

**Examen du rapport intitulé**

*Exposure to Radiation and Health Outcomes*

**présenté en juin 2009 par Mark Lemstra**

**au Centre canadien de politiques alternatives (bureau de la Saskatchewan)**

**et à l'Association des infirmières de la Saskatchewan**

**Examen effectué**

**pour**

**l'Association nucléaire canadienne**

**par**

**Douglas Chambers**

**SENES Consultants limitée**

121 Granton Drive, Unit 12

Richmond Hill (Ontario)

L4B 3N4

Août 2009

## Sommaire

Le présent sommaire donne une vue d'ensemble de notre examen du rapport produit par Mark Lemstra (*Exposure to Radiation and Health Outcomes*). L'annexe ci-jointe renferme des commentaires détaillés et une bibliographie.

En résumé, il ressort de notre examen que l'étude de M. Lemstra est à la fois incomplète et trompeuse. Nous reconnaissons que les risques découlant de l'exposition aux rayonnements ionisants constituent un fait bien établi, mais les effets éventuels sont directement proportionnels à la dose reçue. Or, au lieu de présenter une étude épidémiologique objective fondée sur des données probantes comme il le prétend, l'auteur s'est limité à un examen superficiel de certains documents.

L'interprétation erronée du risque relatif excédentaire que fait Mark Lemstra à partir de sa propre étude épidémiologique pose particulièrement problème. Dans la section A de son rapport, il présente sous forme de pourcentage le risque relatif excédentaire découlant de l'exposition aux rayonnements ionisants en omettant toutefois de mentionner qu'il s'agit de facteurs de projection pour une dose de 1 sievert (Sv<sup>1</sup>) et non du risque relatif excédentaire proprement dit pour les doses réellement reçues, qui sont nettement inférieures à 1 Sv. L'auteur interprète ainsi de façon erronée les données épidémiologiques, car le risque relatif excédentaire auquel est exposé un groupe est fonction à la fois du facteur de projection du risque relatif excédentaire et de la dose reçue. Comme les doses qui présentent un intérêt pour notre examen sont moins élevées que la dose de 1 Sv utilisée dans les facteurs de projection, le risque relatif excédentaire pour les populations visées est inférieur aux facteurs de projection présentés par l'auteur.

Comme Mark Lemstra effectue une analyse très limitée des doses reçues, il ne peut estimer dans son rapport le risque relatif excédentaire pour les populations. En outre, l'auteur fait généralement abstraction du rayonnement émis par de nombreuses sources autres que les réacteurs nucléaires. Le rayonnement naturel omniprésent et les traitements médicaux représentent chacun environ 3 mSv

---

<sup>1</sup> Le gray (Gy) et le sievert (Sv) sont des unités de mesure des doses de rayonnement. Pour les besoins du présent examen, 1 Gy est considéré comme l'équivalent de 1 Sv.

par an en moyenne pour les populations des États-Unis et il y a tout lieu de croire que la valeur canadienne correspondante devrait être similaire, si bien que les doses à vie provenant de toutes les sources seraient de l'ordre de 500 mSv<sup>2</sup> (6 mSv par an X 80 ans) ou 0,5 Sv. Les doses moyennes reçues par la population en raison de la production électronucléaire aux États-Unis représentent environ 0,0005 mSv par an, soit moins de 1/1 000 de la dose moyenne de 3 mSv par an attribuable aux traitements médicaux. Les doses moyennes de 1,9 mSv par an reçues par les travailleurs du nucléaire se situent à l'intérieur des gammes de doses reçues par les professionnels de la santé et les pilotes d'avion aux États-Unis, c'est-à-dire respectivement 0,8 et 3,1 mSv par an. On peut constater que les doses moyennes reçues par la population en raison des réacteurs nucléaires représentent une petite fraction de celles attribuables aux traitements médicaux et que les travailleurs du nucléaire reçoivent des doses similaires à celles des personnes occupant d'autres types d'emplois.

Aux fins de l'illustration du risque relatif excédentaire présentée ci-après, nous estimons que la dose à vie se chiffre généralement à environ 40 mSv pour les travailleurs du nucléaire, soit en moyenne 1,9 mSv par an pendant 20 ans et que la dose à vie attribuable aux réacteurs nucléaires s'établit à environ 0,04 mSv pour la population, soit en moyenne 0,0005 mSv par an pendant 80 ans).

Dans la section A, M. Lemstra aurait dû souligner expressément que les risques présentés dans son rapport constituent des facteurs de projection du risque relatif excédentaire s'appliquant à tous les rayonnements, y compris les expositions médicales, et que le risque relatif excédentaire auquel sont exposés la plupart des gens est bien inférieur à ces niveaux. Par exemple, si l'on utilisait les facteurs de projection de 43 et de 81 % par sievert respectivement pour les hommes et les femmes, le risque relatif excédentaire moyen pour un travailleur ou une travailleuse du nucléaire recevant une dose à vie de 40 mSv serait respectivement de 2 et 3 %. Le risque relatif excédentaire moyen pour un membre de la population serait de 0,002 et 0,003 %. Les valeurs réelles du risque relatif excédentaire sont nettement inférieures aux facteurs de projection.

Par ailleurs, M. Lemstra laisse entendre dans la section A qu'il existe un lien entre de faibles doses de rayonnement et les maladies autres que le cancer, notamment les maladies cardiovasculaires. Toutefois, d'après le document qu'il cite lui-même (UNSCEAR 2006,

---

<sup>2</sup> 1 Sv = 1 000 mSv.

annexe B), on observe un risque accru de maladies circulatoires dans les cas où le cœur reçoit une forte dose de rayonnement et les données sont insuffisantes pour montrer un lien de cause à effet dans le cas de doses de rayonnement inférieures à 1 ou 2 Gy (1 ou 2 Sv). Autrement dit, rien ne prouve qu'il existe un risque de maladie autre que le cancer aux doses qui nous intéressent aujourd'hui, soit celles de l'ordre de quelques dizaines de millisieverts ou moins pour les travailleurs du nucléaire.

