

L'énergie solaire est-elle plus dangereuse que l'énergie nucléaire?*

par Herbert Inhaber

Prenez une centrale nucléaire massive, étroitement gardée et entourée de fils de fer barbelés. Comparez-la à un simple panneau solaire qui, placé sur un toit, capte allégrement et silencieusement la lumière du soleil. Lequel des deux systèmes de production d'énergie est le plus dangereux pour la santé et la sécurité des hommes? Y a-t-il le moindre doute dans votre esprit? Si la réponse était un "non" catégorique, les choses pourraient en rester là et cet article n'aurait pas vu le jour. Or, les recherches faites montrent que la réponse devrait s'orienter vers un "peut-être" moins péremptoire certes, mais probablement plus exact.

Comment est-ce possible? Prenons un autre exemple. Deux véhicules circulent sur une route. Le premier est un gros camion et le second une petite Mini. Lequel des deux est le plus rentable? Je n'ai pas dit le plus gros mais bien le plus rentable. Il est facile d'évaluer le rapport entre leurs dimensions mais, pour ce qui est de leur rentabilité, il faut tenir compte de la consommation d'essence, de la distance parcourue et de la charge transportée.

La morale de l'histoire? On ne peut juger des risques relatifs d'un système de production d'énergie simplement par sa taille ou par son apparence redoutable. Il faut déterminer le risque par unité d'énergie, c'est-à-dire le risque total qu'il présente pour la santé des hommes, divisé par la quantité nette d'énergie produite. C'est la seule méthode qui permette de comparer équitablement deux systèmes de production d'énergie.

En outre, il faut tenir compte du cycle d'énergie *dans sa totalité*, et non d'un élément isolé. Si l'on évalue le risque présenté par une partie seulement du système et qu'on le compare avec la partie correspondante d'un autre système, on peut, en choisissant judicieusement l'élément en question, prouver de tout système de production d'énergie qu'il présente plus (ou moins) de risques qu'un autre. Ce qui revient à dire que l'on ne prouve rien.

On peut se demander pourquoi la Commission de contrôle de l'énergie atomique, principal organisme normatif en matière d'énergie d'origine nucléaire au Canada, s'intéresse à cette question. Elle s'efforce au mieux de réduire le plus possible le risque nucléaire, mais il ne lui incombe pas de réglementer les autres formes d'énergie. La réponse est simple: la Commission étudie les risques que présente l'énergie d'origine nucléaire, mais les résultats auxquels elle aboutit seront plus significatifs si on les place dans leur contexte. Autrement dit, déclarer que l'énergie d'origine nucléaire entraîne la perte d'un certain nombre de journées de travail par mégawatt-année n'est guère évocateur pour le profane. En revanche, savoir que le chiffre indiqué est le double ou la moitié de ce qu'il est pour d'autres systèmes énergétiques est beaucoup plus parlant.

M. Inhaber est conseiller scientifique auprès de la Commission de contrôle de l'énergie atomique, Ottawa (Canada).

* Cet article a d'abord paru dans le "New Scientist", hebdomadaire de sciences et techniques publié à Londres.

Il est relativement facile de calculer la production nette d'énergie. Mais comment calculer le risque total? C'est précisément à ce problème que s'attache la comptabilité des risques.

La plupart de ceux qui s'occupent des questions d'énergie ont entendu parler de comptabilité énergétique. Ce prolongement de l'art comptable consiste à faire la somme de toute l'énergie requise par les différents éléments d'un système afin de déterminer les besoins totaux en énergie. Ainsi, une centrale électrique fonctionnant au charbon a besoin de X kWh d'énergie pour l'extraction de chaque tonne de charbon, de Y kWh pour la pose de chaque kilomètre de rails nécessaire à son transport, de Z kWh pour la construction de chaque turbine, etc. Une fois déterminée la somme des apports d'énergie nécessaires, on peut la comparer avec le chiffre de la production.

La comptabilité des risques repose sur les mêmes principes. Toutes les sources de risques sont évaluées en fonction des accidents mortels, des blessures ou des maladies qu'elles provoquent. Pour cela, on évalue non seulement la phase finale de la production d'énergie, mais encore les phases initiales et intermédiaires. Par exemple, dans les deux cas mentionnés au premier paragraphe, on évaluera les risques que comporte l'extraction du sable, du cuivre, du fer, du charbon, de l'uranium et autres matières premières indispensables, ainsi que les risques inhérents à leur transformation en verre, en tubes de cuivre, en barres de combustible, en acier et tous autres éléments nécessaires. Il convient d'y ajouter les risques que présentent le transport du matériel, la fabrication des éléments et ceux, plus évidents encore, que comportent la construction et l'exploitation d'une centrale nucléaire ou d'un panneau solaire.

