

Bilan économique et physique défavorable à Gentilly-2 et Point Lepreau

Michel Duguay, Université Laval, Québec, Qc G1V 0A6, 418-656-3557

16 mars 2010

Table des matières

1. Introduction : le contexte historique
2. Aux États-Unis, la CEC et la FERC
3. En Finlande, des tunnels dans le roc pour stocker les déchets nucléaires
4. Bilan financier peu reluisant de l'énergie nucléaire, la dette du Québec
5. Dépassements de coûts historiques dans le nucléaire
6. Protection contre les attentats terroristes
7. Une nouvelle réglementation de la CCSN au Canada
8. Les CANDUs affectés par 16 problèmes techniques sérieux
9. Le problème fondamental du coefficient CVR positif
10. Le contrôle des neutrons : le NOP/ROP.
11. Le combustible nucléaire amélioré LVRF comme solution au coefficient CVR positif
12. L'approche opérationnelle à la réactivité positive.
13. Les problèmes de contrôle informatisé
14. Le processus de décision fondé sur la connaissance des risques
15. Calcul simplifié et prudent des coûts de la réfection de Gentilly-2
16. Implications légales d'un accident nucléaire majeur
17. Faible argument technique en faveur de la réfection de Gentilly-2
18. Voguons-nous sur un Titanic nucléaire ?
19. Tranquillité d'esprit, transformation des centrales Gentilly-2 et point Lepreau.
20. Les émissions de gaz à effet de serre
21. Efficacité énergétique et potentiel éolien dans le golfe du Saint-Laurent
22. Conclusion : non à la réfection, oui aux énergies renouvelables

1. Introduction : le contexte historique

Des groupes pro-nucléaires au Québec favorisent la réfection/ reconstruction du réacteur nucléaire Gentilly-2 à Bécancour après 27 ans de production électrique et veulent acheter le réacteur qui est en phase de réfection à Pointe Lepreau au Nouveau-Brunswick. Les deux réacteurs ont tous les deux été conçus sur la base de la technologie nucléaire CANDU (acronyme pour Canada Deuterium Uranium) de première génération des années '70. De nouvelles données en provenance de l'Ontario et d'autres pays montrent que la promotion de la réfection à Gentilly-2 et à Pointe Lepreau peut être maintenant interprétée comme un déni du bilan économique et physique défavorable des réacteurs CANDU de première génération.

Pour ce qui est du bilan économique défavorable, le 16 février 2010 la firme d'électricité Ontario Power Generation (OPG) a annoncé sa décision de ne pas procéder à la réfection de ses quatre réacteurs CANDU de première génération à la centrale Pickering B localisée dans la grande région de Toronto. S'appuyant sur son expérience de 25 ans avec six projets de réfection de réacteurs CANDU en Ontario, la firme OPG a estimé que la réfection de Pickering B ne serait pas rentable. Étant donné qu'Hydro-Québec avec son unique réacteur nucléaire Gentilly-2 ne bénéficie pas des économies d'échelle disponibles pour OPG avec ses quatre réacteurs CANDU, il est devenu évident que la réfection de Gentilly-2 ne peut pas être justifiée sur une base économique. Cette conclusion sera appuyée ci-dessous par des données en provenance d'autres pays.

Pour ce qui est du côté physique défavorable, il faut savoir qu'en août 2009 la Commission canadienne de sûreté nucléaire (CCSN) a complété un rapport de 268 pages qui décrit en détail 16 problèmes techniques sérieux des réacteurs CANDU. Étant donné que la CCSN a adopté en juin 2008 une nouvelle réglementation qui a fait monter les normes canadiennes de sûreté au niveau international, les propriétaires de réacteurs CANDU au Canada doivent maintenant trouver des solutions à ces 16 problèmes sérieux.

La plupart de ces problèmes sont reliés à une faiblesse fondamentale dans la conception des réacteurs CANDU, celle-ci étant la propriété d'avoir un coefficient positif de réactivité nucléaire dû aux vides dans l'eau de refroidissement. En anglais, on parle de « coolant void reactivity », dont l'acronyme est CVR, que nous utiliserons. Un coefficient CVR positif signifie qu'une présence de « vides », i.e. de grosses bulles de vapeur d'eau dans l'eau de refroidissement (le caloporteur), provoque une accélération des réactions nucléaires induites par les neutrons. Dans le cas d'un accident avec une grosse perte de caloporteur, la conséquence prévue d'un coefficient CVR positif est l'apparition soudaine d'une énorme impulsion de puissance nucléaire qui peut avoir un effet destructeur sur le cœur du réacteur.

Malgré les efforts du secteur nucléaire portant sur plusieurs années en vue de trouver une solution au coefficient CVR positif, en ce moment la CCSN dans son rapport d'août 2009 est réduite à offrir aux propriétaires de CANDUs le choix entre deux solutions à ce problème, aucune des deux solutions n'étant pas pleinement satisfaisante.

Ces nouvelles données ci-haut mentionnées révèlent un bilan économique et physique défavorable pour la réfection d'un CANDU de première génération, et elles créent le danger d'une décote auprès des agences de notation de crédit telles que Moody's à New York. En juin 2009 Moody's avait publié un rapport dans lequel l'agence prévenait les compagnies d'électricité qu'un investissement dans de nouveaux réacteurs nucléaires pourrait entraîner une décote de leur crédit.

(voir : <http://www.scribd.com/doc/18057014/Moodys-New-Nuclear-Generation-June-2009>)

Dans un paragraphe intitulé « Historical rating trends are not good », i.e. «La tendance historique des cotes n'est pas bonne» Moody's a écrit ceci (le terme «émetteur de bons» désigne l'emprunteur) : «*L'histoire des cotes de crédit a été défavorable à l'égard des émetteurs de bons voulant financer de nouveaux réacteurs nucléaires. Parmi les 48 émetteurs de bons que nous avons évalués durant la dernière période de construction nucléaire (grosso modo de 1965 à 1995), deux ont reçu une meilleure cote, six n'ont pas changé de cote, et 40 ont subi une décote. De plus, la décote moyenne a été de quatre niveaux. Toutes ces cotes ont été évaluées sur la base d'une première hypothèque.*»

Il faut noter que l'avertissement sévère de Moody's concernant de nouveaux réacteurs nucléaires pourrait devenir encore plus sévère une fois que Moody's aura examiné le design vieux de 35 ans de Gentilly-2, un design qu'Hydro-Québec doit maintenant modifier et/ou justifier pour tenir compte des 16 problèmes techniques détaillés dans le rapport de la CCSN d'août 2009. OPG a choisi la solution la plus facile en décidant de ne pas entreprendre de réfection de Pickering B et de plutôt concentrer ses efforts sur la réfection des quatre réacteurs de seconde génération à la centrale Darlington, environ 60 kms à l'est de Toronto.

Qui peut prédire l'effet que les 16 problèmes techniques mentionnés ci-dessus auront sur la cote d'Hydro-Québec (H-Q) auprès des agences de notation de crédit? H-Q est maintenant aux prises avec les modifications à apporter au design de la réfection du CANDU Gentilly-2 et avec les aspects complexes de l'achat du réacteur nucléaire de Point Lepreau et d'autres biens d'Énergie Nouveau-Brunswick. Les travaux de réfection à Point Lepreau sont maintenant 18 mois en retard et les coûts sont déjà 50% au-dessus de l'estimé initial. Les troubles associés à Point Lepreau avaient conduit Moody's en août 2009 à décoter le Nouveau-Brunswick.

(voir : <http://www.ibew37.com/newsItem.php?NewsID=121>).

Par conséquent il est légitime de se demander si l'achat d'un réacteur nucléaire de première génération ne représente pas un déni dangereux d'un bilan nucléaire défavorable ? Que savent les administrateurs de OPG et du gouvernement ontarien que les administrateurs québécois dans les rôles correspondants ne savent pas ?

2. Aux États-Unis, la CEC et la FERC

Puisque des données précises sur les coûts de réfection de Gentilly-2 et de Point Lepreau ne sont pas disponibles auprès d'Hydro-Québec, nous regardons du côté des USA et d'autres pays pour trouver des informations pertinentes. Pour ce qui est des aspects de la physique et de l'ingénierie des réacteurs CANDU nous allons nous appuyer principalement sur la documentation exhaustive de la CCSN et aussi sur quelques données des rapports annuels de la firme de la couronne Énergie atomique Canada Limitée (EACL) située en plus grande partie à Mississauga près de Toronto et en partie à Chalk River au nord-ouest d'Ottawa. Les physiciens et ingénieurs de EACL ont été les architectes des réacteurs CANDU qui sont maintenant en opération au Canada.

En août 2009, la California Energy Commission (CEC) a publié un rapport intitulé « Comparative Costs of California Central Station Electricity Generation » dans lequel on compare les coûts de 21 sources différentes d'électricité jusqu'en 2028. Pour 2018, la CEC donne les valeurs suivantes en cents/kilowattheure, les valeurs minimales correspondant à un mode de financement public et les valeurs maximales à un financement privé: hydroélectricité de 12 à 16, éolien sur terre de 9 à 13, nucléaire de Westinghouse (technologie AP1000) de 17 à 34

cents/kWh. Noter que le coût du kWh nucléaire est maintenant estimé par la CEC à deux fois celui de l'éolien.

Au Canada le professeur Trevor Findlay de l'Université Carleton a publié en février 2010 une revue de l'énergie nucléaire intitulée « The Future of Nuclear Energy to 2030 and its Implications for Safety, Security and Nonproliferation ». Le professeur Findlay est membre *Centre for International Governance Innovation (CIGI)* à l'université Carleton à Ottawa. (Voir le site :

<http://www.cigionline.org/sites/default/files/Nuclear%20Energy%20Futures%20Overview.pdf>

Dans l'introduction, le professeur Findlay fait l'affirmation suivante à propos du bilan économique de l'énergie nucléaire : « The economics are profoundly unfavourable and are getting worse ». En traduction: «Le bilan économique est profondément défavorable et va en se dégradant.»

Les coûts de l'énergie nucléaire en cents/kWh cités par Findlay sont moins élevées que ceux de la CEC mais ils appuient la notion que l'énergie nucléaire est maintenant plus coûteuse que l'énergie en provenance du charbon, du gaz naturel et du vent.

Un important témoignage sur le bilan économique défavorable du nucléaire a été celui de Shawn-Patrick Stensil de Greenpeace lors d'une audience publique de la CCSN à Ajax, près de Pickering, le 10 décembre 2008. Stensil, qui dirige un groupe de Greenpeace sur l'énergie et le climat, a déclaré ceci (voir p. 273 de la transcription de la CCSN sur leur site web : www.cnsccsn.gc.ca); «*Étant donné la disponibilité de sources d'énergie bonnes pour l'environnement pour remplacer Pickering B, Greenpeace recommande que le prolongement de la vie utile de Pickering B ne soit pas approuvée. Nous avons d'autres options meilleures pour l'environnement* ».

En conclusion, alors que OPG n'a pas encore publié les estimations de coûts pour la réfection de Pickering B, l'Ontario Power Authority estime que le coût de la réfection de la centrale est équivalent au coût d'en construire une nouvelle.»

3. En Finlande, des tunnels dans le roc pour stocker les déchets nucléaires

Un bilan économique défavorable touche également les coûts pour s'occuper des déchets radioactifs produits par les réacteurs nucléaires. À Pointe Lepreau et à Gentilly-2, il y a 2500 tonnes de déchets hautement radioactifs par site, pour un total de 5000 tonnes en 2010. La Finlande est le pays le plus avancé pour l'entreposage permanent des déchets radioactifs. Dans un excellent article écrit par Sandra Upson dans la revue d'ingénierie américaine *IEEE Spectrum*, numéro de décembre 2009, l'auteure décrit les travaux en cours pour creuser un total de 7 kilomètres de tunnels à une profondeur de 300 mètres dans le roc de l'île Olkiluoto. Les Finlandais estiment le coût total du projet à 4,5 milliards de dollars US (4,5 G\$) pour entreposer 5500 tonnes de déchets radioactifs. Pour les 5000 tonnes présentes en 2010 à Pointe Lepreau/Gentilly-2 l'estimation finlandaise, fondée sur des travaux en cours, donne 4 G\$. Dans 25 ans (si les réacteurs reconstruits durent aussi longtemps, ce qui n'a pas été le cas en Ontario), les déchets hautement radioactifs auront doublé à 10 000 tonnes et le coût transféré aux générations montantes aura doublé à 8 G\$.

