

Le pont entre la radioprotection et la sûreté radiologique: Le contrôle des expositions probabilistes

Etude de l'évolution des méthodes communes de sûreté

par A.J. González et G.A.M. Webb

L'opérateur de l'installation d'irradiation des produits alimentaires était assis, très détendu, face au pupitre, avec derrière lui un épais mur de béton. Il se savait bien protégé contre le faisceau de rayonnement traversant ce mur. La protection était assurée par «le système de limitation des doses» recommandé par la Commission internationale de protection radiologique (CIPR) et adopté par la plupart des autorités nationales et des organisations internationales. Une impressionnante série de normes, de guides et de recommandations ont été élaborés dans le monde entier pour la mise en œuvre du système de la CIPR. L'AIEA en a, à elle seule, publié plus d'une centaine. L'opérateur savait que, par l'application de ces prescriptions, les principaux éléments du système de la CIPR étaient pris en considération dans le monde entier.

Toutefois, ce système bien au point ne supprime pas tous les risques potentiels d'irradiation. Calculé à partir d'hypothèses concernant les effets sur la santé des faibles doses de rayonnement émises à de faibles débits, le risque d'irradiation estimé d'après des données radio-épidémiologiques sur les personnes exposées à des débits de dose relativement élevés est de l'ordre de 1/100 000 par millisievert de dose subie. Le débit de dose à l'extérieur du blindage est tel que quiconque s'y trouverait en permanence ne recevrait pas plus de quelques millisieverts. La dose reçue par l'opérateur était plus faible. Au cours de l'année écoulée, il avait reçu une dose accumulée d'une fraction de millisievert et, par conséquent, le risque qu'il avait couru pendant cette année était inférieur à 1/100 000. Il comprenait que cette quantité était négligeable, de loin inférieure à celle d'autres risques qu'il courait tous les jours. Il était satisfait de ses conditions de travail et il ne doutait pas qu'avec le système de protection il n'avait rien à redouter de la source de rayonnement.

M. González est chef de la Section de radioprotection de la Division de la sûreté nucléaire et M. Webb est secrétaire du Conseil national de protection radiologique du Royaume-Uni. Les opinions exprimées dans les présent article sont leurs opinions personnelles et ne reflètent pas nécessairement celles des organisations auxquelles ils appartiennent.

Sur le pupitre qu'il surveillait, l'opérateur vit apparaître une lumière clignotante indiquant que quelque chose fonctionnait mal à l'intérieur de l'irradiateur: le système de transport des produits alimentaires était en panne et il lui fallait pénétrer dans cette enceinte pour le réparer. Conformément à ses instructions écrites, il appuya sur les touches de commande pour isoler la source en l'immergeant dans le bassin prévu à cet effet. Sur l'écran, un voyant lui indiqua que la manœuvre était

