futurs car il existe des solutions de rechange moins dispendieuses et beaucoup mieux adaptées à l'environnement et au développement durable. Pour comprendre jusqu'à quel point cette illusion est dangereuse, considérons d'abord les enjeux énergétiques à l'échelle mondiale. Nous allons nous concentrer sur la production d'électricité et sur les émissions de CO<sub>2</sub>.



L'Agence internationale de l'Énergie (AIE/IEA) publie à chaque année des statistiques sur l'énergie et sur les émissions à travers le monde. En juin 2004, elle a publié ses projections jusqu'en 2030.<sup>18</sup>

Le diagramme ci-contre montre l'augmentation de la production mondiale d'électricité au cours des 30 dernières années. On observe que depuis 1973, la consommation d'électricité a presque triplé.

En ce qui concerne la production d'électricité, cette période a surtout été marquée par :

- la réduction du pétrole, qui n'est pratiquement plus utilisé pour la production d'électricité
- la montée du nucléaire dont la production est devenue aussi importante que l'hydraulique
- de la pénétration du gaz qui est maintenant le combustible de choix
- de l'augmentation du charbon, qui a maintenu sa part de la production d'électricité

Les prévisions de l'AIE pour l'an 2030 dressent un portrait plutôt sombre. Si les gouvernements s'en tiennent aux politiques actuelles, la demande globale d'énergie augmentera de 60% alors que la **demande d'électricité doublera**. Les combustibles fossiles continueront de dominer l'échiquier, alors que la part du nucléaire et des énergies renouvelables demeurera limitée. L'augmentation de la puissance installée sera de 4 800 GW, nécessitant des investissements de 10 000 milliards \$,

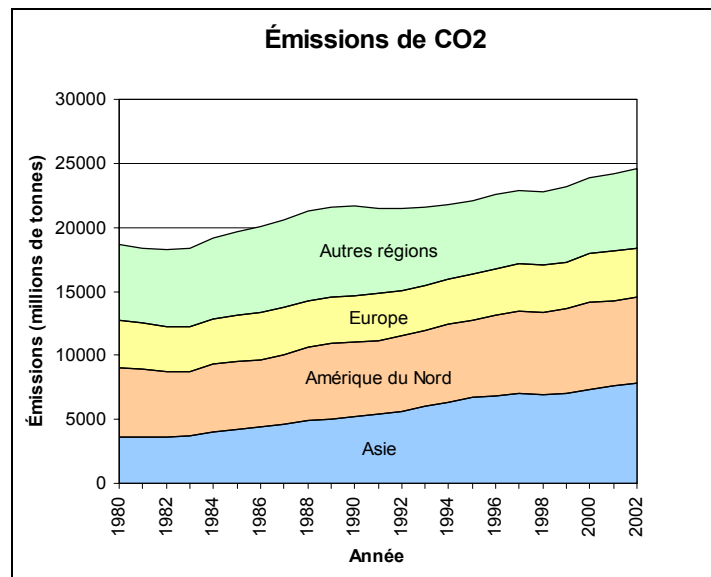
<sup>18</sup> World Energy Outlook, International Energy Agency, juin 2004.

dont la moitié dans les pays en voie de développement (il n'est pas évident qu'un tel financement sera disponible).

Le **pétrole** continuera de jouer un rôle crucial, et sa *demande continuera de croître* jusqu'en 2030. Quoique les réserves mondiales de pétrole soient adéquates pour couvrir toute cette période, le marché présente de sérieux risques d'approvisionnement, comme les événements récents au Moyen Orient le démontrent. Le **gaz** continuera de pénétrer le secteur de l'électricité, et *sa consommation globale devrait doubler d'ici 2030*. Malgré la pénétration du gaz, **le charbon demeurera la source principale d'énergie pour la production d'électricité**.