L'estimation finlandaise est en accord avec les chiffres publiés le Department of Energy (DOE) des USA le 6 août 2008 (voir :

<http://www.world-nuclear-news.org/newsarticle.aspx?id=20196>)

L'estimation du DOE était 96 G\$ (en dollars US) pour 109 000 tonnes de déchets hautement radioactifs qui auraient été enterrés dans un entrepôt géologique sous la Yucca Mountain au Nevada. En dollars canadiens, cela est proche d'un million de dollars la tonne.

Ces chiffres américains sont très différents de l'estimation de 240 000\$ la tonne utilisée par le gouvernement du Québec. Ce chiffre apparaît dans le rapport financier d'Hydro-Québec pour 2008. À la note 13 intitulée « Obligations liées à la mise hors service d'immobilisations », on trouve à la page 91 deux chiffres en millions de dollars (M\$) sous « Flux de trésorerie estimatifs (en dollars constants) nécessaires pour régler les obligations au 31 décembre 2008: -1, démantèlement de la centrale nucléaire, 761; -2, évacuation du combustible nucléaire irradié, 598. » En divisant le chiffre 598 M\$ par 2500 tonnes on obtient 0,24 M\$ la tonne, ce qui est quatre fois moins que la valeur adoptée par le US Department of Energy en connexion avec le projet maintenant abandonné d'un entrepôt géologique sous la Yucca Mountain. L'estimation de 0,24 M\$ la tonne est 3,4 fois moins que le chiffre finlandais qui lui est fondé sur des travaux en cours et est donc beaucoup plus fiable.

Un signe que l'estimation d'Hydro-Québec de 0,24 M\$ la tonne n'est pas bien fondée est le fait qu'en conférence de presse, le 19 août 2008, la Ministre Julie Boulet avait avoué ne pas savoir où et comment les déchets radioactifs seraient entreposés de façon permanente. Cette sous-estimation gouvernementale québécoise des énormes coûts dénote une fois de plus un déni du bilan économique défavorable du nucléaire.

Au lieu de se fier au chiffre d'Hydro-Québec un investisseur prudent serait mieux de se fier plutôt aux Finlandais et aux Américains. Il faut noter que les USA ont déjà dépensé près de 10 G\$ dans les études préliminaires à l'entrepôt permanent de Yucca Mountain. À cause des difficultés légales avec l'État du Nevada et des problèmes géologiques, le président Obama a décidé en 2009 d'abandonner le projet de Yucca Mountain et de chercher un nouvel endroit. Il ressort de l'expérience des pays nucléaires que les coûts sont très élevés pour éventuellement entreposer les déchets radioactifs de façon permanente et sécuritaire, ce qui constitue une autre surprise négative de l'énergie nucléaire.

Dans le projet d'achat du réacteur nucléaire de Point Lepreau maintenant en phase de réfection, le gouvernement et Hydro-Québec n'ont pas mentionné les coûts de 2 G\$ rattachés à l'entreposage permanent des 2500 tonnes de déchets radioactifs en place. Si le gouvernement utilise le chiffre irréaliste de 0,24 M\$ la tonne dans son achat de Point Lepreau, seulement 600 M\$ sera attribué au passif que sont les 2500 tonnes de déchets déjà accumulés, ce qui signifiera une perte supplémentaire d'au moins 1,4 G\$ pour le Québec. Cette perte doublera à 2,8 G\$ si Point Lepreau fonctionne par la suite pendant 25 ans, ce qui est fort douteux.

À propos d'un entreposage permanent de déchets radioactifs, notez qu'en octobre 2008, suite à l'initiative du député Camille Bouchard, l'Assemblée nationale a voté une motion contre l'enfouissement au Québec de déchets radioactifs provenant d'autres provinces ou pays.

4. Bilan financier peu reluisant de l'énergie nucléaire, la dette du Québec

Le bilan économique du nucléaire est si peu reluisant qu'en 2008 le grand financier américain Warren Buffett avait abandonné un projet de réacteur nucléaire dans l'Idaho, le jugeant non-rentable. Sa firme MidAmerican Nuclear avait dépensé plus de dix millions de dollars dans une étude de ce projet.

Warren Buffett, un des hommes les plus riches sur la planète, n'est pas endetté ; il a fait des investissements rentables. Au contraire de Buffet le Québec avait au 31 mars 2009 une dette brute de 151 milliards, laquelle représentait 50% du produit intérieur brut (PIB). Nous utilisons les données publiées en février 2010 par le Ministère des finances sur le site :

http://www.finances.gouv.qc.ca/documents/Autres/fr/AUTFR_LaDetteFev10_GouvQC.pdf

et nous les arrondissons au milliard près. La dette brute du Québec en terme de pourcentage de son PIB est deux fois plus élevée que la moyenne canadienne, ce qui est un fait à noter.

Le document du Ministère des finances présente des données exhaustives sur les quatre sortes de dette publique et sur leur évolution dans le temps sur la période 1998-2014. Quand on ajoute à la dette brute du gouvernement la dette d'Hydro-Québec de 37 G\$, celle des municipalités de 19 G\$, et celle des réseaux de santé, de services sociaux, de l'éducation et d'autres entreprises du gouvernement, on arrive à la dette de l'ensemble du secteur public, laquelle était 208 G\$ au 31 mars 2009. Cela représente 68,5% du PIB.

Mais il y a plus. Le document compare la dette du Québec à celle des autres pays industrialisés qui sont membres de l'OCDE (Organisation de coopération et de développement économique). Pour ce faire, il faut soustraire du 208 G\$ ci-haut les engagements à l'égard des régimes de retraite, mais il faut ajouter la part québécoise de la dette fédérale qui est 123 G\$. Le résultat est une dette de 286 G\$, ce qui représentait 94 % du PIB en mars 2009.

Le document du Ministère des finances compare ce pourcentage avec ceux des 32 pays de l'OCDE et observe que le Québec est le cinquième pays le plus endetté. Les quatre pays qui devancent le Québec sont l'Islande avec 96,3%, la Grèce avec 102,6%, l'Italie avec 114,4% et le Japon avec 172,1%. La Grèce figure souvent dans les bulletins de nouvelles en février-mars 2010, à cause de ses graves problèmes de finances publiques liés à la dette élevée. L'Islande a aussi un grave problème avec sa banque Icesave et l'Italie est aussi évaluée comme étant dans une situation difficile.

La question de la dette au Québec est le sujet d'un vif débat en février-mars 2010. Un article publié dans le journal La Presse le 27 février 2010, sous la plume de Francis Vailles, annonçait en grosses lettres le cinquième rang du Québec en termes de dette publique dans l'OCDE et dépeignait le Québec comme un nageur à la jambe duquel est attaché un énorme boulet métallique.

L'article de Francis Vailles concluait avec cette remarque du professeur Claude Montmarquette de l'Université de Montréal: «On ne peut s'endetter davantage, car on s'en va vers des années où la croissance économique sera moins forte, entre autres en raison du vieillissement de la population.»

Claude Montmarquette a fait partie du Comité consultatif sur l'économie et les finances publiques mis sur pied en 2009 et coprésidé par le ministre des finances Raymond Bachand. En plus du ministre Bachand et du professeur Montmarquette le comité comprenait également les professeurs Robert Gagné de l'Université de Montréal (coprésident du comité), Pierre Fortin de l'Université du Québec à Montréal (UQAM) et Luc Godbout de l'Université de Sherbrooke.

Le Comité consultatif a émis son premier rapport le 14 décembre 2009. Le 15 décembre 2009, Radio-Canada, sous le titre «*Des économistes sonnent l'alarme*», écrivait un compte rendu de ce rapport et citait le comité consultatif comme suit : «*Les défis auxquels le Québec devra faire face sont réels, immédiats et majeurs. Il est nécessaire de faire des choix et d'agir.*»

Radio-Canada ajoutait ceci : «*Selon les économistes, le Québec doit donc adopter :*

- *Un niveau de dépenses publiques respectant notre capacité de payer ;*
- *Une fiscalité efficace, ne compromettant pas notre développement économique ;*
- *Une dette sous contrôle, dont l'importance n'hypothèque pas les choix de nos enfants.»*

Nous allons voir ci-dessous que le choix du nucléaire aux USA a causé de grandes pertes économiques. En Ontario, les nombreuses difficultés avec les CANDUs a causé l'accumulation d'une dette, la « *stranded debt* » ou « *nuclear debt* », à la hauteur d'environ 20 G\$.

Le service de la dette est présentement de 6,5 G\$ par année pour un budget gouvernemental annuel de 63 G\$, et, suivant le ministère des finances, augmentera à 11 G\$ par année en 2014 pour budget de 70 G\$. Chacun et chacune peuvent décider pour soi-même si cette tendance est souhaitable. Le document du Ministère des finances cité ci-dessus note dans son introduction que le gouvernement avait voté une résolution en 2002 stipulant que le ratio dette/PIB pour le Québec serait réduit à 25 % en 2025. La présente tendance est dans la direction opposée à ce but louable.

5. Dépassements de coûts historiques dans le nucléaire

Les coûts de reconstruction de Pointe Lepreau ont déjà dépassé les estimations initiales. Jusqu'où iront les dépassements de coûts ? L'histoire peut nous servir de guide pour l'avenir. Des données historiques fiables sont disponibles aux USA. Outre les 103 réacteurs nucléaires en opération aux USA, il y a eu 117 autres projets de réacteurs qui ont été abandonnés de 1972 à 1990 (Patricia J. Arnold et Rita Hartung Cheng dans le *Journal of Accounting and Public Policy*, juin 2000). Ces abandons ont eu lieu durant ou après la construction suite à de nombreux procès et à des augmentations de coûts inattendues.

Aux USA le Department of Energy (DoE) a obtenu les données financières pour 75 des 103 réacteurs américains qui sont maintenant en opération. Le DoE a trouvé que les augmentations de coûts ont été en moyenne par un facteur de 3 (voir le rapport de mai 2008 du Congressional Budget Office intitulé « *Nuclear Power's Role in Generating Electricity* », p. 17, (www.cbo.gov/doc.cfm?index=9133)). Au Canada, la dernière grande période de construction de réacteurs nucléaires CANDU a été celle des quatre réacteurs de Darlington près de Toronto, de 1982 à 1993. Estimé au début à 5 milliards, le projet s'est terminé à environ 15 milliards. Les dépassements de coûts anticipés pour Pointe Lepreau n'ont pas été publiés. Si l'histoire peut nous servir de guide un dépassement de coûts par un facteur de 3 comparé à l'estimation initiale tomberait dans la moyenne historiquement observée. À noter que dans son contrat avec EACL le Nouveau-Brunswick avait obtenu que cette firme de la couronne assume les dépassements de coûts. Par contre, Hydro-Québec n'a pas obtenu cet avantage dans son contrat avec EACL ; Thierry Vandal, le président de H-Q a déclaré à la presse qu'Hydro-Québec assumerait entièrement les dépassements de coûts. Il serait intéressant de sonder le public québécois pour voir s'il est prêt à assumer les dépassements de coûts par le biais de factures d'électricité plus élevées.

6. Protection contre les attentats terroristes

Aux USA les groupes pro-nucléaires américains ont blâmé la Nuclear Regulatory Commission (NRC) pour une bonne partie des dépassements de coûts. Ils ont en partie raison. La NRC changeait les normes de sûreté durant la conception et la construction des réacteurs. Mais à la défense de la NRC il faut noter que les changements qu'ils apportaient étaient dictés par le besoin d'augmenter la sûreté des réacteurs nucléaires. Suite aux accidents majeurs à Three Mile Island et à Tchernobyl, la communauté nucléaire internationale a adopté une politique délibérée d'augmenter le niveau de sûreté des normes régissant la conception et l'opération des réacteurs nucléaires. Un autre accident majeur du genre de Tchernobyl n'importe où dans le monde pourrait signifier la fin de l'énergie nucléaire partout dans le monde.

Voici un exemple récent de normes nucléaires plus strictes. Le 15 octobre 2009 la NRC a refusé le design du nouveau réacteur AP1000 de Westinghouse/Toshiba arguant qu'il ne résisterait pas adéquatement à un ouragan, un écrasement d'avion ou à un attentat terroriste. Westinghouse/Toshiba devra augmenter la robustesse physique de son design, ce qui augmentera le coût de leur réacteur. Il faut noter que les normes de résistance sismique doivent aussi être respectées, de sorte que la conception d'un confinement beaucoup plus massif devient plus complexe et augmentera les coûts.