Dans la section B, Mark Lemstra analyse les risques pour les travailleurs du nucléaire. Il y cite une étude menée dans 15 pays et laisse entendre que le risque relatif excédentaire pour ces travailleurs atteint 97 % pour tous les types de cancer. Ici encore, il omet de mentionner qu'il s'agit d'un facteur de projection du risque relatif excédentaire par sievert. D'après la même étude, la dose moyenne pour les travailleurs du nucléaire visés se chiffrait en réalité à 19,4 mSv (0,0194 Sv); dans ce cas, le risque relatif excédentaire serait de 2 %. Il s'agit là d'un point important, car on observe un écart marqué entre les risques relatifs erronés avancés par M. Lemstra et les risques moyens mentionnés pour les travailleurs du nucléaire dans l'étude menée dans 15 pays. La plupart des gens ne verraient pas de la même manière une augmentation de 97 % ou de 2 %.

D'après Mark Lemstra, le risque pour un travailleur du nucléaire exposé à une dose inférieure à 100 mSv, soit la limite de dose actuelle pour cinq ans, serait de 151 %. C'est faux, car il a utilisé le facteur de projection et non la dose réelle pour exprimer le risque relatif excédentaire. Cette erreur porte atteinte à la crédibilité de son commentaire selon lequel les limites de dose actuelles sont trop élevées.

M. Lemstra signale par ailleurs l'effet marqué des données canadiennes dans l'étude menée dans 15 pays sur les risques de tous les types de cancer, sauf la leucémie. Les données canadiennes actuelles ne représentent qu'environ 4 % du taux de mortalité global, mais on obtient en les excluant un facteur de projection du risque relatif excédentaire environ 40 % moins élevé, soit 58 % au lieu de 97 %. Si l'on fait abstraction des données canadiennes, le facteur de projection du risque relatif excédentaire est similaire aux chiffres qui figurent dans les rapports sur les survivants des bombes atomiques et ceux d'UNSCEAR, mais l'écart n'est pas statistiquement significatif, en partie en raison des doses relativement faibles reçues par les travailleurs du nucléaire. Cet enjeu manifestement reconnu a suscité des préoccupations quant à la validité des données canadiennes

dans le cadre de l'étude menée dans 15 pays par le Centre international de recherche sur le cancer (CIRC). L'étude canadienne fait actuellement l'objet d'un examen pour déterminer la nature de l'anomalie, en particulier les problèmes dosimétriques.

Par ailleurs, M. Lemstra fait brièvement état de l'expérience des travailleurs du complexe nucléaire Mayak, passant toutefois sous silence le fait qu'il ne s'agit pas d'une centrale nucléaire, mais plutôt d'une installation de production d'armes au plutonium, ce qui est fort différent. Non seulement les doses de rayonnement externe étaient élevées, environ 0,5 Gy (0,5 Sv) en moyenne (Wakeford 2009), mais aussi de nombreux travailleurs auraient reçu de fortes doses internes. Bref, ce document n'est pas pertinent pour l'analyse des risques liés à l'énergie nucléaire.

La section C met l'accent sur le risque relatif excédentaire pour la population. Les études consacrées aux effets de la radioexposition sur les collectivités mentionnées par Mark Lemstra portent principalement sur les rejets accidentels de matières radioactives, par exemple aux centrales Tchernobyl et Three Mile Island ainsi qu'à proximité de la rivière Tetcha (il ne s'agit pas d'une centrale nucléaire). Les études qui s'intéressent à Tchernobyl et à la rivière Tetcha ne sont pas représentatives de l'exploitation normale de centrales nucléaires et les rejets mentionnés ne s'appliquent simplement pas à l'exploitation d'une centrale nucléaire en Saskatchewan. Un accident comme celui de Tchernobyl ne pourrait se produire avec un réacteur nucléaire moderne et il n'y avait aucun réacteur nucléaire à proximité de la rivière Tetcha – ces études ne sont donc pas pertinentes. Signalons que le suivi effectué à Three Mile Island n'a révélé aucun risque excédentaire. M. Lemstra a choisi de se reporter à l'étude de la leucémie infantile à proximité de deux réacteurs en Allemagne et en Angleterre, mais il omet de préciser que de nombreuses autres études portant sur des réacteurs nucléaires n'ont pas donné le même résultat. Un récent examen (Laurier et coll. 2008) indique que l'on observe localement certaines concentrations de cas de leucémie infantile, mais il conclut que les résultats fondés sur des études examinant plusieurs sites à proximité d'installations nucléaires ne révèlent globalement aucun risque accru.

Dans la section D, M. Lemstra souligne à juste titre que l'énergie nucléaire l'emporte sur d'autres filières de production d'électricité pour ce qui est de la santé publique et de la réduction des émissions de gaz à effet de serre. D'après son rapport, elle s'avère la plus avantageuse à la fois pour ce qui est du nombre de décès et de blessures graves, des émissions de CO<sub>2</sub> et des effets possibles

du réchauffement planétaire sur la santé. L'énergie nucléaire émet à peu près la même quantité de gaz à effet de serre que l'énergie solaire ou éolienne et, quoi qu'il en soit, elle convient mieux à la production d'électricité de base. Signalons que l'énergie nucléaire présente une « apparence » de risque, alors que les filières charbon et gaz naturel ont manifestement des effets sur la santé. D'ailleurs, M. Lemstra reconnaît qu'il y a « apparence » d'effets sur la santé. La promotion des sources de remplacement, comme l'énergie solaire, ne semble pas s'inscrire dans le contexte de l'examen global de la santé.

M. Lemstra signale dans la section E que les dépassements de coûts pourraient avoir une incidence sur les soins de santé. La décision de recourir à une centrale nucléaire pour produire de l'électricité représente un compromis entre la rentabilité (coût de l'énergie), y compris les éventuels dépassements de coûts, et les objectifs non financiers actuels, par exemple la réduction des émissions de gaz à effet de serre. Il faut aussi évaluer ces aspects pour d'autres filières (par exemple, la production d'électricité à partir d'énergie solaire coûte beaucoup plus cher que la production électronucléaire). On doit soigneusement prendre en compte les différents aspects pour choisir la production électronucléaire. D'après la section du rapport de M. Lemstra consacrée à la production d'électricité et à la santé, l'énergie nucléaire l'emporte sur les autres filières à ce chapitre. Cette analyse des dépassements de coûts constitue en grande partie une manœuvre alarmiste qui s'applique de manière limitée aux résultats liés à la santé.