## 5.1 Les émissions de CO<sub>2</sub> et les changements climatiques

Le scénario de référence utilisé par l'AIE présume que les politiques gouvernementales ne changeront pas ('business as usual'). Dans ce cas, il est à prévoir que **les émissions de CO<sub>2</sub> vont augmenter de 60% d'ici 2030**, avec les deux tiers des nouvelles émissions provenant des pays en voie de développement qui continueront de dépendre du charbon. Le total des émissions annuelles de CO<sub>2</sub> reliées à la combustion des hydrocarbures se situait à **24,5 milliards de tonnes (Gt)**. *Près de 1/3 de ces émissions sont causées par la production d'électricité avec le charbon et le gaz*. La tendance des émissions au cours des 20 dernières années, illustrée plus bas, démontre clairement le rôle majeur de l'Asie (Chine, Japon). Comme la Chine connaît un taux de croissance beaucoup plus élevé que l'occident et qu'elle dispose des plus grandes réserves connues de charbon, cette tendance n'est pas à la veille de s'estomper. **Le monde fait donc face à une augmentation de près de 15 Gt/an de CO<sub>2</sub> d'ici 30 ans**.



Il existe un grand nombre d'indicateurs suggérant le **réchauffement de la planète** : réchauffement des océans, fonte des glaciers, fonte des glaces dans l'Arctique, dégel du permafrost, le printemps qui arrive plus tôt et l'automne qui arrive plus tard, l'érosion des côtes, le niveau des grands lacs qui diminue, etc...<sup>19</sup>

Il semble donc à peu près certain que nous assistons présentement à un phénomène de réchauffement. Par exemple, les 5 années les plus chaudes jamais enregistrées sont les 5

<sup>19</sup> Voir l'édition de septembre 2004 du *National Geographic*, qui porte presque entièrement sur le sujet.

dernières. Ce n'est évidemment pas la première fois que cela se produit. Il est possible que ces observations ne soient en fait qu'une indication d'un cycle naturel qui nous situe dans une période de réchauffement prolongé causé par les variations dans l'orbite de la terre (sur un cycle de 100 000 ans), période qui sera bientôt suivie par une période de glaciation (dans 10000 à 20000 ans...). Par ailleurs, la concentration atmosphérique de CO<sub>2</sub> n'a pas cessé d'augmenter depuis la révolution industrielle (300 ans), ayant presque doublé par rapport à son niveau historique. Comme le CO<sub>2</sub> est un gaz à effet de serre, les modèles prédisent tous que cette augmentation attribuable à l'activité humaine pourrait en fait provoquer une augmentation de la température moyenne de 2 à 5 degrés d'ici 100 ans. **Les conséquences d'une telle augmentation seraient catastrophiques**, particulièrement sur le niveau des mers,<sup>20</sup> et affecter le climat mondial en modifiant la circulation dans les océans (en particulier le Gulf Stream).

Ainsi, si l'on peut croire les prévisions de changements climatiques attribuables aux émissions des gaz à effet de serre, le monde se destine à des bouleversements majeurs. *Des milliards de personnes seront directement touchés par ces changements au fil des années, à moins que l'on ne modifie la trajectoire dès maintenant.* Cette perspective a conduit la communauté internationale à mettre de l'avant le protocole de **Kyoto**, qui vise à freiner l'augmentation des émissions dans l'espoir de renverser la tendance.

## 5.2 Un scénario alternatif pour le long terme

L'Agence internationale de l'énergie (AIE) conclut que son scénario de référence ('business as usual') ne peut pas être maintenu et que des changements s'imposent. Pour la première fois, l'AIE propose un scénario alternatif qui examine l'impact global des politiques environnementales et énergétiques présentement envisagées dans certains pays, ainsi que de l'impact d'un déploiement plus rapide de nouvelles technologies pour l'efficacité énergétique.

Dans ce scénario alternatif, la demande globale d'énergie primaire serait réduite de 10% par rapport au scénario de référence et l'augmentation de la demande en pétrole et en charbon serait diminuée. Près des deux tiers des gains seraient réalisés par des *mesures d'économie de l'énergie* et par l'utilisation de *véhicules plus efficaces dans les pays en voie de développement*, le reste étant attribuable à une *augmentation des énergies renouvelables et du nucléaire*. L'AIE prévoit une réduction de 16% des émissions par rapport au scénario de référence, mais *ceci n'empêchera pas les émissions globales d'augmenter par rapport à leur niveau actuel*.