Pour ce qui est des actes terroristes il est important de noter que la NRC suit maintenant les recommandations que lui avait faites en 2005 un comité de la prestigieuse National Academy of Sciences, comité au sein duquel avait œuvré Robert Alvarez (voir « *Reducing the Hazards from Stored Spent Power-Reactor Fuel in the United States* », disponible sur le site : <http://www.informaworld.com/smpp/title~content=t713618359>)

Le comité de Robert Alvarez avait conclu que la pire menace sécuritaire aux USA était la possibilité d'une attaque terroriste sur les piscines qui sont placées à côté des réacteurs nucléaires pour stocker pendant une décennie les déchets radioactifs produits par la fission de l'uranium. Ces piscines ne sont pas protégées par des toits suffisamment robustes et elles contiennent une masse de déchets radioactifs qui est 10 fois celle qui est à l'intérieur du réacteur.

Prenant l'exemple d'un attentat terroriste, Alvarez et ses collègues jugent que 10 fois plus de césium-137 que dans l'accident de Tchernobyl pourrait être répandu dans l'atmosphère et atteindre des régions éloignées. Alvarez et ses collègues écrivent que suite à l'accident de Tchernobyl une superficie totale de quelque 10 000 kilomètres carrés avait été évacuée de façon permanente en Ukraine, au Belarus et en Russie.

Ces milliers de kilomètres carrés évacués n'étaient pas seulement centrés sur Tchernobyl en Ukraine. Fait peu connu, des milliers de ces kilomètres carrés évacués se trouvent dans une région dont le centre est en Belarus à une distance de 200 kms au nord-est de Tchernobyl. Dans le cas d'un accident majeur à Gentilly-2 avec déversement de radioactivité, notez qu'un rayon de 200 kms autour de Bécancour atteint la ville de Montmagny, les états américains du Maine, du New Hampshire, du Vermont, de New York et la ville de Montréal.

Certaines évaluations des dommages causés par la contamination radioactive ont évoqué des chiffres au niveau de mille milliards de dollars. Un nouveau projet de loi fédérale C-20 prévoit une couverture de 0,65 G\$ pour un accident nucléaire avec déversement de radioactivité. Ce montant n'est évidemment pas suffisant pour reconstruire un réacteur accidenté et pour dédommager le public atteint par la radioactivité. Ceux qui appuient ce projet de loi calculent

sans doute qu'après un accident très grave, personne ne voudra reconstruire un réacteur nucléaire accidenté ou en construire un nouveau.

7. Une nouvelle réglementation de la CCSN au Canada

Au Canada, la Commission canadienne de sûreté nucléaire (CCSN) a introduit une nouvelle réglementation le 10 juin 2008 qui inclut les mêmes exigences que la NRC relative aux attentats et aussi d'autres exigences qui touchent les réacteurs de type CANDU. Dans son document RD-360 du 16 juillet 2008 (voir

<http://www.cnscccsn.gc.ca/eng/lawsregs/regulatorydocuments/published/rd360/>)

la CCSN déclare : « *The Commission therefore considers it to be in the public interest that licensees address modern high level safety goals, and meet applicable regulatory requirements for safe and secure long-term operation.* »

Nous allons voir ci-dessous comment le niveau plus élevé des normes de sûreté internationales exigeront des changements dans les plans d'Hydro-Québec et feront probablement augmenter les coûts de réfection/reconstruction bien au-delà du 1,9 G\$ annoncé en conférence de presse le 19 août 2008. Un doublement des coûts à 4 G\$ serait plus conforme aux estimations récentes en provenance des USA.

8. Les CANDUs affectés par 16 problèmes techniques sérieux

Des exigences nouvelles et contraignantes de la part de la CCSN sont apparues ces dernières années en ce qui concerne les réacteurs CANDU. Ces exigences touchent 16 problèmes techniques qui affectent tous les réacteurs CANDU, et en particulier ceux de première génération, tel que Pickering B, Gentilly-2 et Point Lepreau. En août 2009, la CCSN a complété un rapport de 268 pages (E-Doc. #3413831) qui décrit en détail 16 problèmes techniques sérieux affectant l'opération des réacteurs CANDU. La CCSN affirme que ces problèmes ne sont pas encore résolus et qu'ils contribuent à réduire les marges de sûreté. Les 16 problèmes techniques sont classés par la CCSN dans la catégorie 3, ce qui signifie qu'ils peuvent conduire à des accidents endommageant le cœur du réacteur et déversant de la radioactivité dans l'environnement. Ci-dessous nous allons restreindre notre discussion à seulement deux de ces 16 problèmes de catégorie 3, ceux-ci étant le coefficient positif de réactivité nucléaire et la méthodologie de contrôle du flux de neutrons. Pour le premier problème, nous utiliserons l'acronyme anglais CVR qui représente l'expression « *coolant void reactivity coefficient* » ; pour le deuxième nous utiliserons l'acronyme anglais NOP/ROP qui provient de l'expression « *Neutron Overpower Protection/Regional Overpower Protection* ».

La puissance d'un réacteur nucléaire, tout comme celle d'une bombe atomique, provient de la fission de l'uranium-235 (U-235) et du plutonium-239 (Pu-239). Ce qui contrôle la fission des noyaux de ces deux sortes d'atomes est un flux de neutrons, lui-même contrôlé par l'introduction ou le retrait mécanique de barreaux absorbeurs de neutrons. Le flux de neutrons est constitué par des neutrons libres qui résultent de la fission de l'uranium-235 et du plutonium-239 par un phénomène de réaction en chaîne. Dans une bombe atomique, le flux de neutrons n'est pas contrôlé et la réaction en chaîne va jusqu'au bout en quelques microsecondes avec l'effet explosif bien connu.

Dans un réacteur nucléaire, le grand défi technique est de contrôler avec précision le flux de neutrons partout dans le cœur du réacteur. Parce que l'interaction du flux de neutrons avec les noyaux des atomes du combustible nucléaire est un phénomène très complexe, et parce que la géométrie et le comportement hydraulique-thermique du réacteur CANDU sont complexes, le contrôle précis de la puissance neutronique partout dans le cœur est un défi technique de taille. Il ne peut être accompli que sous le contrôle d'ordinateurs qui traitent les données fournies par de nombreuses sondes réparties dans le cœur du réacteur.

Un premier indice que le défi est de taille s'est produit quand EACL a dû abandonner en 1978 le premier réacteur nucléaire CANDU Gentilly-1 à Bécancour, lequel avait été mis en opération en 1972. Après 6 années d'essais et d'ajustements, durant lesquelles Gentilly-1 n'avait fonctionné que l'équivalent de 180 jours, le réacteur avait été jugé trop dangereux et avait été mis en état d'arrêt permanent. Gentilly-1 avait des tubes de force verticaux pour la circulation de l'eau de refroidissement ce qui avait exacerbé le problème du CVR positif. Gentilly-2 avec ses 380 tubes de force (ou tuyaux sous haute pression) horizontaux était déjà en construction en 1978 et sa conception avait été éprouvée par les réacteurs de la centrale Pickering A en Ontario. Gentilly-2 a été mis en opération en 1983.

9. Le problème fondamental du coefficient CVR positif

Comme ci-haut mentionné, le coefficient positif de réactivité nucléaire dû au vide, ou coefficient CVR positif, est une faiblesse fondamentale de la conception des réacteurs CANDU. Un coefficient CVR positif signifie que la présence de vides, c'est-à-dire de grosses bulles de vapeur, dans l'eau de refroidissement (ou caloporteur) du combustible nucléaire a pour effet d'augmenter le flux de neutrons et d'accélérer les réactions nucléaires de fission. Avec un caloporteur moins dense et une puissance nucléaire en augmentation rapide, la température du combustible nucléaire augmente rapidement et peut faire fondre les tubes de force en zirconium qui contiennent le combustible d'uranium. Une analogie grossière avec les autos pour le coefficient CVR positif, serait qu'un manque au niveau des freins (manque d'eau de refroidissement) entraînerait automatiquement une pression accrue sur l'accélérateur (accélération des réactions nucléaires).

Dans les réacteurs CANDU Gentilly-2 et Point Lepreau il y a 380 tubes de force en alliage de zirconium et de niobium qui traversent le cœur du réacteur sur une longueur de 6 mètres. Il y a de plus le même nombre de tuyaux d'accès fait en acier qui font circuler l'eau de refroidissement à travers les tubes en zirconium. Au total, ce sont 7 kilomètres de tuyaux qui fonctionnent à une pression de 100 atmosphères, la pression qui prévaut à un kilomètre de profondeur dans l'océan. Peu de sous-marins peuvent survivre à de telles pressions. Dans le cœur du réacteur, les tuyaux de zirconium-niobium sont exposés à un bombardement neutronique intense et à des phénomènes de corrosion. L'effet le plus dramatique du bombardement neutronique est le fluage (en anglais *creep*) considérable du zirconium-niobium, phénomène que Radio-Canada a bien illustré dans son documentaire de la série *Découverte* le premier novembre 2009. Le fluage augmente la longueur de chacun des tubes de force de plusieurs centimètres, nécessitant un ajustement mécanique ; il augmente aussi le diamètre du tuyau, ce qui nuit au refroidissement des barreaux de combustible nucléaire.

Pour ce qui est des tuyaux d'accès, l'ingénieur-chimiste Frank Greening, qui a travaillé pendant 23 ans sur les réacteurs de type CANDU, a très bien documenté de nombreux problèmes, l'un d'eux étant la corrosion physico-chimique causée par le flux d'eau de refroidissement. Cette corrosion a pour effet de graduellement amincir la paroi des tuyaux d'accès. Dans leur rapport

annuel de 2006 sur Point Lepreau la CCSN s'était beaucoup inquiétée de l'amincissement marqué des tuyaux d'accès. Dans son rapport de 268 pages d'août 2009 la CCSN exhorte les propriétaires de réacteurs CANDU à porter attention au problème du vieillissement de tous les composants des réacteurs nucléaires et de son effet négatif sur la sûreté. La CCSN prépare une nouvelle réglementation qui s'adressera spécifiquement aux problèmes engendrés par le vieillissement des composants du réacteur.

Dans son documentaire d'août 2009 Radio-Canada illustra de manière graphique la rupture soudaine d'un tube de force qui se produisit le premier août 1983 dans le cœur du réacteur Pickering-2 dans la centrale nucléaire Pickering A près de Toronto. Cette rupture, longue de deux mètres, provoqua l'arrêt immédiat du réacteur. Après l'arrêt d'un réacteur par la descente des barreaux absorbeurs de neutrons, il y a encore une énorme puissance thermique dégagée par les produits de fission hautement radioactifs, ce qui nécessite un refroidissement vigoureux. Grâce à des mesures rapidement improvisées, les opérateurs du réacteur réussirent à maintenir le refroidissement et à éviter que l'accident n'empire.

Le sérieux de cet accident peut être jugé par le fait que Ontario Hydro (l'antécédent d'Ontario Power Generation) décida de «retuber» les quatre réacteurs de la centrale Pickering A. Ce fut le début de l'histoire des retubages de réacteurs CANDU. D'après l'historique tenue par la Canadian Nuclear Association les durées de vie utile des quatre réacteurs Pickering-1, -2, -3, et -4 après ce premier retubage furent 8, 12, 7 et 3 ans respectivement, en moyenne 7 ans.

La documentation de la CCSN explique que la communauté nucléaire canadienne est maintenant au courant du fait que la rupture soudaine d'un tube de pression, ou d'un autre composant de l'ensemble à haute pression, peut avoir des conséquences plus graves qu'on pensait avant l'an 2000 (voir la lettre, avec attachment 1, de T.E. Schaubel à Patrick McNeil de OPG, datée 7 April 2008, document E-DOCS #3232348). Depuis l'an 2000 le secteur nucléaire est devenu plus conscient du fait que le coefficient CVR est plus positif qu'on avait pensé à l'époque de la conception des réacteurs de première génération. De plus, la modélisation informatisée des processus nucléaires dans le cœur du réacteur s'est beaucoup améliorée, malgré qu'il demeure encore des incertitudes que la CCSN exhorte les compagnies propriétaires de CANDU à réduire dans son rapport d'août 2010. La CCSN demande aussi aux compagnies de valider les paramètres des modèles informatisés par des mesures expérimentales.