L'enquête auprès des infirmières comporte une forte possibilité de biais pour deux raisons. Les risques relatifs excédentaires indiqués constituent en fait des facteurs de projection tirés des rapports d'UNSCEAR et des études menées dans plusieurs pays, lesquels surestiment considérablement le risque relatif excédentaire pour les doses attribuables à la production électronucléaire réellement reçues par les travailleurs du nucléaire et la population. Par exemple, pour la dose moyenne de 19,4 mSv, le risque relatif excédentaire serait de 2 % et non de 97 % pour l'étude menée dans 15 pays sur les travailleurs du nucléaire. Il est fort possible que les répondants à l'enquête auraient donné des réponses différentes si l'on avait présenté les risques réels en les situant dans un contexte impartial. Deuxièmement, l'enquête comportait seulement deux questions, ouvrant ainsi la voie à des biais de la part des répondants qui s'intéressent aux effets du rayonnement sur la santé.

En résumé :

- En analysant la radioexposition et les effets sur les résultats liés à la santé, l'auteur utilise à tort des facteurs de projection pour représenter les risques relatifs excédentaires et il ne reflète pas les risques sur la base de la dose reçue. Il induit ainsi le lecteur en erreur en l'amenant à croire que le rayonnement est plus dangereux que prévu. Les effets autres que le cancer, observables lorsque des patients reçoivent de fortes doses lors de traitements médicaux, sont peu probables aux doses reçues par la plupart des gens.
- Les données canadiennes présentées dans le cadre de l'étude menée dans 15 pays font actuellement l'objet d'un examen, car elles semblent anormales par rapport à celles des autres pays.
- Les études mentionnées concernant la radioexposition et les effets sur les habitants de collectivités, à Tchernobyl et à proximité de la rivière Tetcha, ne sont pas pertinentes pour la production électronucléaire en Saskatchewan. En effet, l'accident de Tchernobyl ne se produirait pas avec un réacteur moderne et il n'y avait aucun réacteur nucléaire à proximité de la rivière Tetcha.
- M. Lemstra cite une étude révélant un risque accru de leucémie infantile à proximité des centrales nucléaires. Or, selon le consensus qui se dégage à cet égard lorsque l'on prend en compte toutes ces études, il n'y a globalement aucun risque accru. Rien ne prouve que la population soit exposée à un risque accru.
- Dans la section de son rapport consacrée à la production d'électricité et à la santé, Mark Lemstra laisse entendre que l'énergie nucléaire présente des avantages par rapport aux autres filières de production au chapitre des effets sur la santé et de la réduction des émissions de gaz à effet de serre. Le but de cette section n'est pas clair et il semble bien que l'auteur considérait qu'elle n'était pas assez importante pour figurer dans le sommaire du rapport. Son rôle dans un rapport sur la radioexposition et les résultats liés à la santé n'est pas clair.
- La section consacrée aux répercussions des dépassements de coûts des projets nucléaires sur la santé de la population n'a pas non plus été jugée assez importante pour figurer dans le sommaire. Les répercussions des dépassements de coûts sur les soins de santé ne sont pas

indiquées clairement et une comparaison entre les différentes options devrait prendre en compte le coût net global lié à la fourniture d'électricité.

- La section portant sur la consultation auprès des infirmières et infirmières psychiatriques autorisées n'était pas jugée assez importante pour figurer dans le sommaire. La possibilité de biais était élevée, car l'auteur a présenté les facteurs de projection au lieu de la valeur estimative du risque relatif excédentaire pour les doses que pourrait générer un réacteur nucléaire moderne, ce qui a donné lieu à une surestimation considérable du risque. En outre, l'enquête comportait seulement deux questions, ouvrant ainsi la voie à des biais de la part des répondants qui s'intéressent aux effets sur la santé associés aux doses de rayonnement provenant des réacteurs nucléaires.

Ensemble, les facteurs de projection présentés à tort comme le risque relatif excédentaire proprement dit, l'exclusion des doses réelles, l'utilisation de documents non pertinents et la représentation incorrecte des articles scientifiques aboutissent à un rapport trompeur qui surestime le risque lié à la production électronucléaire. D'autres sources de radioexposition pour la population, notamment le rayonnement naturel, sont beaucoup plus importantes que la production électronucléaire.

## **ANNEXE : COMMENTAIRES DÉTAILLÉS**

Le risque relatif excédentaire varie selon que la dose reçue par une personne est plus ou moins forte, mais M. Lemstra fait abstraction de cet aspect très important. Les doses attribuables à d'autres sources sont beaucoup plus fortes que celles provenant des réacteurs nucléaires. Pour faciliter l'analyse du risque relatif excédentaire réel, nous avons déterminé par estimation les expositions que nous considérons comme « raisonnables ».

### *Point de vue sur les doses annuelles*

Les centrales nucléaires ne sont pas la seule source de rayonnement pour les travailleurs du nucléaire et la population. Le rayonnement naturel omniprésent attribuable aux matières radioactives d'origine naturelle et aux rayons cosmiques, qui représente en moyenne environ 3 mSv par an aux États-Unis (NCRP 160, 2009), et la dose moyenne liée aux traitements médicaux, qui se chiffre aussi à environ 3 mSv par an, donnent une dose moyenne totale de 6 mSv par an (NCRP 2009). La dose reçue par la population américaine en raison des activités industrielles (y compris la production électronucléaire), de la médecine nucléaire et de la recherche représente 0,003 mSv par an. La dose moyenne liée à la production électronucléaire représente 15 % de cette faible dose totale, comparativement à 84 % – au-delà de 5 fois plus – pour l'exposition des patients en médecine nucléaire et les activités médicales. La dose moyenne de 0,00045 mSv par an reçue par la population américaine qui vit à proximité d'un réacteur nucléaire (15 % de 0,003) est nettement inférieure au rayonnement naturel omniprésent ou aux doses attribuables aux traitements médicaux – elle représente le 10 000 de ces doses<sup>3</sup>.