En réalité, sous diverses formes, on fait depuis longtemps déjà de la comptabilité des risques. C'est ainsi que, dans un article de l' "*Annual Review of Energy*" publié en 1976 et qui a fait époque, C.L. Comar et L.A. Sagan ont comparé l'énergie d'origine nucléaire à celle qu'on obtient à partir du charbon, du pétrole et du gaz naturel, en fonction des risques par unité d'énergie inhérents à chacune de ces sources. Ils ont constaté, après avoir fait la somme des principaux risques présentés par chacun de ces modes de production, que les centrales nucléaires sont beaucoup moins dangereuses que les centrales thermiques ou les centrales au mazout. D'autres études, antérieures et postérieures, confirment ces conclusions.

Cependant, ceux qu'inquiète le nucléaire ou même qui le dénoncent, préconisent rarement le retour au charbon et aux villes enfumées que nous avons tous connues il y a un quart de siècle. En général, ils proposent plutôt de recourir à des techniques dites "de substitution", "douces" ou "non classiques", telles que celles qui utilisent l'énergie solaire ou éolienne, les différences de température dans les couches de l'océan, le méthanol, l'énergie géothermique et toute une gamme d'autres possibilités. La question qui se pose alors est la suivante: quels risques présente chacune de ces techniques par comparaison avec les modes de production classiques, tels ceux qui sont fondés sur le charbon, le mazout et le nucléaire?

Les résultats de notre bilan sont pour le moins surprenants. Ils montrent que, compte tenu de toutes les sources de risques, les modes de production classiques l'emportent nettement sur les autres du point de vue de la sûreté. Ces résultats sont présentés sous forme graphique à la figure 1. L'axe vertical indique le nombre total de jours de travail perdus, tant par les travailleurs eux-mêmes que par le public, du fait des accidents mortels, des blessures ou des maladies, par unité nette d'énergie produite et pour chacun des types de production. Pour tenir compte à la fois des issues fatales et des incapacités temporaires, on a attribué à chaque accident mortel un nombre arbitraire de journées de travail perdues (6000).

C'est l'électricité produite à partir du gaz naturel qui, des onze modes de production envisagés (cinq classiques et six autres), présente le moins de risques: environ deux fois

moins que celui qui vient immédiatement après, savoir le nucléaire. Au troisième rang figure un mode de production non classique: l'énergie thermique des océans qui peut transformer en électricité les différences de température entre les diverses couches de l'océan. La plupart des autres modes de production non classiques présentent des risques beaucoup plus élevés. Toutefois, ce sont le charbon et le pétrole qui, avec des risques environ 400 fois supérieurs à ceux du gaz naturel, viennent en tête.