La valeur plus élevée du coefficient CVR positif qu'on avait cru avant l'an 2000 a comme conséquence que la rupture soudaine d'un tube de force ou autre composant sous haute pression pourrait provoquer une impulsion de puissance thermique nucléaire suffisante pour faire fondre les tubes métalliques en zirconium-niobium qui contiennent le combustible d'uranium (voir la page 22 du document de 268 pages d'août 2009). Le métal fondu pourrait causer une explosion de vapeur et fortement endommager le cœur du réacteur. En quelques secondes un investissement de plusieurs milliards de dollars serait perdu.

De plus il y aurait un déversement d'une certaine quantité de radioactivité dans l'environnement. Dans l'annexe F du document INFO-0790 de juin 2009, la CCSN affirme que la quantité de radioactivité serait probablement à l'intérieur des normes permises. Cependant, comme le document de 268 pages d'août 2009 admet qu'il y a beaucoup d'incertitudes dans la modélisation informatisée du réacteur durant les conditions d'accident, un investisseur prudent devra prévoir un confinement physique assez robuste pour contenir l'explosion de vapeur. À Tchernobyl, le confinement physique n'avait pas été assez robuste pour contenir les deux explosions de vapeur et le monde entier s'était empressé après l'accident d'avril 1986 d'en blâmer les concepteurs du réacteur.

Durant son documentaire diffusé le premier novembre 2009 la télévision Radio-Canada a mentionné le résultat de la modélisation selon laquelle la rupture soudaine d'un tube de force pourrait avoir «des conséquences catastrophiques».

Du côté ontarien, le 20 juin 2009 le journaliste Martin Mittelstaedt a publié un article basé sur une entrevue avec le docteur Greg Rzentkowski, qui est à la CCSN directeur du groupe qui réglemente le domaine de la sûreté nucléaire des réacteurs. L'article affirme que les problèmes engendrés par le coefficient CVR positif vont exiger des compagnies d'électricité – Hydro-Québec compris – des ressources considérables pour leur solution. L'article ajoutait qu'il n'est pas sûr que les compagnies pourront résoudre ces problèmes complètement.

Le rapport de la CCSN d'août 2009 mentionne souvent que des incertitudes sont présentes dans les modèles physiques qui cherchent à prédire le comportement des réacteurs nucléaires, surtout en cas d'accident. La CCSN exhorte les compagnies à valider leurs modèles. La phrase clé suivante est répétée plusieurs fois dans leur volumineux rapport : « *Lack of validation of models calls into question the ability to predict safety margins and hence provide confidence that they are conservative* » (voir la page 17). Traduction : « *Le manque de validation des modèles remet en question la capacité de prédire les marges de sécurité et donc d'établir avec confiance qu'elles sont fiables* ».

10. Le contrôle des neutrons : le NOP/ROP.

Tel que mentionné ci-haut, le contrôle précis du flux de neutrons partout dans le cœur du réacteur est un défi de taille. Cette tâche est accomplie suivant une méthodologie intitulée en anglais Neutron Overpower Protection/Regional Overpower Protection représentée par l'acronyme NOP/ROP. Dans son rapport d'août 2009 la CCSN explique que l'industrie nucléaire et la CCSN sont à améliorer la méthodologie NOP/ROP pour le contrôle du flux de neutrons. Avant tout, il faut éviter en tout temps que le flux de neutrons exhibe une surpuissance, c'est-à-dire qu'il devienne trop important dans une partie du cœur du réacteur et endommage ou déforme les tubes de pression et les pastilles de combustible nucléaire. Une telle déformation nuirait à l'écoulement de l'eau de refroidissement (le caloporteur) et pourrait faire augmenter dangereusement la température du combustible. Pour éviter ces surpuissances neutroniques il faut établir un seuil (en anglais *trip setpoint*) au-dessus duquel les barreaux absorbeurs de neutrons sont insérés plus profondément afin de réduire le flux de neutrons. À la page 25 du rapport d'août 2009, la CCSN résume la situation ainsi : « *An inadequate NOP/ROP trip may lead to fuel failure or fuel bundle deformation in loss of regulation accidents (LORA), affecting margins to fuel channel failures prior to reactor shutdown on other trips.* » Traduction : « *Un seuil inadéquat pour la mise en œuvre de la fonction NOP/ROP peut causer du dommage au combustible nucléaire ou déformer les grappes de combustible au cours d'accidents de perte de contrôle (LORA), affectant ainsi les marges de sécurité envers le dommage au combustible avant l'arrêt du réacteur au cours d'autres mises en œuvre du NOP/ROP.* »

À la page 27 du rapport d'août 2009 des informations plus détaillées sont données sur la méthodologie NOP/ROP pour contrôler le flux de neutrons : « *Since the new methodology is currently under review by the CNSC, the issue is that there are uncertainties in the new methodology that could lead to eroded trip effectiveness* ». Traduction : « *Puisque la nouvelle méthodologie est en ce moment à l'étude par la CCSN, le problème est qu'il y a des incertitudes dans la nouvelle méthodologie qui pourrait réduire l'efficacité de la mise en œuvre de la fonction NOP/ROP* ». La CNSC ajoute : « *Finally, this issue is also relevant to power operation* ». Traduction : « *Enfin, ce problème concerne aussi le niveau opérationnel de puissance.* »

En langage de vulgarisation simplifiée, ces affirmations de la CCSN signifient qu'il demeurent des incertitudes à savoir comment contrôler le mieux possible le flux de neutrons dans un réacteur CANDU. De plus ces incertitudes sont exacerbées dans des conditions d'accidents, pour lesquels les simulations informatisées n'ont pas encore été validées par des comparaisons avec des mesures expérimentales. À propos du niveau de puissance qui sera permis, il est pertinent de noter qu'un des réacteurs de Bruce Power a été forcé par la CCSN de fonctionner à 93% de sa puissance nominale. Le journaliste Martin Mittelstaedt avait mentionné dans son article du 29 juin 2009, que les compagnies d'électricité pourraient être forcées d'opérer leurs réacteurs refaits à plus basse puissance.

11. Le combustible nucléaire amélioré LVRF comme solution au coefficient CVR positif

Dans ses rapports annuels de 2002 et 2003, Énergie atomique Canada Limitée (EACL) avait reconnu le danger inhérent présenté par un coefficient CVR positif. Dans le rapport de 2002, lequel avait été disponible à l'adresse URL suivante :

<http://www.aec.ca/Assets/Publications/Advisory+Panel/2002-RDAP.pdf>

le Advisory Panel avait écrit dans le contexte des modifications à apporter au design du Advanced CANDU Reactor, 700 megawatts (ACR-700):

« 2.2.3.1 Modification of design parameters from the preliminary conceptual design.

In the final conceptual design of the ACR-700, the fuel bundle enrichment has been increased to 2.00% from 1.65% in the preliminary design and dysprosium, a burnable poison (note 2), has been added to the centre element at a concentration of 4.6%. In addition, the gas gap between the pressure tube and the calandria tube in the ACR has been increased to 20 mm, compared to 10 mm in a conventional CANDU and the lattice-pitch has been reduced to 220 mm, compared to 286 mm in a conventional CANDU.

The reason for these changes is to ensure that the coolant void reactivity (CVR) coefficient for the ACR is slightly negative under all operating conditions. This will ensure that there is no power surge in a loss-of-coolant accident, as occurs in a conventional CANDU reactor with its positive CVR coefficient, but actually a power decrease. While the power surge in a conventional CANDU is limited by the two independent shutdown systems, thus preventing fuel damage, the regulatory authorities in the USA and in the UK demand a negative CVR coefficient. The overall effect of the foregoing changes results in the ACR being undermoderated, like an LWR, rather than overmoderated like in a conventional CANDU, and being inherently stable under all operating conditions».

« Note 2. As the fuel is irradiated, the dysprosium absorbs neutrons and gradually disappears as neutron-absorbing fission products build up. This behavior limits parasitic neutron absorption in the fuel while ensuring a negative CVR».

Traduction:

« La raison de ces changements est pour s'assurer que le coefficient de réactivité nucléaire dû au vide dans le ACR est légèrement négatif sous toutes les conditions d'opération. Dans le cas d'un accident causant une perte d'eau de refroidissement, le coefficient négatif assurerait qu'il n'y aurait pas une augmentation rapide de la puissance nucléaire, comme cela se produit dans

un Candu conventionnel avec son coefficient positif, mais plutôt une diminution de la puissance. Bien que l'augmentation de la puissance dans un Candu conventionnel soit limitée par les deux systèmes d'arrêt indépendants, ce qui empêche le combustible nucléaire d'être endommagé, les autorités réglementaires aux USA et au Royaume-Uni exigent un coefficient négatif de réactivité nucléaire dû au vide. L'effet global des changements de design proposés ci-haut sera que le ACR sera sous-moderé, comme dans les LWR, au lieu d'être sur-moderé comme dans le CANDU conventionnel, et qu'il sera donc stable de façon inhérente sous toutes les conditions d'opération. »

LWR ci-dessus signifie « *Light water reactor* », le type de réacteur le plus répandu dans le monde. Les CANDUs utilisent l'eau lourde comme eau de refroidissement (caloporteur) et comme modérateur. Le terme « *sur-moderé* » (« *overmoderated* » en anglais) veut dire qu'il y a un peu trop d'eau lourde dans le Candu pour optimiser les réactions nucléaires. Quand un peu d'eau lourde disparaît à cause des «vides», i.e. les bulles de vapeur, les réactions de fission nucléaire deviennent plus optimisées et l'on obtient ce que la CCSN appelle « *une surpuissance neutronique* ». Tel que mentionné ci-haut, avec moins d'eau de refroidissement et une surpuissance nucléaire thermique, la température augmente rapidement et les tuyaux de combustible nucléaire pourraient fondre. Le métal fondu pourrait causer une explosion de vapeur avec de graves conséquences.

Dans les années 2005-2009, la compagnie Bruce Power dans le sud-ouest de l'Ontario a entrepris des essais d'un combustible à faible coefficient CVR dans quelques-uns des tubes de force d'un de ses réacteurs CANDU. Ce nouveau combustible, qui comprend de l'uranium-235 enrichi et du dysprosium, est identifié en anglais comme « *low void reactivity fuel* », avec acronyme LVRF. Les rapports annuels de la CCSN pour 2007 et 2008 semblaient indiquer que les résultats de ces essais étaient prometteurs. Cependant en avril 2009 la firme Bruce Power informait la CCSN qu'elle mettait de côté la solution LVRF.

Dans son document E-DOCS # 3336957 daté du premier octobre 2009, la CCSN informait le public que la firme Bruce Power proposait de réduire les conséquences néfastes du coefficient CVR positif en augmentant la vitesse avec laquelle les barreaux absorbeurs de neutrons sont introduits dans le cœur du réacteur pour stopper la fission. À la page 30 de ce rapport, la CCSN écrivait (ma traduction) : «*Le problème de restaurer les marges de sécurité dans le cas d'une perte importante de caloporteur est un problème qui affecte tous les réacteurs CANDU. En ce moment, un Action Item a été mis en œuvre pour faire le suivi de ce problème pour toute la centrale de Bruce Power, pas seulement pour les réfections. En ce moment la CCSN n'a pas assez d'information pour pouvoir évaluer la probabilité de succès des améliorations proposées pour le système d'arrêt d'urgence. La CCSN évaluera la soumission de Bruce Power une fois qu'elle l'aura reçue.*»

Le fait est que les experts de la CCSN ne savaient pas en octobre 2009 si la solution proposée par Bruce Power allait avoir le succès escompté. Ce fait devrait être interprété comme un signal d'alarme par un investisseur prudent. Un autre signal d'alarme a été lancé par le journaliste Martin Mittelstaedt dans le Globe and Mail du 20 juin 2009, suite à une entrevue avec le Dr. Greg Rzentkowski de la CCSN.

Au Québec le journal Le Devoir a publié un article par le journaliste Louis-Gilles Francoeur le 4 mars 2010 qui avait interviewé l'ancien journaliste de Radio-Canada, M. Gilles Provost. Celui-ci a monté un site web qui donne beaucoup d'information sur les réacteurs CANDU (voir : <http://pages.videotron>). Gilles Provost avait été un des concepteurs du documentaire de Radio-Canada du premier novembre 2009 sur la réfection de Gentilly-2. L'article de Louis-Gilles Francoeur expliquait la nature du coefficient CVR positif et décrivait les conséquences genre

Tchernobyl qui pourraient avoir lieu suite à un bris majeur de tubes de force. De plus l'article rapportait que le document de 268 pages d'août 2009 demandait aux compagnies d'électricité de faire leur choix entre deux solutions possibles au problème de la réactivité nucléaire positive. Dans le rapport les deux solutions sont : -1. « *The Composite Analytical approach* » que nous résumons simplement par l'expression « *l'approche opérationnelle* », et 2- le combustible LVRF expliqué ci-dessus.