Signalons qu'il y a des variations dans les doses reçues par les individus. Ainsi, on observe un écart appréciable selon le rayonnement naturel auquel chaque personne est exposée, lequel varie entre 0,5 et plus de 20 mSv par an, et les tomodensitométries abdominales ou pelviennes ou les angiographies cardiaques subies, qui représentent de 10 à 20 mSv par traitement. D'après le NCRP, les doses moyennes reçues par la population en raison des réacteurs nucléaires se chiffrent à

---

<sup>3</sup> Faute d'avoir accès à des données similaires pour le Canada, nous avons supposé que la situation observée aux États-Unis est raisonnablement comparable.

environ 0,00045 mSv par an et elles varient d'un individu à l'autre (valeur maximale de 0,01 mSv par an).

L'exposition professionnelle moyenne représente 3,1 mSv par an pour les employés du secteur de l'aviation, 0,8 mSv par an pour les professionnels de la santé et 1,9 mSv par an pour les travailleurs du nucléaire (tableau 8.1, NCRP 2009). Ces doses varient également d'une personne à l'autre au sein de ces secteurs.

La Commission canadienne de sûreté nucléaire (CCSN) a établi des limites de dose de 20 et 1 mSv par an respectivement pour protéger les travailleurs et la population (Gazette du Canada 2000). Les doses reçues par la plupart des individus sont bien inférieures à ces limites (par exemple, dans l'industrie nucléaire, la moyenne se chiffre à 1,88 mSv par an pour les travailleurs affectés à l'exploitation des réacteurs et à 3,26 mSv par an pour les radiographes industriels [Santé Canada 2008]), comparativement à la limite de 20 mSv par an pour les travailleurs du nucléaire en général. Les doses reçues par les travailleurs du nucléaire sont similaires à celles des employés du secteur de l'aviation et des professionnels de la santé.

#### *Dose à vie*

En termes simples, le risque relatif excédentaire varie selon le coefficient de dose et la dose totale. Rares sont les personnes qui reçoivent la même dose à vie à titre de travailleur sous rayonnement et de membres de la population. On s'attend à ce que peu de travailleurs atteignent 1 Sv, car ils devraient pour cela recevoir chaque année pendant 50 ans la dose maximale admissible. La plupart des travailleurs reçoivent une dose nettement inférieure à 20 mSv chaque année. Selon les estimations établies, on considère raisonnable que la dose à vie reçue par les travailleurs du nucléaire au Canada soit de l'ordre de dizaines de millisieverts.

## **COMMENTAIRES SECTION PAR SECTION**

En examinant le rapport Lemstra, nous n'avons pas cherché à analyser chaque déclaration qui y figure. Nous nous sommes plutôt efforcés de mettre en évidence les points qui nous semblent importants et de formuler des commentaires lorsque nous étions en désaccord avec l'interprétation

que fait M. Lemstra des documents de référence cités ou des conclusions qu'il en tire. Soulignons toutefois que son rapport renferme de nombreuses erreurs scientifiques mineures qui n'influent en rien sur nos principaux commentaires d'ordre général. En outre, dans les cas où nous jugions utile d'illustrer ou de préciser un point, nous avons cité des sources scientifiques supplémentaires.

Les commentaires énoncés ci-après renvoient aux différentes sections suivant l'ordre selon lequel elles sont présentées dans le rapport de Mark Lemstra.

### **Stratégie de recherche**

Nous sommes d'accord avec M. Lemstra sur le fait que les publications des organismes des Nations Unies soumises à un examen par les pairs, par exemple les rapports du Comité scientifique des Nations Unies pour l'étude des effets des rayonnements ionisants (UNSCEAR<sup>4</sup>), sont de très grande qualité. En outre, compte tenu du mécanisme d'examen d'UNSCEAR, nous estimons que les documents de cet organisme constituent les examens les plus détaillés qui soient de la littérature scientifique « de qualité ».

M. Lemstra mentionne qu'il a recensé 73 articles pertinents et qu'il en a retenu 22 à la lumière de l'évaluation de leur qualité scientifique. Ce sont les 22 documents qui figurent dans sa bibliographie. L'auteur n'explique malheureusement pas comment il s'y est pris pour évaluer la qualité des 73 articles pertinents.

#### **A. Radioexposition et effets sur les résultats liés à la santé**

Page 7, dernier paragraphe – M. Lemstra indique que le risque de cancer mettant en cause une tumeur solide se chiffrait à environ 5 % (479 cas) chez les survivants japonais des bombes atomiques. Signalons à cet égard que des efforts considérables ont été déployés pour déterminer la relation dose-réponse, comme en témoigne par exemple l'explication donnée à la section IV de l'Annexe A de UNSCEAR 2006 (*document n° 2* cité par M. Lemstra). Selon cette explication, le

---

<sup>4</sup> Comité scientifique des Nations Unies pour l'étude des effets des rayonnements ionisants (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation – UNSCEAR).

risque sera élevé uniquement si la population est soumise à une très forte exposition. En moyenne, la dose est beaucoup plus forte que celle reçue par les travailleurs du nucléaire ou la population.

Page 8, paragraphe 1 – L’auteur décrit le risque relatif excédentaire de cancer en utilisant les valeurs présentées aux tableaux 1 et 2 sans préciser qu’il s’agit de facteurs de projection pour une dose de 1 Sv et non du risque relatif excédentaire pour les doses réellement reçues par les individus, lesquelles sont nettement inférieures à 1 Sv. Une dose de 1 Sv est très forte : par exemple, comme la dose moyenne reçue va de 1,8 mSv par an pour l’ensemble des travailleurs du nucléaire à 4,33 mSv pour ceux affectés à la manutention du combustible, il leur faudrait respectivement une exposition constante pendant 500 ou 200 ans pour atteindre cette valeur (Santé Canada 2008). Pour une dose de l’ordre de 10 µSv par an (valeur maximale) ou moins attribuable aux réacteurs nucléaires, la population devrait être exposée pendant plus de 100 000 ans pour atteindre 1 Sv. De toute évidence, il est fort peu probable que quiconque reçoive une dose de 1 Sv par suite de l’exploitation normale de réacteurs nucléaires. Le risque relatif excédentaire serait donc nettement inférieur à son facteur de projection. En omettant de préciser que le risque relatif excédentaire mentionné constitue un facteur de projection par sievert, l’auteur induit grandement le lecteur en erreur, car il ne prend pas en compte les doses reçues et surestime par le fait même le risque relatif excédentaire pour la population. C’est pourquoi nous considérons que M. Lemstra présente une analyse trompeuse et qu’il faudrait la replacer dans son contexte, par exemple :