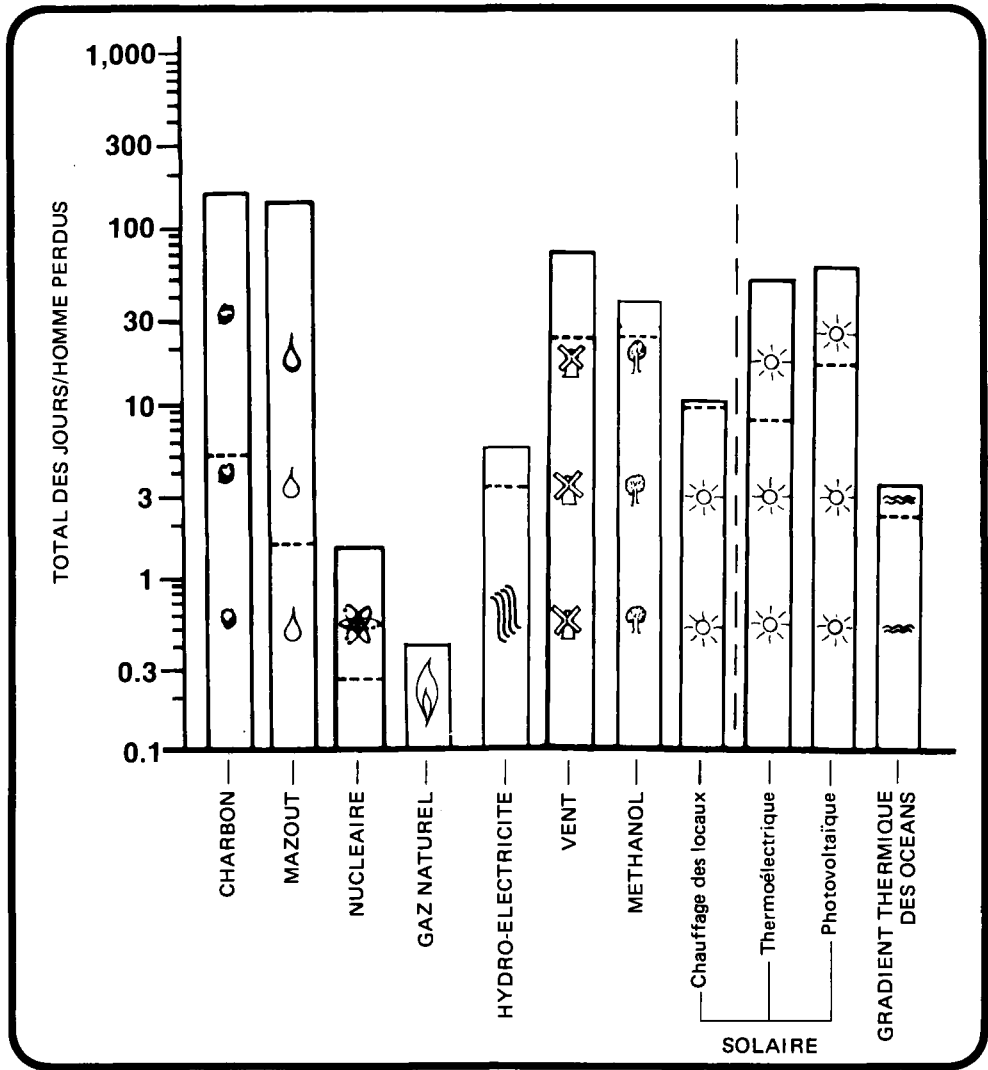


Figure 1. Risque total par production unitaire d'énergie (un mégawatt-an) pour 11 systèmes énergétiques. A chaque système correspond une gamme de valeurs. Les maxima correspondent au sommet des rectangles, les minima aux lignes horizontales en pointillé. Le gaz naturel a une gamme très étroite. Les rectangles situés à droite de la ligne verticale en pointillé correspondent à des systèmes qui ne semblent pas devoir être utilisés au Canada avant longtemps. L'échelle est logarithmique.