12. L'approche opérationnelle à la réactivité positive.

Selon le rapport de la CCSN d'août 2009 les compagnies d'électricité doivent choisir d'ici le premier avril 2010 une des deux solutions ci-haut mentionnées. L'approche opérationnelle exige des compagnies des études supplémentaires et des mesures expérimentales afin de valider la modélisation informatisée et afin de démontrer que les marges de sécurité sont adéquates. Les compagnies pourront aussi introduire des changements de conception pour réduire les effets néfastes de la réactivité positive.

Au niveau de l'opération des réacteurs une mesure possible est de réduire la puissance du réacteur comme cela a déjà été fait à Bruce Power. Cependant, un élément inusité de la solution opérationnelle est de considérer que certains accidents au niveau des bris sont de probabilité suffisamment faible pour être négligés.

Cet élément inusité invoquant la rareté dans le temps d'un événement dangereux soulèvera l'inquiétude d'un investisseur prudent. Un exemple historique est celui des vagues scélérates en mer. Sur une période de quelques siècles, des navigateurs expérimentés revenaient de leurs voyages en haute mer avec parfois des histoires d'avoir été frappés par une énorme vague qui avait causé des dommages considérables au bateau. La communauté scientifique qui étudiait les vagues en haute mer demeura sceptique de l'existence de telles vagues jusqu'au premier janvier 1995 lorsque la plate-forme pétrolière Draupner au large de la Norvège fut frappée et endommagée par une vague dite aujourd'hui « *scélérate* » (en anglais « *rogue wave* » ou « *freak wave* »). La plate-forme avait un laser qui mesurait précisément en tout temps la hauteur et le profile des vagues. Cette première vague scélérate enregistrée mesurait 25 mètres du creux à sa crête et était très escarpée, ce qui expliquait sa force destructrice.

Suite à cette mesure, les scientifiques découvrirent qu'une modélisation informatisée plus précise qu'auparavant révélait la naissance de ces vagues scélérates durant les tempêtes. Pendant quelques années l'on cru que ces vagues étaient très rares jusqu'au jour où des radars montés sur des satellites montrèrent que les vagues scélérates apparaissent presque à chaque tempête dans certaines régions des océans. Ce qui avait été longtemps inexistant aux yeux de la science, puis très rare, était devenu un phénomène maintenant connu et fortement redouté dans les milieux maritimes.

Le même genre de phénomène physico-social s'est produit dans le cas des réacteurs nucléaires. Le professeur Norman C. Rasmussen de la prestigieuse université MIT avait été généreusement financé au début des années 70 pour calculer la probabilité d'un grave accident avec un réacteur nucléaire. Sa fameuse « *Reactor Safety Study* » publiée en 1975 avait prédit une probabilité d'accident grave d'une fois par 20 000 ans pour un réacteur donné. Quatre ans plus tard en mars 1979 l'accident de Three Mile Island avait lieu, faisant fondre le cœur du réacteur et déversant d'énormes quantités de gaz radioactifs dans l'atmosphère (13 millions de Curies). En avril 1986, avait lieu la catastrophe de Tchernobyl avec les effets dévastateurs bien connus. L'étude du professeur Rasmussen a été depuis mise au rancart.

Quoique la CCSN ait signalé son intention d'accepter l'approche opérationnelle, elle écrit quand même dans le rapport d'août 2009, à la page 67 en particulier, sa préférence pour le combustible LVRF à faible réactivité nucléaire. Citation : « *LVRF involves implementation of fuel design changes to reduce the positive coolant void reactivity, and as such alleviates the root cause of the problem and therefore enhances the robustness of the LOCA safety case* ». Traduction: « *Le combustible LVRF fait entrer en jeu des changements au niveau de la conception du combustible afin de réduire la réactivité nucléaire positive, et par conséquent il atténue la cause fondamentale du problème et augmente la robustesse de la sûreté envers une perte de caloporteur.* »

Peu importe l'approche choisie par les compagnies, la CCSN dans son rapport de 268 pages d'août 2009 les exhorte à réaliser davantage de calculs et de mesures expérimentales afin de résoudre les 16 problèmes techniques sérieux des réacteurs CANDU. À de nombreux endroits dans le volumineux rapport, la CCSN mentionne les « *incertitudes* » (« *uncertainties* ») et les « *lacunes de compréhension* » (« *gaps in understanding* ») qui affectent la plupart de ces 16 problèmes techniques.

Trois articles publiés par le journaliste Louis-Gilles Francoeur dans le journal Le Devoir les 4, 5 et 6 mars 2010, ont fait un bref résumé de la situation au niveau du choix pour l'industrie entre les deux solutions expliquées ci-dessus. Francoeur a cité le journaliste Gilles Provost, qui, sur la base du rapport de 268 pages d'août 2009, estime que les compagnies devraient idéalement se préparer pour introduire le nouveau combustible LVRF, ou bien devront démontrer comment elles peuvent mettre en œuvre l'approche opérationnelle et se passer du LVRF.

Hydro-Québec a déjà répondu à Francoeur dans une lettre de Mme Marie Élane Deveault au Devoir le 5 mars, qu'il n'est pas question de changer le combustible nucléaire pour la réfection et que ce sera le statu quo à Hydro-Québec.

13. Les problèmes de contrôle informatisé

Un autre problème qui est amplifié par la réactivité positive du CANDU est celui du contrôle informatisé. Dans un accident avec perte soudaine de caloporteur (un LOCA) l'impulsion de surpuissance nucléaire peut survenir en une ou deux secondes. Aucun opérateur humain ne peut être vigilant à la demi-seconde près toute la journée et intervenir correctement. Ceci nécessite un contrôle par système informatisé 24 heures sur 24. Après environ une demi-seconde du début d'une impulsion de surpuissance, l'informatique doit descendre les barreaux absorbeurs de neutrons et stopper les réactions en chaîne. Il faut donc non seulement faire confiance aux ordinateurs et à leurs logiciels de commande mais aussi aux nombreuses sondes réparties dans le réacteur pour mesurer à plusieurs endroits le flux de neutrons, la température, l'écoulement du caloporteur et la pression.

Les rapports annuels de la CCSN rapportent des cas où ces sondes ont fait défaut. Que fera un ordinateur qui reçoit des informations fautives ? Voici un exemple de ce qui s'est passé à Gentilly-2 le 25 janvier 2007. Les informations proviennent du *Rapport annuel de la CCSN sur le rendement en matière de sûreté des centrales nucléaires au Canada*, identifié par la CCSN comme INFO-0770, daté août 2008.

À la page 156, dans une section intitulée « *Rapport des faits saillants à Gentilly-2, Arrêt manuel d'un système d'arrêt d'urgence à Gentilly-2; Description initiale (CMD 07-M10)* », on peut lire ceci (ci-dessous « titulaire de permis » signifie « Hydro-Québec »):

«Le personnel de la CCSN a été avisé vers 8 h, le 25 janvier 2007, de l'arrêt du réacteur à la suite du déclenchement manuel du système d'arrêt d'urgence 1.

Le matin du 25 janvier, aux environs de 5 h 30, l'ordinateur X a affiché des valeurs irrationnelles de la puissance du réacteur et exhibé un fonctionnement erratique de plusieurs programmes de contrôle. Le transfert automatique des programmes de contrôle à l'ordinateur Y ayant échoué, le chef de quart a pris la décision de déclencher manuellement le système d'arrêt d'urgence 1. À la suite de l'échec du redémarrage de l'ordinateur X, un transfert manuel à l'ordinateur Y de tous les programmes de contrôle de la centrale a été effectué.

L'enquête menée par le titulaire de permis a révélé qu'une carte analogique défectueuse était la raison du fonctionnement anormal de l'ordinateur X. La carte a été remplacée et les programmes de contrôle ont été redémarrés. Le fonctionnement de l'ordinateur X est redevenu normal et celui-ci était à nouveau disponible pour toutes les fonctions de contrôle et d'affichage. Une fois toutes les vérifications effectuées, le réacteur a été rétabli à pleine puissance le 27 janvier 2007.

La CCSN estime que cet incident n'a pas eu d'effets négatifs sur la centrale, les employés, le public ou l'environnement. Le personnel de la CCSN s'est dit satisfait de la démarche suivie par le titulaire de permis ainsi que de l'analyse de l'évènement et de la mise en œuvre des mesures correctives.»

Cette petite histoire pourrait ne pas rassurer un investisseur prudent, ni même les personnes vivant à proximité de Gentilly-2. Alors qu'un réacteur CANDU, à cause de son coefficient positif de réactivité nucléaire, peut s'emballer en une fraction de seconde, c'est une *opération manuelle* qui après un certain temps a mis le réacteur en arrêt. Tout s'est bien déroulé le 25 janvier 2007 à Gentilly-2. Mais en sera-t-il toujours ainsi? Si un tuyau éclate soudainement est-ce que le logiciel contrôlant le réacteur réagira de la bonne façon en toutes circonstances?

Les affirmations de la CCSN dans le rapport de 268 pages d'août 2009 permettent de douter que la réponse à cette question sera toujours affirmative. Le rapport révèle un niveau d'incertitude dans la validité des logiciels utilisés pour modéliser les réacteurs CANDU, surtout dans le cas d'un LOCA (loss of coolant accident) important. Le sérieux d'une telle révélation peut se juger à partir de l'expérience malheureuse des deux réacteurs MAPLE de EACL. Ces deux réacteurs avaient été conçus à la fin des années 90 pour prendre la relève du réacteur NRU à Chalk River et produire des isotopes de molybdenum-99, le précurseur du technetium-99m utilisé en médecine nucléaire. En mai 2008 EACL a annoncé qu'elle abandonnait le développement des réacteurs MAPLE. EACL avait promis que le coefficient de réactivité nucléaire en fonction de la puissance serait négatif, mais il s'était avéré positif. De plus, malgré beaucoup d'essais et de calculs EACL avait été incapable d'expliquer avec précision le comportement du MAPLE. Étant incapable de le modéliser avec précision, EACL ne pouvait pas programmer un ordinateur de contrôle qui aurait géré avec la sécurité voulue le réacteur.

14. Le processus de décision fondé sur la connaissance des risques

Hydro-Québec et le gouvernement ont tenu une conférence de presse le 19 août 2008 à Bécancour, la municipalité où se trouve le réacteur nucléaire Gentilly-2, afin d'annoncer leur décision de procéder à sa réfection. À cette conférence de presse le président d'Hydro-Québec, Thierry Vandal, fit une présentation de six minutes pour justifier la décision de réfection de Gentilly-2. Durant la période de questions, le journaliste Jim Dell de Global TV posa une question en anglais concernant le danger d'accident nucléaire. Thierry Vandal répondit en

anglais ceci (ma traduction): «*Bien, ceci est une opération qui a été sécuritaire durant 25 ans et qui va continuer à être sécuritaire. Nous avons ici dans la région 750 personnes qui sont des professionnels qui maîtrisent le domaine nucléaire et qui vont continuer à le maîtriser, ce qui signifie que la question de la sécurité est bien couverte dans cette opération. La centrale est en opération sous la supervision étroite de la CCSN 24 heures par jour. C'est par conséquent une opération sécuritaire et elle va continuer à être sécuritaire. C'est un engagement que nous avons pris envers nos employés, envers la population de la région et envers toute la population dans son ensemble.*»

Une réponse de ce genre par M. Vandal concernant la probabilité d'un accident a souvent été répétée par les groupes pro-nucléaires. Ce genre de réponse ignore le fait que la performance des réacteurs nucléaires est soumise à des éléments aléatoires. Ceux-ci comprennent : le comportement des ouvriers du nucléaire (les erreurs humaines ne peuvent jamais être exclues), les défauts de manufacture, le vieillissement des composants, et finalement des événements externes tels qu'un tremblement de terre ou un acte terroriste. Personne ne peut prédire l'avenir avec précision, et surtout pas l'avenir d'un réacteur nucléaire. Moins de 10 ans après leur réfection, les réacteurs Pickering- 2 et -3 en Ontario ont été fermés de façon permanente en 2007; la prédiction d'une vie utile de 25 ans après réfection n'avait pas été réalisée.