**C'est la première fois que l'AEI présente un modèle d'approvisionnement énergétique pour l'avenir qui donne un rôle accru (et non moindre) à l'énergie nucléaire.** Elle conclut en particulier que l'Europe et les pays de la région du Pacifique de l'OCDE devront donner une plus grande place à l'énergie nucléaire. On commence d'ailleurs à entendre des ministres et des chefs d'entreprise en Belgique et en Allemagne souhaiter la réouverture du débat sur la politique actuelle d'abandon progressif du nucléaire dans ces pays.

*Il devient donc évident, même pour les gouvernements qui ont été pris en otage par les partis verts, que les objectifs de Kyoto ne seront jamais atteints si une politique de déclassement du nucléaire est maintenue. Au contraire, le maintien sinon une augmentation du nucléaire sera indispensable pour prévenir une 'carbonisation' croissante de l'approvisionnement mondial en énergie.*

On peut comprendre l'importance des enjeux lorsqu'on extrapole les besoins encore plus loin. Dans 50 ans, la population des États Unis dépassera le demi milliard alors que la population mondiale pourrait atteindre 10 milliards. Une augmentation substantielle de la demande

<sup>20</sup> Le niveau des océans pourrait augmenter de 3 à 30 pieds, engloutissant plusieurs grandes villes, sans parler du Bangladesh et de la Floride.

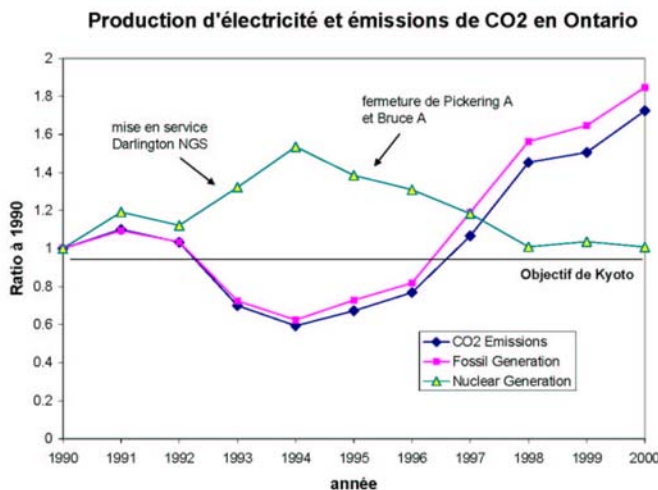
mondiale en énergie est donc à prévoir. En particulier, la demande mondiale d'électricité est susceptible d'augmenter plus rapidement, pour appuyer une hausse du niveau de vie dans les pays en voie de développement (surtout en Chine). Puisque la demande d'électricité dans le monde doit doubler d'ici 2030, on peut penser qu'elle devra *tripler* d'ici **50 ans**.<sup>21</sup>

Ceci représente 30 000 TWh/a additionnels. Dans un scénario 'business as usual', avec un partage 20%-hydro, 20%-nucléaire, 20%-gaz et 40%-charbon, on constate que :

- il faudrait produire 6 000 TWh d'hydraulique de plus, ce qui n'est tout simplement *pas possible*, car les bons sites hydrauliques sont déjà exploités. Même avec une augmentation de 40%, il faudra trouver 4 800 TWh d'énergie additionnelle. Avec des éoliennes pour combler ce déficit, il faudrait alors construire **730 600 éoliennes de 3 MW**, nécessitant près de **550 000 km<sup>2</sup>** de territoire (i.e. la superficie de la France).<sup>22</sup>
- non seulement faut-il remplacer les 450 réacteurs nucléaires actuels à la fin de leur cycle de vie, mais il faudrait aussi construire **860 réacteurs de 1000 MW additionnels** pour produire une autre tranche de 6 000 TWh.
- l'utilisation du gaz (pour 6 000 TWh) et du charbon (pour 12 000 TWh) occasionnerait des **émissions additionnelles de CO<sub>2</sub> de l'ordre de 15 Gt** (soit une augmentation de 60% des émissions totales actuelles, et ce uniquement pour la production d'électricité).