- Page 8, paragraphe 2 – Mark Lemstra fait état d’un risque relatif excédentaire de 43 % pour les hommes et de 81 % pour les femmes, mais il omet de mentionner que ces risques (statistiques) s’appliqueraient uniquement pour une dose de 1 Sv. Pour une dose plus réaliste, par exemple 20 mSv pour un travailleur du nucléaire, le risque relatif excédentaire correspondant se chiffrerait à 0,86 % pour les hommes et à 1,62 % pour les femmes et il serait encore moins élevé aux doses généralement reçues par les travailleurs du nucléaire. Le risque relatif excédentaire pour un individu qui vit à proximité d’un réacteur nucléaire serait nettement plus faible.
- Le tableau 1 (incidence du cancer) et le tableau 2 (taux de mortalité due au cancer) du rapport Lemstra indiquent un intervalle de confiance de 95 %, alors que les plages de valeurs indiquées correspondent en réalité à un intervalle de 90 % (par exemple, voir le tableau 19, UNSCEAR 2006, annexe A).

- Le tableau 3 du rapport Lemstra est incomplet. Il représente de façon trompeuse et dans certains cas incorrecte l'incidence du cancer pour l'étude sur la durée de vie (voir les tableaux 20 à 43, UNSCEAR 2006, annexe A, qui présentent des données sur l'incidence de différents types de cancer et le taux de mortalité connexe). L'auteur n'explique pas les éléments sur lesquels il s'est appuyé pour choisir les types de cancer figurant au tableau 3.
- Les tableaux 4 et 5 (page 10) font état respectivement de l'incidence de la leucémie et du taux de mortalité due à cette maladie. Le tableau 65 de l'annexe A d'UNSCEAR 2006 montre la valeur estimative du risque de leucémie à vie pour plusieurs modèles de projection du risque selon différentes doses, soit 0,01 Sv, 0,1 Sv et 1 Sv. De façon générale, le risque de leucémie à vie (par sievert) à de faibles doses (0,01 Sv, ou 10 mSv) est environ deux fois moins élevé qu'à une dose de 1 Sv.
- Page 10 – L'auteur signale qu'il existe un lien de cause à effet ténu entre de faibles doses de rayonnements ionisants et les maladies autres que le cancer, notamment les maladies cardiovasculaires. Il omet toutefois de présenter le contexte en ce qui concerne les doses auxquelles on observe ces effets. L'annexe B d'UNSCEAR 2006 examine des études épidémiologiques portant sur le risque de maladies autres que le cancer, notamment les maladies cardiovasculaires, lié à la radioexposition. Étant donné que les maladies circulatoires constituent la principale cause de décès chez les adultes dans le monde et qu'elles sont le plus souvent présentées dans les études épidémiologiques, les auteurs ont examiné ces maladies de façon approfondie. Une étude de suivi auprès des survivants japonais des bombes atomiques a commencé à révéler un lien entre les maladies autres que le cancer et de fortes doses de rayonnement. Historiquement, les patients cancéreux traités au moyen de fortes doses de rayonnement sur un champ étendu (par exemple ceux atteints du lymphome hodgkinien ou du cancer du sein) présentent un risque à long terme d'infarctus du myocarde, mais les radiothérapies modernes utilisent des techniques et des appareils perfectionnés pour réduire les doses reçues par les tissus non cancéreux.

D'après l'annexe B, les patients qui ont reçu de faibles doses de rayonnement (principalement de l'ordre de quelques grays) en raison de divers examens diagnostiques et thérapeutiques présentent des résultats plus variés et seulement certaines études révèlent une augmentation du taux de mortalité due aux maladies cardiovasculaires. Dans l'ensemble, malgré le risque accru de maladies circulatoires dans les cas où le cœur reçoit une forte dose

de rayonnement, l'annexe B conclut que les données sont insuffisantes pour montrer un lien de cause à effet entre les doses de rayonnement inférieures à 1 ou 2 grays et les maladies cardiovasculaires. Autrement dit, aucune donnée ne fait ressortir un risque de maladie autre que le cancer aux doses de l'ordre de quelques dizaines de millisieverts qui nous intéressent aujourd'hui.

## **B. Radioexposition et effets sur les résultats liés à la santé pour les travailleurs du nucléaire**

M. Lemstra signale les effets marqués des données canadiennes dans l'étude menée dans 15 pays par le Centre international de recherche sur le cancer (CIRC) (Cardis et coll. 2007) sur les risques de tous les types de cancer autres que la leucémie. Cette étude fait état d'une augmentation du taux de mortalité due à tous les types de cancer (risque relatif excédentaire de 0,97 par sievert et plage de valeurs de 0,28 à 1,77 selon un intervalle de confiance de 90 %). Si l'on exclut les données canadiennes, le risque relatif excédentaire est ramené à 0,58 % par sievert et les plages de valeurs vont alors de -0,10 à 1,39 selon un intervalle de 90 %. Sans les données canadiennes actuelles, qui représentent environ 4 % du taux de mortalité global, le facteur de risque diminue de 40 %. Le facteur de projection du risque relatif excédentaire déterminé au moyen des études restantes n'est pas significativement différent de zéro. Ce problème a été clairement reconnu et il a suscité des préoccupations concernant la validité de l'étude du CIRC. L'étude canadienne fait actuellement l'objet d'un examen pour déterminer la nature de l'anomalie, en particulier les problèmes dosimétriques.

Les commentaires ci-après donnent un échantillon plus vaste, quoique limité, des documents cités sur les risques auxquels sont exposés les travailleurs du nucléaire.

Pour estimer le risque lié à la radioexposition des travailleurs, on utilise la même information que pour les autres populations potentiellement exposées, c'est-à-dire le suivi effectué pendant plus de 50 ans auprès des survivants des bombes atomiques d'Hiroshima et de Nagasaki (Preston 2003). Les survivants ont été exposés à une gamme de doses et ce sont principalement les résultats d'études portant sur ces individus qui servent de base pour l'estimation du risque lié à la radioexposition. Leur expérience concorde avec une relation linéaire dose-réponse pour le risque de

la plupart des types de cancer combinés et une relation linéaire quadratique dose-réponse pour la leucémie.