D'après la science des probabilités, le fait qu'un accident sérieux ne s'est pas encore produit n'est jamais une garantie qu'il ne se produira pas dans les jours ou les années qui s'en viennent. Un exemple historique de cette affirmation qui est frappant, et qui est présentement dans les nouvelles, est l'écrasement de l'avion de ligne supersonique, le Concorde, le 25 juillet 2000 près de Paris. Sur une période de 24 ans avant cette date fatidique le Concorde avait accompli de nombreux vols au-dessus de l'Atlantique sans accident. La très grande majorité des gens croyait que cet avion était sécuritaire.

Le 25 juillet 2000, le Concorde entrepris de décoller à l'aéroport Charles de Gaulle près de Paris. Un pneu éclata, des fragments de pneu percutèrent l'aile endommageant un des réservoirs de kérosène, le kérosène pris feu et mis un des quatre moteurs en feu. L'avion décolla en traînant derrière lui une traînée de feu menaçante. Une minute plus tard le Concorde s'écrasa sur un hôtel avoisinant, tuant tous les 109 passagers et membres de l'équipage, plus quatre personnes au sol.

Avant le 25 juillet 2000 plusieurs personnes savaient que des pneus du Concorde avaient éclaté au moins 33 fois auparavant, et qu'il était arrivé que des fragments de pneu endommagent un réservoir de kérosène. Au cours d'un tel incident près de Washington, D.C., de grandes quantités de kérosène avaient fuit, mais n'avaient pas pris feu.

Suite à un bon nombre d'incidents avec les pneus du Concorde, le *National Transport Safety Board* des USA avait écrit aux autorités française une lettre où ils exprimaient leurs inquiétudes face à ces incidents, parlant même de conséquences possiblement catastrophiques (« *potentially catastrophic* »). Après la catastrophe de juillet 2000 le public perdit le goût de voler sur le Concorde et l'avion fut retiré des airs en 2003.

Depuis le début de février 2010, le désastre du Concorde fait maintenant l'objet d'un procès à Pontoise près de Paris. La compagnie Continental Airlines et cinq personnes sont accusées d'homicide involontaire. Une théorie alternative mise de l'avant par les autorités françaises est qu'un avion de Continental Airlines avait laissé tomber une petite bande métallique sur la piste empruntée par le Concorde au décollage. Cette bande métallique aurait causé l'éclatement d'un pneu. Il n'en reste pas moins que des pneus du Concorde avaient éclaté des années avant la catastrophe de juillet 2000.

Charles Perrow, qui est maintenant un professeur émérite à l'Université Yale dans le Connecticut, avait été membre de la commission d'enquête sur l'accident nucléaire qui avait eu lieu en mars 1979 à Three Mile Island en Pennsylvanie. Dans son livre de 2007 intitulé « *The Next Catastrophe, Reducing our Vulnerabilities to Natural, Industrial and Terrorist Disasters* » Charles Perrow présente l'argument selon lequel des accidents se produisent régulièrement dans des systèmes complexes et sont décrits globalement par le modèle suivant. Des années avant l'accident un ou des défauts de conception ou de construction sont connus et bien documentés, mais pour des raisons économiques rien ou peu est fait pour parer à ces défauts. Cela fait partie de la tactique de défense que présentent les accusés au procès de Pontoise.

Revenons maintenant au cas des réacteurs CANDU de première génération qui sont en opération à la centrale Pickering B près de Toronto, à Gentilly-2 dans la municipalité de Bécancour, et qui seraient en opération à Point Lepreau si la réfection est un jour complétée. Dans le cas des CANDUs, la Commission canadienne de sûreté nucléaire (CCSN) peut être félicitée pour la documentation très professionnelle et exhaustive qu'elle a mise à la disposition du public. Cette documentation inclut les transcriptions des nombreuses audiences publiques de la CCSN. Les risques et les dangers des CANDUs sont bien connus de tout le secteur nucléaire canadien, la question est de savoir si le public en a été adéquatement informé.

Dans le cas du Québec, il est clair que le public n'a pas été informé à la hauteur de ce qui est requis pour prendre le genre de décision que la CCSN recommande par le titre lui-même de son document d'août 2009, c'est-à-dire « *Application of the CNSC Risk-informed Decision Making Process to category 3 CANDU Safety Issues* ». Dans la présentation de M. Thierry Vandal à la conférence de presse du 19 août 2008, laquelle avait duré six minutes, le mot « *risque* » n'a même pas été mentionné, encore moins l'analyse des risques ! De plus, M. Thierry Vandal n'a fait aucune mention des problèmes techniques nombreux et sérieux qui affectent la sûreté physique des réacteurs CANDU.

L'accident du Concorde en juillet 2000 a coûté la vie de 113 personnes, mais un accident grave nucléaire à Gentilly-2 pourrait causer des milliers de victimes réparties sur des décennies, comme cela s'est produit après l'accident de Tchernobyl. Même si un accident nucléaire à Gentilly-2 était contenu par le confinement en béton armé et que les dommages étaient limités à une destruction partielle du cœur du réacteur, les pertes économiques dans les milliards de dollars entraîneraient certainement des questions très pointues posées à la direction d'Hydro-Québec et aux responsables dans le gouvernement. Notre époque moderne est dominée par l'information et la vérité a maintenant tendance à rapidement faire surface.

Un autre manquement au besoin d'information pour le public est apparu dans une lettre publiée dans le journal *Le Devoir* le 8 avril 2009, lettre signée par Mme Marie-Élaine Deveault, attachée de presse d'Hydro-Québec. Mme Deveault a écrit ceci : « *À la suite d'audiences publiques, Hydro-Québec a reçu toutes les autorisations requises et le projet sera réalisé conformément à toutes les normes en vigueur.* »

La lettre de Mme Deveault ne fait aucune mention du rapport d'*Examen intégré de sûreté* ou EIS qu'Hydro-Québec doit soumettre à la CCSN en 2010 pour son approbation. En anglais, qui est le langage de travail de la CCSN et de l'industrie nucléaire canadienne, le EIS est le *Integrated Safety Report*, dont l'acronyme est ISR, que nous utiliserons. Cette étape obligatoire d'approbation du ISR pourrait s'avérer difficile à réussir pour Hydro-Québec. En effet, le 7 avril 2008, la CCSN avait refusé d'approuver un document préliminaire de l'ISR que Ontario Power Generation (OPG) lui avait soumis pour la réfection alors contemplée pour les quatre réacteurs de la centrale Pickering B (voir le document de la CCSN du 7 avril 2008, E-DOCS # 3232348). OPG a beaucoup plus d'expérience qu'Hydro-Québec dans le domaine nucléaire et beaucoup

plus de personnel qualifié. Est-ce qu'Hydro-Québec réussira là où OPG n'avait pas réussi en avril 2008 ?

Mme Deveault dans sa lettre au Devoir déclare «*À la suite d'audiences publiques*», tout comme M. Thierry Vandal avait déclaré à la conférence de presse du 19 août. Dans ce contexte il convient de rappeler que le *Bureau d'audiences publiques en environnement*, le BAPE, avait tenu en 2005 des audiences sur la modification de l'aire de déchets radioactifs à la centrale Gentilly-2. Dans son rapport 207 de mars 2005 le BAPE avait dit ceci : «*Les incertitudes liées à la gestion à long terme des déchets radioactifs incitent en effet à la prudence en vertu du développement durable, plus particulièrement du principe d'équité entre les générations.*» Concernant une réfection éventuelle de Gentilly-2 le BAPE avait déclaré ceci : «*Le sort de la centrale de Gentilly-2 constitue toutefois, au-delà du strict choix énergétique, un choix de société et devrait reposer sur des valeurs prioritaires en matière de développement durable, dont le but ultime est l'amélioration de la qualité de vie.*»

Dans son rapport de mars 2005 le BAPE avait recommandé que les données économiques concernant la réfection éventuelle de Gentilly-2 soient publiées et soient validées par des économistes indépendants, et de plus, vue l'ampleur du projet, qu'un débat public ait lieu sur ce grand enjeu. Semblant ignorer complètement l'esprit démocratique avec lequel des décisions importantes sont normalement prises, la direction d'Hydro-Québec et le gouvernement n'ont pas donné suite à ces recommandations du BAPE. Au contraire, tout s'est décidé à huis clos, et à la conférence de presse du 19 août 2008, le projet de réfection a été annoncé comme étant déjà lancé, avec d'importants contrats déjà signés avec EACL et General Electric. C'est ce qu'on appelle la politique «*du fait accompli*».

Il est donc bien évident que le gouvernement et la direction d'Hydro-Québec n'ont pas donné au public québécois l'opportunité de prendre une décision informée par une analyse des risques, ce qui est l'esprit du titre du rapport de la CCSN de 268 pages d'août 2009. Au nom du *Mouvement Sortons le Québec du nucléaire* j'ai posté le 5 juin 2009 une lettre aux 17 membres du Conseil d'administration d'Hydro-Québec, avec signature demandée à la réception. Cette lettre de 26 pages faisait une analyse de 10 risques importants reliés à la réfection planifiée de Gentilly-2. Jusqu'à maintenant aucune réponse n'a été reçue. Ceci signale peut-être le fait que le CA d'Hydro-Québec n'est pas autorisé à répondre aux lettres des citoyens concernant des enjeux importants. Il est assez remarquable qu'en 2006 et 2007 les journaux avaient mentionné que le CA d'Hydro-Québec allait faire à l'automne 2008 une recommandation au gouvernement concernant la réfection ou la non-réfection de Gentilly-2. À la conférence de presse du 19 août 2008 et par la suite, aucune mention n'a été faite du CA d'Hydro-Québec.

Les membres du CA d'Hydro-Québec sont rémunérés à partir des fonds de notre société d'état. Est-ce que les membres du CA d'Hydro-Québec ne devraient-ils pas être autorisés à communiquer au public québécois les résultats de leurs délibérations sur des enjeux aussi importants que l'énergie ? Le 10 décembre 2007, lors de la cérémonie d'inauguration de la centrale hydro-électrique Péribonka, le premier ministre Jean Charest avait fait la déclaration suivante dans le contexte de la sécurité énergétique et du développement économique:

«Cela fait partie de notre ADN. Cela fait partie de qui on est politiquement. Cela remonte à très loin. Cela remonte à Adélard Godbout, qui a fondé Hydro-Québec»,

Si le développement énergétique fait partie de notre ADN, ne sommes-nous pas en droit en tant que citoyens québécois, collectivement propriétaires d'Hydro-Québec, de pouvoir communiquer avec le CA d'Hydro-Québec et d'être informés du fruit de ses délibérations ? Le dossier nucléaire envoie des signaux d'alarme comme quoi les propriétaires collectifs d'Hydro-Québec

devraient se poser des questions et en poser.

En juin 2008 le public québécois n'avait pas été informé des problèmes techniques sérieux qui affligent les réacteurs CANDU. Du 3 au 4 juin 2008 la firme de sondage Angus Reid Strategies a interrogé 1006 canadiens adultes sur l'énergie nucléaire. Le titre et le sous-titre de leur communiqué du 10 juin donnent un des résultats importants : « *Canadians Are Cautious About Revamping Nuclear Power Use, Half of respondents want to build more reactors, but the vast majority express concern over safety issues and environmental impact.* »

Ma traduction : «*Les canadiens sont prudents envers une expansion de l'énergie nucléaire, la moitié des répondants veulent construire davantage de réacteurs, mais la vaste majorité exprime des inquiétudes envers la sûreté et les impacts environnementaux.*» Un résultat régional de ce sondage est que 62% des québécois/québécoises s'opposent à la construction de nouvelles centrales nucléaires. Ce que la direction d'Hydro-Québec appelle «*réfection*» serait en fait une reconstruction du vieux réacteur. Une fois que le public québécois sera informé des 16 problèmes techniques qui affligent les CANDUs, il sera intéressant de voir ce qu'un sondage de l'opinion publique révélera. Il y a aussi la question des coûts.

15. Calcul simplifié et prudent des coûts de la réfection de Gentilly-2

Non seulement la réfection de Gentilly-2 est maintenant sur la table mais aussi l'achat du réacteur nucléaire de Point Lepreau au Nouveau-Brunswick si l'entente est signée entre les gouvernements du Québec et du Nouveau-Brunswick au mois de mai 2010. L'entente prévoit l'achat des moyens de production électrique de la firme provinciale Énergie Nouveau-Brunswick (ENB), lesquels incluent le réacteur nucléaire Point Lepreau.