Cette extrapolation grossière de la demande, si elle n'est pas réaliste, peut néanmoins servir de balise. On observe que ces chiffres ne tiennent pas compte des mesures d'efficacité que l'on devra envisager, ni de la substitution des hydrocarbures que l'on devra effectuer. Dans le meilleur des mondes, on pourrait peut-être réduire la demande d'énergie per capita de 30-40%, mais la demande globale d'électricité sera toujours très grande, car la population augmente et elle s'enrichit. Bref, il existe un large consensus sur le constat suivant :

*À plus long terme, il est inconcevable de poursuivre notre dépendance quasi-totale sur les hydrocarbures pour satisfaire nos besoins énergétiques. TOUTS les moyens doivent être envisagés pour réduire les émissions, sans pour autant compromettre le développement de l'humanité. Il faudra d'abord instaurer des mesures d'efficacité ayant un maximum d'impact sur la demande. Pour la production d'électricité, il faudra construire le plus d'éoliennes possible, augmenter substantiellement le nombre de centrales nucléaires et favoriser l'utilisation du gaz au détriment du charbon.*



On n'a pas besoin d'aller très loin pour se rendre compte des enjeux. **L'Ontario** fait face présentement à une crise énergétique sérieuse. Suite à la fermeture 'temporaire' de 7 réacteurs nucléaires en 1996, et pour faire face à la demande qui a augmenté depuis, on a dû redémarrer des **centrales au charbon**, dont la capacité dépasse maintenant **7500 MW**. Ceci a eu un impact majeur sur la qualité de l'air, et comme le montre le graphique ci-contre, cela a fait grimper substantiellement les émissions de CO<sub>2</sub>, bien au delà des objectifs de Kyoto.

<sup>21</sup> Ceci correspond à une augmentation moyenne de 2.2%/an pendant 50 ans, soit près de 30 000 TWh/an additionnels.

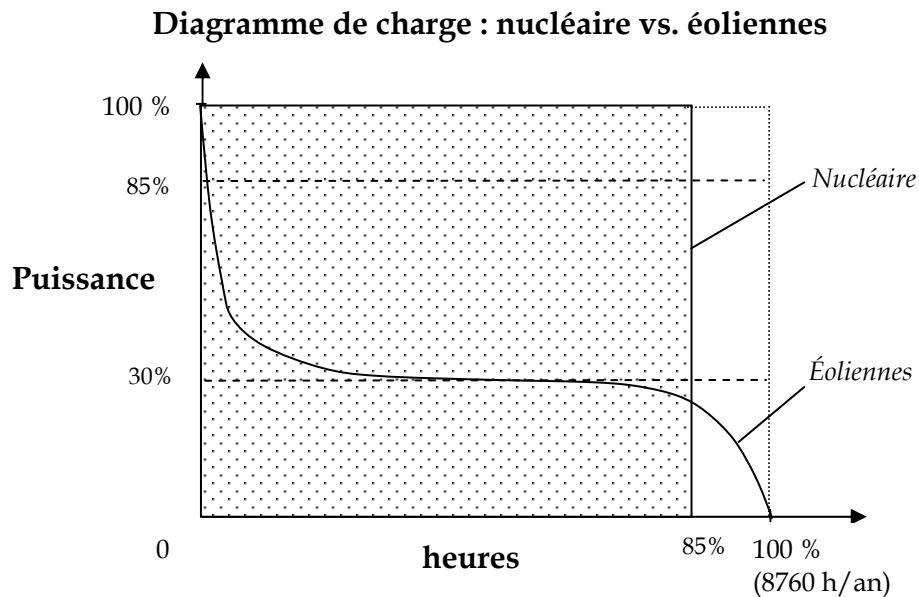
<sup>22</sup> Hypothèses : facteur d'utilisation de 30%, 4 MW/km<sup>2</sup>.

Le gouvernement de l'Ontario a annoncé son intention d'arrêter les centrales au charbon d'ici 2007. Malgré tous les efforts, *il est presque certain que cet objectif ne sera pas atteint*, particulièrement si l'on ne parvient pas à redémarrer les 4 dernières centrales nucléaires arrêtées en 1996 (3 sont déjà en marche).<sup>23</sup> Compte tenu de la capacité du pipeline de l'ouest, le gaz naturel n'est pas disponible en quantité suffisante au-delà des quantités déjà planifiées (3000 MW). Enfin, les éoliennes et le solaire sont tout simplement incapables de produire l'énergie requise, à cause de leur caractère diffus et intermittent.