Nombre d'études portant sur les travailleurs de différentes installations ou de petits groupes d'installations ont été publiées (par exemple Gilbert et coll. 1989; Wing et coll. 1991; Kendall et coll. 1992; Gilbert et coll. 1993; Carpenter et coll. 1994; Cardis et coll. 1995; Frome et coll. 1997; Muirhead et coll. 1999; Shilnikova et coll. 2003), mais elles sont généralement trop limitées pour présenter des facteurs de projection du risque relatif excédentaire statistiquement significatifs. En 1988, le CIRC a lancé une étude dans plusieurs pays sur les travailleurs du nucléaire, mais l'efficacité statistique prévue représente un peu moins de la moitié de celle de l'étude portant sur les survivants des bombes atomiques. Son premier rapport, qui porte sur des installations dans seulement trois pays, a révélé une augmentation statistiquement significative uniquement pour la leucémie, mais avec une grande marge d'erreur pour tous les résultats (Cardis et coll. 1995). Compte tenu des limites inhérentes à ces erreurs aléatoires, les travailleurs du nucléaire ne sont pas exposés à un risque différent de celui estimé pour les survivants des bombes atomiques.

L'étude publiée en 2007 par Cardis et coll. donne une estimation du risque dû au rayonnement établie à partir de l'étude conjointe menée dans 15 pays sur les travailleurs du nucléaire. Cette étude a révélé un lien statistiquement significatif entre la dose de rayonnement et le taux de mortalité toutes causes confondues, principalement parce que la dose fait augmenter le taux de mortalité due au cancer. Le risque de mortalité due au cancer, qui augmente en même temps que la dose de rayonnement, était légèrement plus élevé lorsque l'on prenait en compte la population canadienne mais statistiquement compatible avec les estimations établies à partir des données sur les hommes adultes ayant survécu aux bombes atomiques. Cardis et coll. (2007) signalent aussi que la valeur estimative du risque de leucémie augmente, mais non de façon significative.

Les documents de référence ultérieurs cités (par exemple Vrijheid et coll. 2007a et b ainsi que Vrijheid et coll. 2008) donnent des renseignements supplémentaires sur cette cohorte. Vrijheid et coll. (2007a) expliquent les méthodes épidémiologiques et les résultats de l'analyse descriptive de l'étude menée dans 15 pays. Vrijheid et coll. (2007b) font état de maladies autres que le cancer et concluent que l'étude menée dans 15 pays ne présente guère de données témoignant d'un lien entre la dose de rayonnement et les maladies autres que le cancer. Enfin, Vrijheid et coll. (2008), qui se

penchent sur la question du risque de leucémie lymphoïde chronique (LLC), concluent pour leur part que l'étude menée dans 15 pays ne renferme guère de données montrant un lien entre les doses de rayonnement externes et le taux de mortalité due à la LLC.

En grande partie en raison du vaste Fichier dosimétrique national du Canada et de son registre du cancer, plusieurs études épidémiologiques ont été publiées sur les risques liés à la radioexposition propres aux travailleurs canadiens, mais leur efficacité statistique est forcément moins grande que celle de l'étude du CIRC. En 1993, Gribbin et coll. ont présenté une étude du taux de mortalité due au cancer chez les travailleurs d'Énergie atomique du Canada limitée (EACL). Or, cette étude n'a révélé aucune augmentation statistiquement significative du nombre de décès liés au cancer, mais les incertitudes concernant les valeurs estimatives du risque n'excluaient pas les risques estimés pour les survivants des bombes atomiques. Ashmore et coll. (1998) ainsi que Sont et coll. (2001) ont fait état des risques de mortalité due au cancer (et à d'autres maladies) et d'incidence du cancer (et d'autres maladies), respectivement dans la grande cohorte des travailleurs sous rayonnement inscrits dans le Fichier dosimétrique national. Ce fichier comprend beaucoup de travailleurs en dehors de l'industrie nucléaire et les doses de rayonnement moyennes sont faibles, si bien que ces études sont plus susceptibles de comporter un biais. Les deux études ont révélé des risques de cancer significativement élevés, plus grands que ceux présentés, par exemple, par Cardis et coll. (1995) et pour les survivants des bombes atomiques. Gilbert (2001) a formulé des commentaires sur les explications possibles de ces écarts. Par ailleurs, après avoir analysé le taux de mortalité des travailleurs du nucléaire canadiens en utilisant les mêmes données, Zablotska et coll. (2004) ont constaté, contrairement aux résultats de l'étude du CIRC (Cardis et coll. 2007), une surincidence peu significative des types de cancer mettant en cause une tumeur solide et de la leucémie, les risques n'étant pas différents de ceux estimés à partir des données sur les survivants des bombes atomiques. Des études de suivi sont en cours sous les auspices de la Commission canadienne de sûreté nucléaire (CCSN) pour mieux comprendre les raisons à l'origine de l'écart observé.

Les risques autres que les risques personnels de cancer chez les travailleurs du nucléaire canadiens ont été étudiés mais de façon limitée. McLaughlin et coll. (1993a) ont examiné l'exposition professionnelle des pères aux rayonnements ionisants et le risque de leucémie chez leur progéniture. Contrairement à un rapport antérieur publié au Royaume-Uni (Gardner et coll. 1990), ces auteurs n'ont trouvé aucune donnée témoignant de ce risque chez les travailleurs canadiens.

Green et coll. (1997) ont analysé le risque d'anomalies congénitales chez les enfants des travailleurs d'Ontario Hydro exposés aux rayonnements ionisants dans le cadre de leur emploi. Aucun lien n'a été observé entre ce risque et l'exposition des parents (principalement le père) avant la conception mais, comme le signalent les auteurs, la capacité de détecter ce risque s'avère très limitée dans un échantillon de population aussi petit.

Wakeford (2009) a résumé un grand nombre de ces études. Leur capacité à détecter les écarts par rapport à l'incidence du cancer attribuable au rayonnement naturel est forcément limitée, mais les résultats des études concordent généralement avec ceux portant sur les survivants des bombes atomiques et corroborent la radioprotection professionnelle en fonction du risque prescrite par la CCSN.