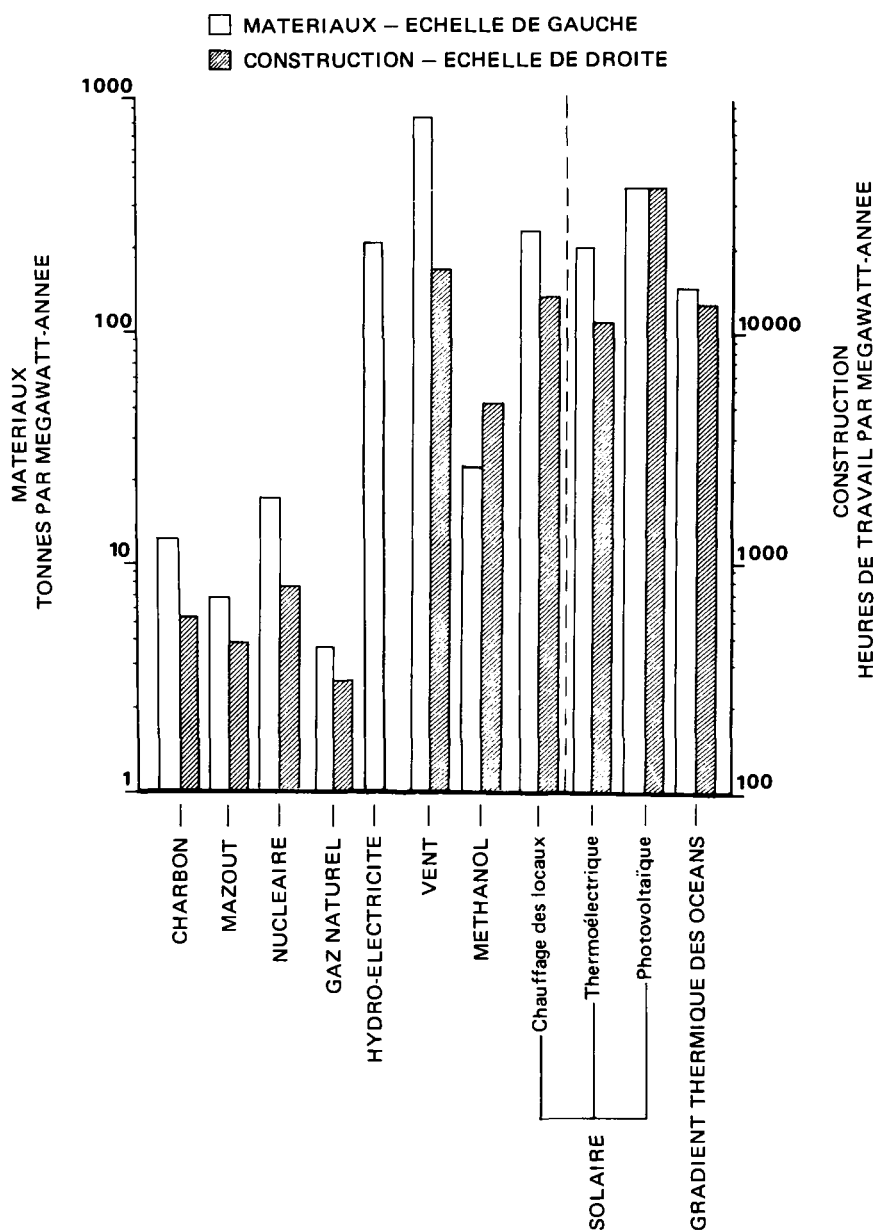


Figure 2. Les quantités de matériaux et de temps de construction sont supérieures pour les systèmes non classiques que pour les systèmes classiques (cinq premiers à partir de la gauche). Le gaz naturel est le plus économique sous ces deux rapports. L'énergie éolienne exige le plus de matériaux et l'énergie solaire photovoltaïque le plus de temps de construction. Le rapport des valeurs les plus élevées aux valeurs les plus faibles se situe, dans chaque catégorie, entre 100 et 200. Il n'est guère probable que les systèmes situés à droite de la ligne verticale en pointillé soient utilisés avant longtemps au Canada en raison du climat.

Plus il y a de matériel utilisé, plus il y a de risques

Quelles sont les raisons qui sont à l'origine de cette surprenante classification? Elles sont exposées en détail dans un rapport récent*. La principale raison pour laquelle les systèmes non classiques présentent des risques relativement élevés est la grande quantité de matériel et de main-d'œuvre qu'ils exigent par unité d'énergie produite. Mais alors, pourquoi l'énergie solaire exigerait-elle plus de matériel que le charbon ou le mazout? C'est en raison du caractère diffus de l'énergie captée: l'énergie solaire et l'énergie éolienne sont faibles et exigent d'importants systèmes de captage et de stockage afin d'en amasser une quantité suffisante. Les systèmes à base de charbon, de mazout ou les systèmes nucléaires partent de formes d'énergie concentrée, ce qui par conséquent exige un appareillage plus restreint. Cet argument simpliste omet certes de nombreuses considérations de moindre importance, mais il se trouve qu'en général il se révèle exact. La figure 2 donne les résultats de ces calculs.

La grande quantité de matériel requise par les systèmes non classiques implique d'énormes efforts industriels pour l'extraction et le raffinage des matières premières, pour la fabrication et la construction des installations de captage et de stockage ainsi que de tous les équipements qu'ils exigent. Toute forme d'activité industrielle s'accompagne de risques que l'on peut retrouver dans les statistiques des accidents du travail établies par des organismes nationaux. Une fois tous les calculs faits, on s'aperçoit que les risques correspondant aux systèmes non classiques de production d'énergie peuvent être importants.