### 5.3 Le nucléaire vs. les éoliennes

Avant de conclure, je voudrais clarifier un point sur l'énergie éolienne. L'énergie nucléaire n'est pas en compétition avec l'énergie éolienne. Ce sont deux formes d'énergie complémentaires, mais qui se distinguent nettement. Certains promoteurs veulent nous faire croire que l'on pourrait satisfaire la plupart de nos besoins avec des éoliennes, mais ce n'est pas reconnaître les contraintes suivantes :

- **intermittence** : une centrale nucléaire fonctionne *en base*, c'est-à-dire qu'elle fonctionne à pleine puissance 24h par jour, lorsqu'elle est disponible. En moyenne, elle est disponible 10 mois sur 12, soit 85% du temps. Par ailleurs, pour les éoliennes, il ne vente pas toujours suffisamment pour faire tourner les turbines à leur pleine vitesse. En moyenne, le mieux que l'on puisse espérer est de soutirer 20-30% de la capacité maximale des turbines. Il faut donc trouver un site où il vente continuellement, ce qui n'est pas donné. Cette caractéristique est illustrée dans le diagramme de charge suivant :



On constate donc que *pour une même puissance installée, les éoliennes produiront presque trois fois moins d'énergie (85/30) qu'une centrale nucléaire. Pour produire la même énergie, il faudrait donc installer une puissance trois fois plus grande*, et encore là, cette énergie ne sera pas produite au bon moment. Il faut donc pouvoir l'emmagasiner (*réservoir d'énergie*), ce qui risque d'entraîner des coûts additionnels importants.

<sup>23</sup> J.T. Rogers, *Options for Coal-Fired Power Plants in Ontario* (communication privée).

À cause de cette caractéristique inhérente, l'intermittence de l'éolien le condamne à jouer un rôle relativement marginal pour la production de grandes quantités d'énergie, car il deviendra de plus en plus difficile de contrôler un réseau électrique si l'éolien fournit plus de 10-20% de la production. Le succès du Danemark (avec 12%) est possible grâce à l'interconnexion avec l'Allemagne, dont la puissance en base est 10 fois plus grande. Le faible facteur d'utilisation des éoliennes (20-30%) implique également qu'il en coûtera plus cher pour récupérer le capital investi, car les revenus sont proportionnels à l'énergie produite, et non à la puissance installée. Ainsi, même si le coût en capital des meilleures éoliennes est aussi faible que celui d'une centrale nucléaire (ex. 1500 \$/kW), le prix de revient de l'électricité sera 3 fois plus élevé car l'énergie produite par kW installé est 3 fois plus faible.

- **faible intensité** : toutes les énergies renouvelables ont cette caractéristique, qu'il s'agisse de l'hydraulique, du solaire ou des éoliennes. Dans le cas de l'hydraulique, la nature compense cette déficience en offrant de grands bassins hydrauliques pour accumuler les précipitations et concentrer l'énergie dans les rivières. Pour le solaire et l'éolien, il faudra utiliser des grandes quantités de matériaux pour capter la lumière ou le vent. Dans le cas des éoliennes, dont les unités commencent à prendre des dimensions herculéennes (120m de hauteur, soit l'équivalent d'une tour de 40 étages, pour une turbine de 3 MW), il faudra distancer les unités pour éviter l'interférence entre elles causé par la turbulence. On estime qu'il faut environs 0,2 km<sup>2</sup> à 0,35 km<sup>2</sup> par MW pour installer les turbines.<sup>24</sup>

Ainsi, pour produire l'équivalent de la centrale de Gentilly 2 avec des éoliennes, il faudrait construire 600 éoliennes de 3 MW sur un territoire de 200 km<sup>2</sup> (vs. 1 km<sup>2</sup> pour G2). Pour remplacer la centrale de Pickering, il faudrait 1500 km<sup>2</sup>, soit la superficie du Toronto métropolitain.