En résumé, l'exposition des travailleurs du nucléaire canadiens aux rayonnements ionisants entraîne peut-être un risque minime de surincidence du cancer qui augmente en même temps que la dose, principalement d'après les résultats d'une étude de suivi détaillée menée auprès des survivants des bombes atomiques larguées en 1945. Pour la plupart des travailleurs, le risque est toutefois faible et comparable à celui observé dans d'autres industries sécuritaires.

### **C. Radioexposition et effets sur les habitants de collectivités**

Mark Lemstra décrit l'accident de Tchernobyl et les pratiques du passé (que l'on ne peut appliquer aux exemples actuels) de la rivière Tetcha. Quoique intéressants, ces scénarios ne sont tout simplement pas pertinents pour une centrale nucléaire en Saskatchewan et ses éventuels effets sur la santé.

Comme l'indique l'auteur, l'étude portant sur Three Mile Island ne révèle aucune augmentation du risque en raison de la fonte partielle du cœur du réacteur. Le suivi s'est échelonné sur 20 ans.

Mark Lemstra cite deux études qui révèlent une corrélation entre la distance et la surincidence de la leucémie infantile. Les auteurs de l'étude allemande précisent que le lien était imprévu compte tenu des faibles doses reçues, c'est-à-dire moins de 1/1 000 à 1/10 000 de l'exposition au rayonnement naturel (Katsch et coll. 2008). On ne sait pas précisément si la corrélation découle en partie de

facteurs confondants ou si elle est le fruit du hasard. Selon d'autres études, en particulier un examen récent de la leucémie chez des enfants vivant à proximité d'installations nucléaires, il existe certaines concentrations de cas de leucémie infantile, mais les résultats obtenus à l'issue d'études portant sur plusieurs sites à proximité d'installations nucléaires n'indiquent globalement aucun risque accru (Laurier et coll. 2008).

#### **D. Production d'électricité et santé**

L'information présentée par M. Lemstra dans cette section montre en fait les avantages de l'énergie nucléaire au chapitre des effets sur la santé par rapport aux filières gaz naturel ou charbon et elle fait état d'émissions de gaz à effet de serre moins élevées que pour toute autre technologie. Ainsi, les centrales nucléaires semblent avoir moins d'effets sur la santé que les autres filières de production d'électricité. Malheureusement, l'analyse n'aborde pas le coût de l'énergie produite, ce qui aurait permis une véritable comparaison pour déterminer la « meilleure » filière en mettant dans la balance le coût, les effets sur la santé et les émissions de gaz à effet de serre.

Cette analyse détourne l'attention des effets de l'énergie nucléaire sur la santé et elle ne devrait pas figurer dans le rapport Lemstra.

#### **E. Dépassements de coûts**

Le lien entre les effets sur la santé et les dépassements de coûts n'est pas expliqué clairement. Les dépassements peuvent influencer sur le budget du gouvernement, mais le nucléaire atténue les effets sur la santé par rapport aux autres filières comme le montre M. Lemstra dans la section D. Selon les circonstances, même en cas de dépassements de coûts, la réduction des coûts de santé pourrait l'emporter sur la réduction des services de santé attribuable à ces dépassements.

#### **F. Consultation auprès des infirmières et infirmières psychiatriques autorisées**

La section consacrée à l'enquête auprès des infirmières renferme des renseignements trompeurs, car Mark Lemstra n'a pas défini les paramètres de mesure du risque relatif excédentaire. Tout indique que les risques relatifs excédentaires constitueraient en fait des facteurs de projection pour une dose de 1 Sv et qu'ils ne reflètent pas la radioexposition type. Ainsi, la dose moyenne reçue par les

travailleurs exposés à de faibles doses chroniques se chiffrent à 19,4 mSv (d'après le tableau 9 du rapport Lemstra), ce qui donnerait un risque relatif excédentaire estimatif de 2 % pour ces travailleurs ( $97 \% \times 19,4/1\ 000$ ). M. Lemstra fait état pour ce groupe d'un risque relatif excédentaire 50 fois plus élevé.

L'auteur présente le risque de leucémie sans prendre en compte les nombreuses études qui ne montrent aucun lien à cet égard et le consensus selon lequel ce risque n'est globalement pas élevé. Ces conclusions sont fondées sur un nombre relativement faible de cas de cancer comparativement à la plupart des études.

Le biais de réponse à cette enquête pourrait être important, car le questionnaire comportait seulement deux questions et la réponse pouvait être fortement déterminée par les préjugés des répondants (822 répondants sur 3 043). Il est possible que les personnes ayant une opinion sur ces deux questions aient été davantage portées à participer à l'enquête. Le biais aurait été moins important si ces questions avaient été posées dans le cadre d'une enquête en renfermant plusieurs.

## **BIBLIOGRAPHIE**

Ashmore, J.P., D. Krewski, J.M. Zielinski, H. Jiang, R. Semenciw et P.R. Band 1998. « First Analysis of Mortality and Occupational Radiation Exposure Based on the National Dose Registry of Canada », *American Journal of Epidemiology*, 148, p. 564 à 574.

Cardis, E., M. Vrijheid, M. Blettner et coll. 2007. « The 15-Country Collaborative Study of Cancer Risk Among Radiation Workers in the Nuclear Industry: Estimates of Radiation-Related Cancer Risks », *Radiation Research*, 167, p. 396 à 416.

Cardis, E., E.S. Gilbert, L. Carpenter, G. Howe et coll. 1995. « Effects of Low Doses and Low Dose Rates of External Ionizing Radiation: Cancer Mortality Among Nuclear Industry Workers in Three Countries », *Radiation Research*, 142, p. 117 à 132.

Carpenter, L., C. Higgins, A. Douglas, P. Fraser, V. Beral et P. Smith 1994. « Combined Analysis of Mortality in Three United Kingdom Nuclear Industry Workforce 1946-1988 », *Radiation Research*, 138, p. 224 à 238.

Comité scientifique des Nations Unis pour l'étude des effets des rayonnements ionisants (UNSCEAR) 2006. *Effects of Ionizing Radiation, volume I*, Rapport 2006 à l'Assemblée générale et annexes scientifiques.