Ce qui soulève un problème intéressant. Bien qu'on les qualifie de non classiques, ces systèmes présentent des risques qui proviennent surtout de sources tout à fait classiques. En d'autres termes, le risque que présente une éolienne n'est pas qu'une de ses pales se détache et vous tombe sur la tête, pas plus que le risque que présente le chauffage solaire n'est celui que vous tombiez du toit au moment où vous mettez la dernière main à son installation. Ces risques sont de nature plus terre à terre: ce sont ceux que présentent l'extraction du charbon, du fer et des autres matières premières, et leur transformation en acier, en cuivre et en verre.

Le risque global, comme le montre la figure 1, peut être divisé en deux catégories: risque professionnel et risque pour le public. Le risque professionnel est celui auquel sont exposés ceux qui jouent un rôle dans la production et l'exploitation d'un système énergétique; le risque pour le public est celui auquel sont exposés tous les autres. Du fait des différentes combinaisons de matériel et de main-d'œuvre que comporte chaque système, le classement dans les deux catégories de risques peut n'être pas le même que pour le risque global. Le tableau 1 donne des éléments concernant chacune de ces deux catégories.

Pour ce qui est des risques professionnels, c'est le gaz naturel qui, pour la production d'électricité, présente le moins de risques, suivi de près par les combustibles nucléaires. Ces risques professionnels englobent notamment ceux que comportent les travaux de forage, la construction des gazoducs, l'établissement des réseaux de distribution, etc. Les risques correspondant au charbon sont beaucoup plus élevés. Si les risques encourus par heure passée dans la mine ne sont guère différents pour les mineurs de charbon et les mineurs d'uranium, la quantité d'énergie que ces derniers produisent par heure de travail est très supérieure en sorte que le risque professionnel par unité d'énergie est beaucoup plus faible. Les risques professionnels remarquablement élevés que présente le méthanol sont essentiellement dus à un facteur: l'abattage des arbres. Au Canada, comme partout ailleurs, c'est là une profession qui comporte un taux d'accidents élevé. Or, pour les usines de méthanol, les plans prévoient l'abattage de grandes quantités de bois, si bien que le risque sera élevé en proportion.

* *Risk of Energy Production*, 1978, No AECB-1119. Atomic Energy Control Board, P.O. Box 1046, Ottawa (Canada), K1P 5S9.

Tableau 1. Risque exprimé en jours/homme perdus par production unitaire d'énergie

	Professionnels	Pour le public
Charbon	73	2010
Mazout	18	1920
Nucléaire	8,7	1,4
Gaz naturel	5,9	—
Gradient thermique des océans	30	1,4
Vent	282	539
Solaire		
Chauffage des locaux	103	9,5
Thermoélectrique	101	510
Photovoltaïque	188	511
Méthanol	1270	0,4

Toutefois, en ce qui concerne le risque pour le public, l'emploi de méthanol pour produire de l'électricité vient au second rang parmi les procédés ayant le taux le plus faible après le gaz naturel. Pour autant qu'on le sache, la combustion du méthanol s'accompagne d'une pollution de l'air faible, voire nulle, si bien que le risque pour le public est voisin de zéro. En revanche, la plus grande partie du risque élevé pour le public que présente la combustion du charbon et du pétrole vient de la pollution de l'air.

Comment des techniques non classiques comme celles qui utilisent le vent ou la chaleur solaire (châteaux d'énergie) peuvent-elles présenter d'importants risques pour le public? La réponse est simple. La production des métaux nécessaires à de nombreuses techniques non classiques exige que l'on brûle du charbon, qui entraîne une pollution de l'air, laquelle à son tour aura des effets sur la santé publique. Le risque pour le public provient aussi du système d'appoint auquel il faut avoir recours lorsque le soleil se cache ou que le vent ne souffle pas.

On pourrait rétorquer que l'on remonte trop loin dans l'analyse de ces deux sources, que le charbon et le minerai de fer et d'autres matières premières sont trop éloignés de la production d'énergie proprement dite pour jouer un rôle en comptabilité des risques. Et pourtant, le rôle des matériaux de base dans l'analyse est important. Si l'on a besoin d'électricité, il faut construire des centrales nucléaires ou des fours solaires. Pour construire les usines ou les fours solaires, il faut extraire, raffiner, fabriquer et installer les matières premières et intermédiaires, les éléments et les produits finis. Nous ne pouvons éviter le risque en en faisant fi, simplement parce qu'il menace quelqu'un d'autre.