Une dernière question reliée à l'intensité énergétique : les turbines de 120 m contiennent nécessairement beaucoup d'acier. Combien de temps faudra-t-il faire fonctionner la turbine pour rembourser toute l'énergie qu'il a fallu dépenser pour la construire, et comment cette durée se compare-t-elle avec sa durée de vie utile ? Je n'ai pas de réponse pour l'instant. Pour une centrale nucléaire, cette durée est d'environ 6 mois, sur une durée de vie de 50 ans (ratio de 1/100).

## 6.0 Conclusion

Nous avons vu comment la problématique des déchets en est une essentiellement de perceptions et de politique. D'un point de vue technique, il ne fait aucun doute que l'on pourra gérer les déchets de combustible de façon sécuritaire, sans imposer de fardeau inutile aux générations futures.

Les options de gestion doivent être considérées avec soin, en tenant compte de la perception du public qui a le droit d'exiger de se sentir en sécurité. L'étude en cours à la Société de gestion des déchets nucléaires (SGDN) est une étape très importante de ce processus, qui devrait éventuellement permettre au gouvernement fédéral d'adopter une politique nationale acceptable. Comme il s'agit de protéger les intérêts des générations futures, qui pourraient devoir recourir à l'énergie nucléaire de façon beaucoup plus importante et vouloir récupérer le combustible utilisé pour le recycler, on peut entrevoir la nécessité d'un débat national sur les enjeux énergétiques d'ici quelques années. Cette question peut sembler marginale pour le Québec, mais elle est cruciale pour l'Ontario.

---

<sup>24</sup> voir *Wind Energy, January 2000* sur le site web du *US Environmental Protection Agency* ([www.epa.gov](http://www.epa.gov))

Ainsi, dans une perspective globale, **il serait inconcevable d'arrêter le nucléaire**. Au contraire, notre seul espoir est d'augmenter sa contribution, si nous voulons protéger l'environnement et un jour nous affranchir des hydrocarbures. Même si notre dépendance sur les hydrocarbures est un peu moins grande au Québec à cause de l'hydroélectricité, nous n'échapperons pas à la problématique de l'énergie. Aussi bien que la pollution qui ne reconnaît pas les frontières, les approvisionnements énergétiques sont globaux : commerce international du pétrole et du gaz, interconnexion des réseaux électriques, etc...

Dans l'immédiat, il faut comprendre que la production des 100 TWh additionnels par la centrale de Gentilly-2 au cours des 30 prochaines années constituera un bloc d'énergie très significatif qu'il sera essentiellement impossible de remplacer sans entraîner des impacts environnementaux importants. De plus, la réfection de Gentilly-2 aura des retombées économiques significatives pour la région et permettra de soutenir plus de 650 emplois directs pour une autre génération.

*Je recommande très fortement au BAPE d'approuver le projet de réfection de la Centrale de Gentilly-2.*

Je recommande au BAPE de ne pas se laisser duper par les allégations trompeuses de certains intervenants, qui n'ont pas le monopole de la vertu bien qu'ils prétendent protéger l'environnement. On ne parle pas ici de construire un nouveau projet de centrale qui viendra inonder les vallées ou empoisonner l'atmosphère mais bien de poursuivre l'exploitation d'une installation dont les impacts sont minimes, une installation qui a très bien fonctionné pendant 30 ans grâce à une conception robuste et à la compétence de son personnel d'exploitation.

L'injection de plus d'un milliard par Hydro-Québec dans la centrale de Gentilly 2 n'est pas une subvention, mais bien un choix d'investissement, que l'on doit considérer en regard des revenus additionnels qui seront générés au cours des 30 prochaines années. Si Hydro-Québec juge qu'il s'agit d'un bon investissement, nous devrions l'encourager, car cette décision protégera l'environnement. De plus, elle permettra au Québec de maintenir son noyau d'expertise dans un secteur névralgique.