Frome, E.L., D.L. Cragle, J.P. Watkins, S. Wing, C.M. Shy, W.G. Tankersley et C.M. West 1997. « A Mortality Study of Employees of the Nuclear Industry in Oak Ridge, Tennessee », *Radiation Research*, 148, p. 64 à 80.

Gardner, M.J., M.P. Snee, C.A. Powell, S. Downes et J.D. Terrell 1990. « Results of a Case-Control Study of Leukemia and Lymphoma Among Young People Near Sellafield Nuclear Plant in West Cumbria », *British Medical Journal*, 300 (7622), p. 423 à 429.

Gazette du Canada 2000. « Règlement sur la radioprotection », *Gazette du Canada*, partie II, vol. 134, n° 13.

Gilbert, E.S. 2001. « Invited Commentary: Studies of Workers Exposed to Low Doses of Radiation », *American Journal of Epidemiology.*, 153, p. 319 à 322.

Gilbert, E.S., D.L. Cragle et L.D. Wiggs 1993. « Updated Analysis of Combined Mortality Data on Workers at the Hanford Site, Oak Ridge National Laboratory and Rock Flats Nuclear Weapons Plant », *Radiation Research*, 136, p. 408 à 421.

Gilbert, E.S., S.A. Fry, L.D. Wiggs, G.L. Voelz, D.L. Cragle et G.R. Petersen 1989. « Analysis of Combined Mortality Data on Workers at the Hanford Site, Oak Ridge National Laboratory and Rock Flats Nuclear Weapons Plant », *Radiation Research*, 120, p. 19 à 35.

Green, L.M., L. Dodds, A.B. Miller, D.J. Tomkins, J. Li et M. Escobar 1997. « Risk of Congenital Anomalies in Children of Parents Occupationally Exposed to Low Level Radiation », *Occupational and Environmental Medicine*, 54, p. 629 à 635.

Gribbin, M.A., J.L. Weeks et G.R. Howe 1993. « Cancer Mortality (1956-1985) Among Male Employees of Atomic Energy of Canada Limited with Respect to Occupational Exposure to External Low-Linear-Energy-Transfer ionizing Radiation », *Radiation Research*, 133, p. 375 à 380.

Katsch, P., C. Spix, R. Shultze-Rath, S. Schmiedel et M. Blettner 2008. « Leukaemia in Young Children Living in the Vicinity of German Nuclear Power Plants », *International Journal of Cancer*, 1220, p. 721 à 726.

Kendall, G.M. et coll. 1992. « Mortality and Occupational Exposure to Radiation: First Analysis of the National Registry for Radiation Workers », *British Medical Journal*, 304, p. 220 à 225.

Laurier, D., S. Jacob, M. O. Bernier et coll. 2008. « Epidemiological Studies of Leukaemia in Children and Young Adults around Nuclear Facilities: A Critical Review », *Radiation Protection Dosimetry* (accès préalable), p. 1 à 9.

McLaughlin, J.R., W.D. King, T.W. Anderson, E.A. Clarke et J.P. Ashmore 1993a. « Paternal Radiation Exposure and Leukemia in Offspring: the Ontario Case-Control Study », *British Medical Journal*, 307, p. 959 à 966.

Muirhead, C.R. et coll. 1999. « Occupational Radiation Exposure and Mortality: Second Analysis of the National Registry for Radiation Workers », *Journal of Radiological Protection*, 19, p. 3 à 26.

National Council on Radiation Protection and Measurements (NCRP) 2009. *Ionizing Radiation Exposure of the Population of the United States. Recommendations of the National Council on Radiation Protection and Measurements*, rapport n° 160 du National Council on Radiation Protection and Measurements des États-Unis.

Preston, D.L., Y. Shimizu, D.A. Pierce, A. Suyama et K. Mabuchi 2003. « Studies of Mortality of Atomic Bomb Survivors. Report 13: Solid Cancer and Non-cancer Mortality: 1950-1997 », *Radiation Research*, 160, p. 381 à 407.

Santé Canada 2008. *Rapport de 2007 sur les radioexpositions professionnelles au Canada*.

Shilnikova, N.S. et coll. 2003. « Cancer Mortality Risk Among Workers at the Mayak Nuclear Complex », *Radiation Research*, 159, p. 787 à 798.

Sont, W.N., J.M. Zielinski, J.P. Ashmore, D. Krewski, M.E. Fair, P.R. Band et E.G. Létourneau 2001. « First Analysis of Cancer Incidence and Occupational Radiation Exposure Based on the National Dose Registry of Canada », *American Journal of Epidemiology*, 153, p. 309 à 324.

Vrijheid M., E. Cardis, P. Ashmore et coll. 2008. « Ionizing Radiation and Risk of Chronic Lymphocytic Leukemia in the 15-Country Study of Nuclear Industry Workers », *Radiation Research*, novembre, 170(5), p. 661 à 665.

Vrijheid M., E. Cardis, M. Blettner et coll. 2007a. « The 15-Country Collaborative Study of Cancer Risk Among Radiation Workers in the Nuclear Industry: Design, Epidemiological Methods and Descriptive Results », *Radiation Research*, avril, 167(4), p. 361 à 379.

Vrijheid M., E. Cardis, P. Ashmore et coll. 2007b. « Mortality from Diseases Other than Cancer following Low Doses of Ionizing Radiation: Results from the 15-Country Study of Nuclear Industry Workers », *International Journal of Epidemiology*, octobre, 36 (5), p. 1126 à 1135.

Wakeford, R. 2009. « Radiation in the Workplace – A Review of Studies of the Risks of Occupational Exposure to Ionising Radiation », *Journal of Radiological Protection*, 29 mai, p. A61 à A79.

Wing, S., M.D. Shy, J.L. Wood, S. Wolf, D.L. Cragle et E.L. Frome 1991. « Mortality Among Workers at Oak Ridge National Laboratory », *Journal of the American Medical Association*, 265, p. 1397 à 1402.

Zablotska, L.B., J.P. Ashmore et G.R. Howe 2004. « Analysis of Mortality Among Canadian Nuclear Power Industry Workers After Chronic Low-Dose Exposure to Ionizing Radiation », *Radiation Research*, 161, p. 633 à 641.