Le système de production d'électricité qui, de loin, soulève les controverses les plus graves à propos des risques qu'il présente, est sans aucun doute celui qui fait appel à l'énergie d'origine nucléaire. Dans une étude du genre de celle que nous présentons ici, nous ne pouvons passer en revue tous les arguments pour et contre l'énergie d'origine nucléaire qui ont été exposés notamment dans des rapports comme l'étude de 4000 pages publiée par Rasmussen sur la sûreté des réacteurs (WASH-1400). Nous avons préféré étudier les principaux rapports parus dans des publications scientifiques qui avaient pour objet de

présenter une évaluation du risque nucléaire et, notamment, une monographie écrite par un critique nucléaire bien connu, John Holdren, de l'Université de Berkeley (Californie). Pour chaque élément de risque, nous avons pris le chiffre le plus élevé publié dans les sources scientifiques. Si nous avons retenu cette méthode qui n'a été adoptée pour aucun autre système de production d'énergie, c'est pour que l'on ne puisse pas nous soupçonner de nourrir un de ces préjugés pro-nucléaires qui obscurcissent si souvent la discussion.

Calcul des risques

Nous ne pouvons examiner ici en détail la méthode employée — on en trouvera l'exposé dans le rapport complet de l'Office canadien de l'énergie atomique. Toutefois, comme l'acquisition et la fabrication du matériel nécessaire à certains systèmes énergétiques comportent des risques importants, il pourrait être utile de les passer rapidement en revue. Supposons que l'extraction de X tonnes de charbon ou de tout autre matériau nécessaire à la production d'une unité nette d'énergie exige Y années/homme. Si le nombre de jours/homme perdus par an est Z, le nombre de jours/homme perdus par unité d'énergie produite est YZ/X . On calcule de la même manière le nombre de jours/homme par unité d'électricité produite et les risques que présentent certaines professions telles que les travaux mécaniques, le bâtiment, l'exploitation et l'entretien des systèmes envisagés. Nous calculons de la même manière le risque que présente chaque élément du système et nous les additionnons pour déterminer le risque total. Ces calculs, qui ne font pas appel de hautes mathématiques ou à des modèles compliqués, exigent seulement que l'on sache additionner et multiplier.

Ce type de calcul suppose évidemment que l'on dispose de certaines données: le temps nécessaire à la production d'une unité; les taux d'accidents du travail mortels ou non et de maladies professionnelles; la durée de la construction et les matières premières nécessaires aux opérations industrielles. Bien que l'on ne possède pas d'informations absolument précises sur chacune de ces données, elles sont néanmoins suffisamment connues pour une étude d'ordre général comme celle que nous présentons ici. Etant donné que l'on a appliqué les mêmes méthodes de calcul à tous les systèmes, on a pu réduire à un niveau très faible les erreurs qui auraient pu être commises par inadvertance. Il a été fait appel à d'autres méthodes pour calculer les risques provenant d'autres sources, telles que les transports, la pollution de l'air et l'évacuation des déchets. Tout a été fait pour s'assurer que l'on avait traité aussi également que possible chacun des systèmes énergétiques considérés.

Contrairement à ce que pensent certains, les risques pour la santé (et les conséquences qu'ils entraînent) par unité d'énergie provenant de sources non classiques, telles que le soleil et le vent, semblent bien être supérieurs à ceux que présentent les sources classiques, telles que l'électricité produite à partir du gaz naturel ou l'énergie nucléaire. Il y a au moins deux raisons à ces sortes d'erreurs: en premier lieu, nous avons tendance à ne pas tenir compte de toutes les phases du cycle de l'énergie mais seulement de la dernière, c'est-à-dire de la plus visible; et en second lieu, nous oublions que les risques doivent être comparés en fonction des unités d'énergie produites.

Les conclusions présentées ci-dessus ont des incidences qui dépassent le domaine de l'énergie. Nombreux sont ceux qui préconisent une décentralisation des systèmes énergétiques pour des raisons aussi bien politiques qu'économiques. Les risques qu'entraînent les impératifs matériels propres à ces systèmes suffiraient à eux seuls à en faire écarter le choix. Ni moi-même ni l'Office canadien de contrôle de l'énergie atomique ne proposons d'utiliser ou d'écarter un système énergétique quelconque. Toutefois, pour accepter ou refuser de façon raisonnable les techniques exigées par tel ou tel système, nous devons connaître les risques qu'elles comportent.