Pour terminer, même si je ne partage pas nécessairement son enthousiasme, je ne peux m'empêcher de citer ici le **Dr James Lovelock**, ce pionnier de l'écologie qui a inventé la théorie du 'Gaia' et qui a contribué à sensibiliser le monde sur le danger des changements climatiques. Il a surpris le monde entier en publiant le 28 mai 2004 un article percutant dans le journal *The Independent* dans lequel il affirme :

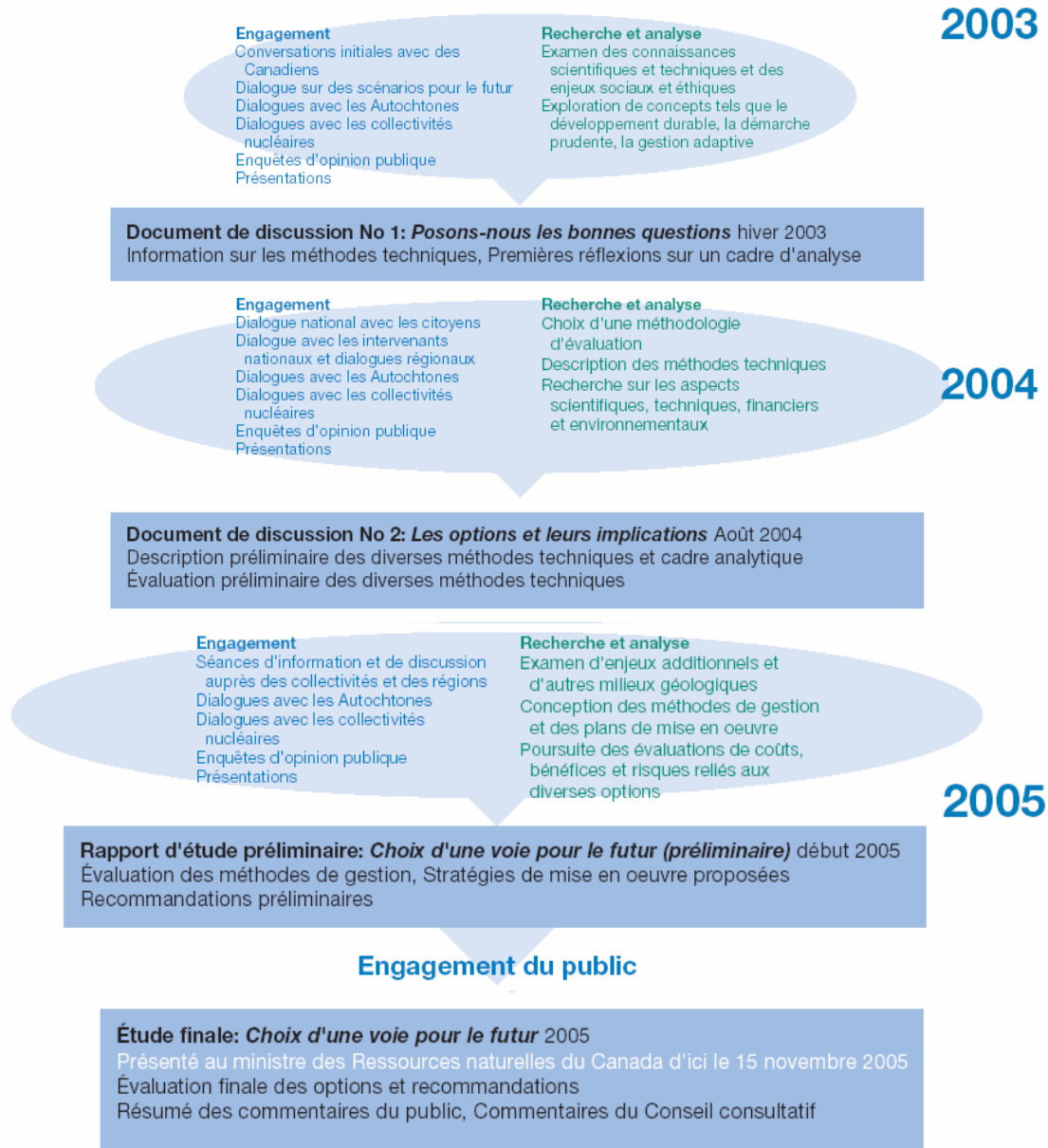
*" I find it sad and ironic that the UK, which leads the world in the quality of its Earth and climate scientists, rejects their warnings and advice, and prefers to listen to the Greens. But I am a Green and I entreat my friends in the movement to drop their wrongheaded objection to nuclear energy.*