En 2005 la Public Utilities Commission (PUC) du Nouveau-Brunswick (NB) avait avisé le gouvernement du NB de ne pas entreprendre la réfection du réacteur nucléaire CANDU de Point Lepreau. Ce réacteur est identique à celui de Gentilly-2. La PUC était d'avis qu'il y aurait des dépassements de coûts importants. Mais le gouvernement du NB avait obtenu du gouvernement fédéral que les dépassements de coûts seraient assumés par la firme de la couronne EACL et avait décidé d'aller de l'avant avec la réfection.

Des dépassements de coûts d'environ 50% ont effectivement eu lieu à Point Lepreau, dépassements que EACL va assumer. Le gouvernement fédéral fournit maintenant des subventions à EACL pour couvrir ces dépassements. Les pertes sont donc réparties entre toutes les provinces canadiennes par le biais de la dette canadienne et des impôts fédéraux. Ce que le NB n'avait pas prévu sont des délais supplémentaires d'environ 18 mois dans les travaux de réfection, ce qui les oblige à acheter de l'électricité de remplacement à un coût d'environ 0,8 million de dollars par jour. Ces délais et coûts supplémentaires ont aggravé la dette de ENB au point où le gouvernement sent l'obligation de vendre les moyens de productions de ENB ainsi qu'une ligne de transmission électrique vers l'état du Maine.

Les journaux rapportent qu'Hydro-Québec voit dans cet achat l'avantage de pouvoir écouler au NB ses surplus d'électricité. L'entente prévoit une tarification de 7,35 cents le kilowattheure gelée pour cinq ans, puis une augmentation par la suite au taux de l'inflation. Comme le coût de l'électricité québécoise produite par les nouveaux barrages se situe autour de 11-12 cents/kWh, on peut regarder la vente d'électricité au NB à 7,35 cents/kWh comme étant faite à un prix subventionné, donc à profit pour le NB, mais à perte pour le Québec. Les ventes d'électricité québécoise aux USA se font à un tarif moyen avoisinant 9 cents/kWh.

Calculons maintenant de façon prudente le coût de l'électricité qu'un réacteur Gentilly-2 éventuellement reconstruit produirait. Comme l'histoire des réacteurs nucléaires a montré que les coûts finissent par dépasser les estimations initiales par un facteur de 3, il est prudent de supposer un dépassement de coût pour Gentilly-2 par un facteur d'au moins 2. On parle donc d'un coût de 4 G\$. En confirmation de cette estimation nous prenons note des données mise en ligne par la Federal Energy Commission (FERC) aux USA qui donne une fourchette de 4000 \$ à 7500\$ le kilowatt pour l'investissement de capital requis pour la construction d'un nouveau réacteur. Ceci correspond à une fourchette de 2,9 G\$ à 4,9 G\$ pour le 650 MW de Gentilly-2, la moyenne étant 3,9 G\$ que nous arrondissons à 4 G\$. Ceci confirme le facteur de 2 ci-haut.

Pour simplifier le calcul, nous supposons que les dépenses de réfection ou reconstruction se font du jour au lendemain (ce qu'on appelle en anglais les « *overnight costs* »). Dans ce scénario Hydro-Québec emprunte 4 G\$ à un taux d'intérêt de 5% pour un prêt remboursable sur 30 ans. Les frais d'intérêt sont donc 200 M\$ la première année. Pour les 750 employés que M. Thierry Vandal a mentionné pour Gentilly-2, à 65 k\$ par personne cela donne une masse salariale de 50 M\$ par année. On ajoute maintenant les 100 M\$ que coûteront l'entreposage à long terme des déchets hautement radioactifs. Le total des dépenses est de 350 M\$ la première année.

Comparons ce total au revenu anticipé par M. Thierry Vandal à la conférence de presse du 19 août 2008. M. Vandal avait annoncé la valeur de l'électricité produite à 7,2 cents le kWh. Cette valeur signifie 72 \$/MWh (mégawattheure) et 72 M\$/TWh (térawattheure). Supposons de façon prudente que le coefficient d'utilisation de la centrale sera proche de sa valeur historique de 80%. La centrale produit 650 MWe (mégawatts électriques) durant $0,8 \times 24 \times 365 = 7008$ heures, donc une énergie totale annuelle de 4,55 TWh, pour une valeur monétaire de 328 M\$, ce qui est moins que les dépenses annuelles de 350 M\$.

On a donc le résultat que l'opération n'est pas rentable. Même si on refait le calcul avec le 2 G\$ de coûts espéré par Hydro-Québec, on arrive à des dépenses annuelles de 250 M\$ et un profit annuel de $328 - 250 \text{ M\$} = 78 \text{ M\$}$. En supposant que le réacteur refait fonctionne le maximum de 10 ans observé à la centrale Pickering A en Ontario, le profit total est 780 M\$ et ne suffit pas à rembourser le prêt de 2 G\$. Prière de noter que nous n'avons attribué aucun montant pour des bris importants nécessitant des dépenses supplémentaires. Il est bien évident que l'opération n'est pas rentable. La décision de OPG en Ontario de ne pas procéder à la réfection de leurs quatre réacteurs à la centrale Pickering B est bien justifiée.

16. Implications légales d'un accident nucléaire majeur

Il existe une partie du droit international qui touche les conséquences environnementales transfrontalières d'un accident nucléaire. Feu le professeur Alexandre Kiss a écrit un article de revue à ce sujet en 2008 intitulé « *State Responsibility and Liability for Nuclear Damage* » (voir le site

<http://law.du.edu/documents/djilp/35No1/State-Responsibility-Liability-Alexandre-Kiss.pdf>).

Au début de son article le professeur Kiss cite un cas de jurisprudence transfrontalière qui a impliqué le Canada et les États-Unis en 1941. Dans le célèbre Trail Smelter Case, le jugement avait été le suivant :

« *Under the principles of international law no State has the right to use or permit the use of its territory in such a manner as to cause injury by fumes in or to the territory of another or the*

properties or persons therein, when the case is of serious consequence and the injury is established by clear and convincing evidence ».

Ma traduction: «*Suivant les principes du droit international aucun État n'a le droit d'utiliser ou de permettre l'utilisation de son territoire de telle manière à causer du dommage par des émissions gazeuses dans ou envers le territoire d'un autre État ou envers des propriétés ou envers des personnes dans ce territoire, quand des conséquences sérieuses sont en jeu et quand le dommage est établi de façon claire et convaincante.*»

Dans l'esprit de ce jugement, le professeur Kiss décrit toute une série d'ententes et de protocoles internationaux qui ont été adoptés par divers pays (mais pas encore par le Canada ou les États-Unis) afin de réglementer l'attribution de responsabilité et de paiements compensatoires dans le cas d'un accident comme Tchernobyl dont la radioactivité a affligé de nombreux pays en Europe durant des années après l'accident de 1986. Malgré que le Canada et les USA n'aient pas encore ratifié les ententes internationales pour les dommages transfrontaliers, celles-ci seraient prises en considération si un accident dans un pays «exportait» par les vents et la pluie de grandes quantités de radioactivité dans l'autre. Nous avons noté ci-dessus la proximité géographique de Gentilly-2 de quatre États du nord-est des États-Unis.

Un autre document écrit par Ian Hore-Lacy en décembre 2009 (voir le site :

http://www.eoearth.org/article/Civil_liability_for_nuclear_damage)

mentionne qu'aux USA un montant maximum de 10 G\$ serait payé par l'ensemble des propriétaires de réacteurs nucléaires afin de compenser financièrement les plaignants. Au-delà de ce montant, le gouvernement américain prendrait la relève. Certaines estimations des dommages sont allées jusqu'à un trillion de dollars.

Advenant un accident nucléaire majeur avec déversement important de radioactivité du site de Gentilly-2 ou de Point Lepreau, les conditions météorologiques pourraient être telles qu'un ou des états américains seraient touchés. Si les deux réacteurs sont reconstruits sans que les 16 problèmes techniques aient été résolus, les propriétaires de ces CANDUs seraient dans une position d'extrême faiblesse dans un procès parce que les défauts sont maintenant bien connus et sont dans le domaine public.

Dans les ententes internationales touchant les accidents nucléaires, il est intéressant de noter la notion de «*restituer*» des territoires contaminés à leur état antérieur. Quand on pense à de la radioactivité déversée en énormes quantités sur les forêts du Maine, comment fera-t-on pour retrouver l'état initial? Le césium-137, qui a été le pire contaminant radioactif distribué à profusion en Europe par Tchernobyl, a une demi-vie de 30 ans. Après 30 ans, le niveau de radioactivité a baissé à la moitié du niveau initial, après 60 ans le niveau a baissé au quart. Il faut attendre 10 demi-vies, donc 300 ans, avant que la radioactivité devienne négligeable pour ce produit de la fission de l'uranium-235.

17. Faible argument technique en faveur de la réfection de Gentilly-2

Durant la conférence de presse du 19 août 2008, le président d'Hydro-Québec a mentionné plusieurs fois qu'un rôle important du réacteur Gentilly-2 est de «*stabiliser*» le réseau électrique en tension. La faiblesse de cet argument devient évidente quand on observe qu'un réacteur

nucléaire est sujet à des arrêts imprévus qui peuvent durer longtemps. Un exemple pour Gentilly-2 est un arrêt imprévu qui a débuté le 2 novembre 2007 pour se terminer le 31 janvier 2008. Un peu plus tard un arrêt planifié a débuté le 5 avril 2008 pour se terminer le 15 juin 2008. Est-ce que la tension sur le réseau d'Hydro-Québec n'était pas stabilisée par d'autres moyens durant ces périodes d'arrêt ? Si Hydro-Québec met Gentilly-2 en arrêt pendant deux ans pour la réfection, n'y aura-t-il pas d'autres moyens mis en œuvre pour stabiliser le réseau en tension ?

Si l'argument de «*stabilisation*» du réseau électrique est le meilleur argument technique que M. Vandal a pu trouvé pour justifier la réfection, il est bien évident que le cas n'est pas convaincant.

18. Voguons-nous sur un Titanic nucléaire ?

Dans le cas de la réfection de Gentilly-2 et de Point Lepreau il est légitime de se demander si nous n'observons pas un cas de déni des dangers et des risques en jeu. Julie Lemieux, auteure du livre intitulé «*Avez-vous peur du nucléaire ? peut-être devriez-vous l'être* » publié en 2009 a tracé à la page 81 un parallèle au Québec entre la situation nucléaire présente et la catastrophe du Titanic.

Le naufrage du Titanic le 15 avril 1915 avait été le résultat d'un déni flagrant du danger. Durant la journée précédant la nuit du naufrage, des bateaux voguant dans l'Atlantique Nord avaient envoyé des télégrammes prévenant tous les bateaux de la présence d'un champ d'icebergs. Mais le propriétaire du Titanic était à bord et il avait commandé au capitaine de foncer dans la nuit à la vitesse maximale, l'idée étant de battre un record de vitesse de traversée de l'Atlantique. Comment se fait-il que l'équipage n'avait pas protesté face à ce risque évident ? Les historiens ont donné comme raison principale que tout le monde croyait que le plus gros navire du monde était insubmersible, comme ses architectes l'avaient proclamé dans de nombreux articles dans les journaux. Cette croyance était si forte que le propriétaire n'avait pas jugé nécessaire d'avoir des canots de sauvetage pour tous les passagers.

Quand M. Vandal affirme que Gentilly-2 fonctionnera de façon sécuritaire pendant 25 ans, n'exprime-t-il pas son déni du danger, son déni des risques bien documentés par la CCSN ? Pour reprendre l'analogie de Julie Lemieux, n'est-il pas légitime de se demander si nous ne voguons pas sur un Titanic nucléaire ?

19. Tranquillité d'esprit, transformation des centrales Gentilly-2 et point Lepreau

Maintenant qu'il est reconnu par la documentation de la CCSN que les réacteurs CANDUs sont affligés par des risques techniques importants, il est certain que la réfection éventuelle de Gentilly-2, et de Point Lepreau si elle est complétée, n'apportera pas la tranquillité d'esprit à toutes les personnes concernées. Un témoignage anonyme d'une femme de Trois-Rivières, qui fait face à Gentilly-2, m'avait frappé par sa simplicité : «*On sait bien que c'est dangereux, mais c'est les jobs !*»

Pour améliorer la tranquillité d'esprit des travailleurs de Gentilly-2, notre *Mouvement Sortons le Québec du nucléaire* a proposé de mettre Gentilly-2 immédiatement en phase de déclassement. Hydro-Québec a déjà mis de côté quelque 761 M\$ pour le déclassement. La très grande majorité des 750 emplois à Gentilly-2 pourraient être maintenus en stoppant le réacteur et en transformant la centrale en laboratoire de gestion de tous les éléments radioactifs et de monitoring de la radioactivité sur tout le territoire du Québec. Advenant un accident nucléaire en

Ontario ou aux USA il faudrait que le Québec soit capable de mesurer la radioactivité partout sur le territoire québécois non seulement pour empêcher que la population consomme de la nourriture contaminée, mais aussi pour pouvoir demander des compensations financières en vertu du droit transfrontalier international.

Les USA ont déjà 2000 techniciens et ingénieurs qui parcourent tout leur territoire et mesurent la radioactivité, principalement pour dépister d'éventuelles activités malveillantes utilisant des bombes contenant des déchets radioactifs. Dans un Gentilly-2 transformé en laboratoire, il sera beaucoup plus facile de gérer la radioactivité, phénomène bien connu et prévisible, que d'opérer un réacteur CANDU qui fissionne l'uranium-235 et qui risque à tout moment de s'emballer et de tout casser. Fissionner l'uranium-235 est l'antithèse même du développement durable puisque les produits de fission ne redeviendront jamais de l'uranium mais seront des déchets radioactifs dangereux pour l'environnement pendant un million d'années.

Par ailleurs, un groupe important d'experts convoqués par la ministre fédérale des ressources naturelles, Mme Lisa Raitt, a reconnu en novembre 2009 les avantages sociaux que peuvent apporter des activités qui évitent de fissionner l'uranium. Au printemps 2009, la ministre Lisa Raitt avait mandaté un comité d'experts pour l'aviser sur la meilleure façon de produire des isotopes radioactifs pour la médecine nucléaire. Le comité comprenait Peter Goodhand, président de la Canadian Cancer Society, Richard Drouin, ancien président d'Hydro-Québec, Thom Mason, directeur de laboratoire au Oak Ridge National Laboratory dans le Tennessee, et Éric Turcotte, spécialiste en médecine nucléaire à l'Université de Sherbrooke. Leur rapport daté du 30 novembre 2009 est intitulé « *Report of the Expert Review Panel on Medical Isotope Production* ». Dans ce rapport le comité recommande à la ministre Raitt de construire un nouveau réacteur nucléaire à Chalk River qui serait utilisé principalement pour de la recherche en physique et en génie nucléaire, et aussi pour la production de molybdène-99, lequel génère du technétium-99m utilisé en médecine nucléaire. On se rappellera que le réacteur NRU à Chalk River, vieux de 52 ans, avait produit du molybdène-99 pendant longtemps jusqu'à ce qu'il tombe en panne au printemps 2009. Le nouveau réacteur remplacerait le NRU dans ses fonctions.

Cependant, ce qui est plus important est que le comité de Lisa Raitt a fortement recommandé au gouvernement fédéral d'encourager et de subventionner le développement plus poussé d'accélérateurs, notamment de cyclotrons, pour produire tous les isotopes radioactifs utilisés en médecine nucléaire. L'avantage des cyclotrons est de produire les isotopes voulus pour la médecine nucléaire sans produire de déchets radioactifs. Le fait de ne pas produire de déchets radioactifs dans l'option accélérateur a été souligné par le comité comme étant un avantage environnemental important. À la fin du sommaire exécutif de leur rapport, ils ont écrit :

« An important consideration is that this option does not produce nuclear waste, which results in economic and environmental benefits over fission-based options. »

Traduction (mon ajout entre crochets): *« Une considération importante est que l'option [accélérateur] ne produit pas de déchets radioactifs, ce qui entraîne des avantages économiques et environnementaux par rapport aux options fondées sur la fission. »*

Cette philosophie d'éviter la fission exprimée par un comité d'experts connaissant bien non seulement la technologie des réacteurs nucléaires mais aussi la médecine nucléaire, est très significative. Cette philosophie d'éviter la fission peut s'appliquer à la réfection de Gentilly-2 et de Point Lepreau. Dans le cas du Québec et du Nouveau-Brunswick d'énormes ressources éoliennes sont disponibles dans le golf du Saint-Laurent. En les exploitant on peut éviter la fission de l'uranium et éviter de produire des déchets radioactifs lesquels constituent un legs

coûteux et inéquitable envers les générations montantes et suivantes.

20. Les émissions de gaz à effet de serre

Les promoteurs de l'énergie nucléaire affirment depuis quelques années que les réacteurs ne produisent pas ou très peu de gaz à effet de serre (GES). Cette affirmation est vraie seulement si on ignore le fait que la construction d'un réacteur nucléaire, puis son démantèlement, et que l'extraction de l'uranium consomment des énergies fossiles et génèrent de grandes quantités de GES. Dans le numéro de novembre 2009 du Scientific American (pp. 58-65) les professeurs Mark Z. Jacobson et Mark Delucchi de l'université Stanford ont publié un article sur les énergies renouvelables dans lequel ils comparent le cycle complet de l'énergie nucléaire à celui de l'énergie éolienne. Ils mentionnent que dans les meilleurs cas, le cycle éolien génère 25 fois moins de GES que le cycle nucléaire. Du point de vue des changements climatiques il est clair qu'il est beaucoup mieux d'investir dans l'éolien.

21 Efficacité énergétique et potentiel éolien dans le golfe du Saint-Laurent

Plusieurs études, dont celle de Amory Lovins aux USA en particulier, ont montré que les investissements en efficacité énergétique se rentabilisent rapidement. Un livre qui fait une analyse de l'efficacité énergétique au Québec est celui du professeur Normand Mousseau de l'Université de Montréal (voir «*L'avenir du Québec passe par l'indépendance énergétique*», Éditions MultiMondes, 2009). En efficacité énergétique, le retour financier est souvent équivalent à payer l'électricité à 3 ou 4 cents le kilowattheure. D'autre part il est pertinent de noter qu'un kilowattheure qui est épargné au Québec par des mesures d'efficacité énergétique, peut se vendre sur les marchés ontarien et américain à un prix qui avoisine souvent 10 cents/kWh.

Pour ce qui est de l'avenir, on voit se développer rapidement aujourd'hui les véhicules hybrides électriques et électriques «*branchables*» (en anglais «*plug-in*»). Nous pouvons aspirer un jour, comme le fait la Suède, que la majorité du transport sera énergisée de façon électrique. Un autre grand domaine d'expansion est celui des maisons solaires. L'architecte québécois Christian Ouellet a construit des maisons dites «*passives solaires*» qui consomment 50% moins d'énergie électrique pour le chauffage que les maisons conventionnelles. En Europe, quelques projets ont démontré le concept d'une maison à consommation nette «zéro». Ce sont des maisons bien isolées qui font appel à des masses thermiques, ou géothermiques, pour le stockage d'énergie thermique, et qui sont équipées de panneaux solaires photovoltaïques. Les jours ensoleillés ces maisons envoient leur excédant d'énergie sur le réseau électrique. Plus les réseaux électriques deviendront «*intelligents*» («*smart grid concept*»), plus ces maisons deviendront populaires.

Le Québec possède un immense potentiel d'énergie éolienne. J'ai écrit un chapitre sur le potentiel éolien et solaire au Québec dans le livre intitulé «*Maîtres chez nous, 21^{ème} siècle*», Daniel Breton éditeur, publié en 2009 par la maison d'édition ID. Aux pages 154-155 j'ai calculé qu'en utilisant seulement 1 % du territoire québécois sur terre ou en mer, on pourrait doubler la production électrique d'Hydro-Québec. Le potentiel de la partie du golfe du Saint-Laurent qui est sous juridiction québécoise permettrait théoriquement de décupler la production électrique d'Hydro-Québec. Le Nouveau-Brunswick a aussi une grande partie du golfe du Saint-Laurent sous sa juridiction.

Pour ce qui est du cadre financier de la présente expansion de l'éolien au Québec il faut bien

réaliser qu'Hydro-Québec se contente de signer des contrats d'achat avec les promoteurs, et ce au niveau d'environ 9 cents/kWh. Si nous voulons atteindre l'indépendance énergétique au Québec, tel que propose Normand Mousseau ainsi que le livre «*Maîtres chez nous, 21^{ème} siècle*» (abréviation MCN21), il faudrait plutôt penser à confier le développement éolien à la division Production d'Hydro-Québec dans le cadre d'une réforme de la gouvernance de cette société d'état.

Dans le chapitre mentionné, je décris aussi le potentiel solaire électrique qui serait envisageable par le déploiement décentralisé de panneaux solaires photovoltaïques (PV). L'électricité solaire PV est dispendieuse au Québec en ce moment, de l'ordre de 40 cents/kWh. La Californie a 35% plus de soleil que le Québec et paye en ce moment 20 cents/kWh pour l'électricité conventionnelle. Le seuil de rentabilité sera traversé en premier en Californie. Cependant, pour des applications où le client exige d'être à l'abri des pannes prolongées d'électricité (exemple de la crise du verglas en 1998 au Québec), il est justifiable dès maintenant de déployer des panneaux solaires PV sur les toits, les terrains de stationnement, et sur tout autre terrain qui est sous-utilisé. Encore une fois je montre dans le chapitre du livre MCN21 que des panneaux PV couvrant seulement 1 % du territoire pourraient doubler la production électrique d'Hydro-Québec. Un réseau PV ainsi réparti sur le territoire servirait de système d'appoint quand le réseau principal est en panne. Le réseau PV pourrait être électriquement isolé du réseau d'Hydro-Québec quand c'est nécessaire, ou en tout temps pour certains clients.

22. Conclusion : non à la réfection, oui aux énergies renouvelables

L'argumentaire qui a été présenté conduit à la conclusion qu'un investisseur prudent se tiendra loin des réacteurs nucléaires CANDU à cause de leurs nombreux problèmes techniques et de leur non-rentabilité.

Au lieu d'enfourer des milliards de dollars dans des installations nucléaires dangereuses, obsolètes et de surcroît beaucoup trop chères, nous ferions bien mieux d'investir dans les énergies renouvelables, en particulier dans l'énergie éolienne que nous avons en abondance.

La très grande majorité des Québécois favorise cette approche écologique. Le gouvernement devrait en principe favoriser l'approche écologique puisqu'il a sanctionné en Assemblée nationale la *Loi sur le développement durable* le 19 avril 2006. Fissionner l'uranium n'est pas du développement durable, et ce n'est pas non plus une nécessité pour le Québec qui est doté de vastes ressources d'énergie renouvelable.

Une question de fierté entre en jeu ici. Accepterons-nous de léguer à la génération montante et aux générations suivantes des milliers de tonnes de déchets hautement radioactifs tous simplement pour maintenir à Gentilly-2 750 emplois sans changement ? Dans les 2500 tonnes de déchets radioactifs à Gentilly se trouvent assez de plutonium pour fabriquer des centaines de bombes atomiques avec le très efficace plutonium-239, lequel a une demi-vie de 25 000 ans. Est-ce qu'un tel legs aux générations montantes fait partie de la fierté québécoise ? Est-ce qu'un tel legs, doublé par la réfection envisagée, respecte le principe d'équité intergénérationnelle ?

Serons-nous fiers d'encourager n'importe quelle firme à refaire Gentilly-2 et Point Lepreau, pour aller ensuite propager cette technologie dans d'autres pays sur la planète ? Est-ce que la prolifération de la technologie nucléaire «*fait partie de notre ADN*», pour paraphraser la déclaration de notre premier ministre Jean Charest lors de l'inauguration de la centrale hydro-électrique Péribonka ? Voici la déclaration de Jean Charest le 10 décembre 2007 à Péribonka:

«Cela fait partie de notre ADN. Cela fait partie de qui on est politiquement. Cela remonte à très loin. Cela remonte à Adélard Godbout, qui a fondé Hydro-Québec».

Il se trouve que l'ADN est très vulnérable au rayonnement nucléaire. La radioactivité cause des cancers prématurés et des malformations congénitales. Nous avons intérêt à conserver le mieux possible l'intégrité de notre ADN.

Le développement durable doit en pratique dicter l'abandon au Québec de toute la filière d'énergie nucléaire, des mines d'uranium jusqu'à la fission de l'uranium. Les milliards de dollars qui ne seront pas gaspillés dans la filière nucléaire nous permettront de développer l'efficacité énergétique, les énergies renouvelables et la recherche dans ces domaines.