*Even if they were right about its dangers, and they are not, its worldwide use as our main source of energy would pose an insignificant threat compared with the dangers of intolerable and lethal heat waves and sea levels rising to drown every coastal city in the world. We have no time to experiment with visionary energy sources; civilization is in imminent danger and has to use nuclear – the one safe, available, energy source - now or suffer the pain soon to be inflicted by our outraged planet. "*

# Annexe

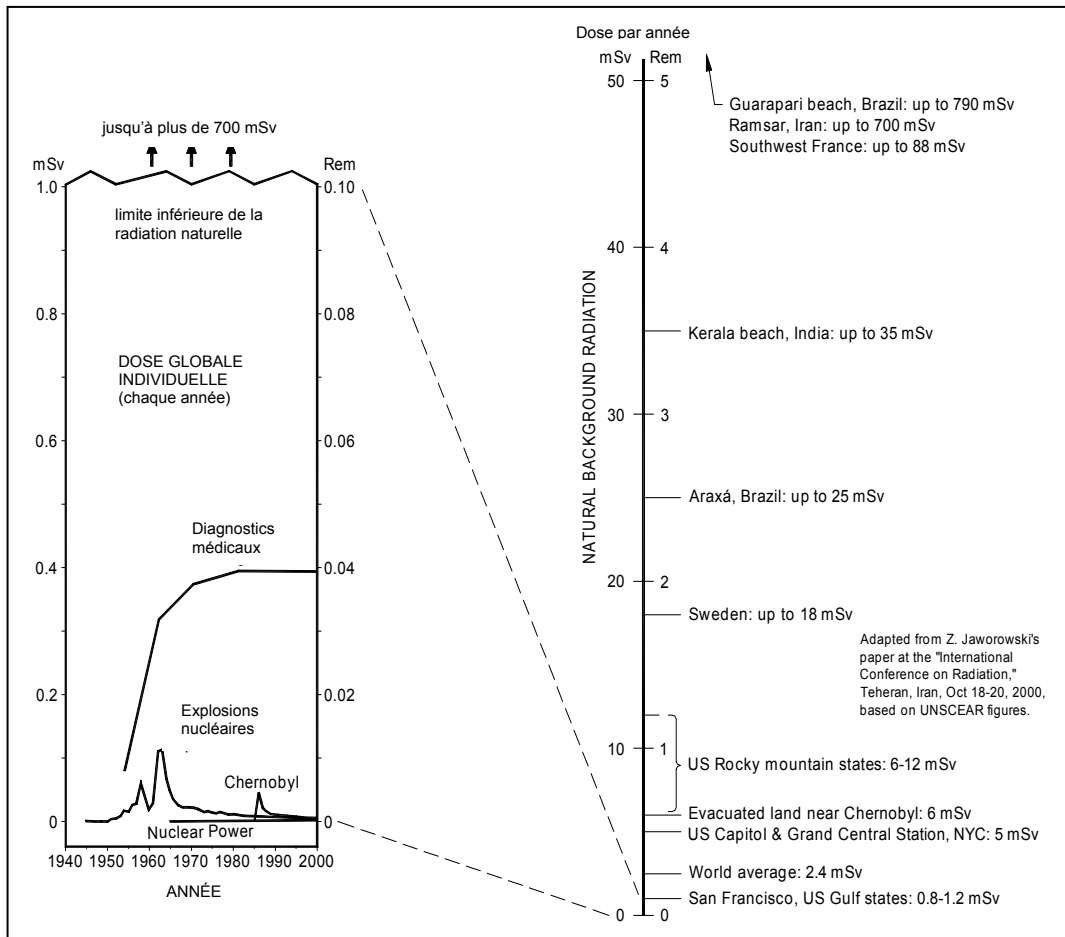
## Le plan d'étude de la SGDN (NWMO)

Figure 8-1 Plan de l'étude: un processus itératif d'engagement



Source : *Les options et leurs implications : la gestion future du combustible nucléaire irradié*, DD-2, Société de gestion des déchets nucléaires (septembre 2004)

# Comparaison des doses annuelles de radiation naturelle



(source : Jerry M. Cutler, soumission à la SGDN, 2004)