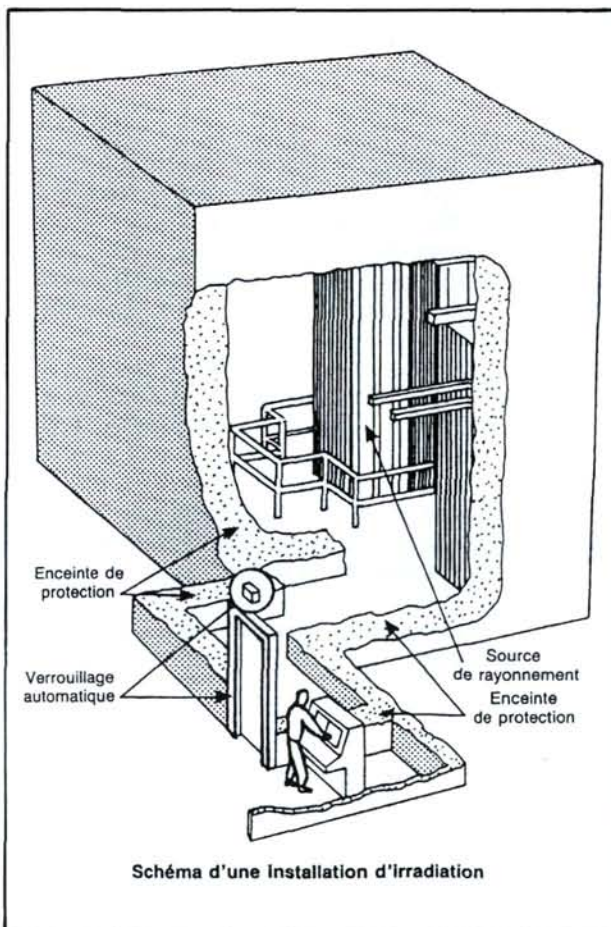


Schéma d'une installation d'irradiation

accomplie. Il pouvait alors ouvrir la porte et pénétrer à l'intérieur de l'enceinte pour procéder à la réparation. A ce moment, toutefois, quelques questions lui vinrent à l'esprit — la source était-elle réellement immergée? Le mécanisme d'arrêt avait-il fonctionné correctement comme prévu? En cas de défaillance, il savait qu'à l'ouverture de la porte un autre dispositif de sûreté solidaire de la porte isolerait de toute manière la source. Et si ce système de sûreté ne fonctionnait pas lui non plus? Il serait alors gravement atteint par une très forte irradiation. Il haussa les épaules — pourquoi s'inquiéter à propos d'une chose aussi improbable? Avec confiance, l'opérateur pénétra dans l'enceinte. Ne lui avait-on pas dit que les systèmes de sûreté étaient du dernier modèle éprouvé, construits selon de bonnes normes techniques? Une surexposition accidentelle était quasiment impossible.

«Impossible» est un mot que les scientifiques répugnent à employer. Ils préfèrent désigner la possibilité d'apparition d'un phénomène par son degré de certitude (ou d'incertitude), lequel s'exprime par une quantité appelée «probabilité». Prenons les deux cas possibles d'irradiation indiqués ci-dessus. Dans l'un, la certitude existe qu'une exposition se produira et qu'il s'ensuivra une probabilité de *dommage radiologique* due à cette exposition. Dans l'autre cas, il y a simplement une *probabilité* que l'exposition aura lieu mais, si elle se produisait réellement, selon le niveau de dose, il peut y avoir certitude d'un *dommage radiologique*. Dans un cas comme dans l'autre, il est possible d'évaluer le risque*: alors que, dans le premier cas, le risque est proportionnel à la dose, dans le second, il est proportionnel au produit de la probabilité de l'exposition par la dose. On doit pouvoir contrôler le degré du risque à l'aide de moyens techniques**. Ainsi, dans le premier cas, le système de contrôle est la protection contre les rayonnements et la paramètre de contrôle est l'épaisseur du blindage. Dans la second cas, le système de contrôle est le dispositif de verrouillage automatique et le paramètre de contrôle est sa fiabilité.

La discipline appelée radioprotection a trait normalement au premier type de situation. Le second type est habituellement étudié par les spécialistes de la sûreté.

Le présent document expose l'évolution des méthodes de sûreté communes appliquées à ces deux types de situations. Si on arrive à une méthode commune cohérente et homogène, il y aura une bonne coordination entre la radioprotection et la sûreté.

Situations impliquant des expositions aux rayonnements

On peut penser à trois types de situations pour les scénarios possibles d'exposition aux rayonnements:

- situations prévues dans lesquelles l'exposition des personnes est concertée et supposée certaine (il s'agit de la probabilité égale à l'unité ou à une valeur très voisine)
- situations qui peuvent être prévues mais dont l'apparition n'est pas certaine; toutefois, si elles se présentent, elles seront à l'origine de l'exposition des personnes
- situations (de fait) qui peuvent avoir été prévues ou non mais qui, si elles se présentent, ne permettent qu'une action corrective.

La protection contre les rayonnements ionisants repose normalement sur les recommandations de la Commission internationale de protection radiologique (CIPR). Ces recommandations ne sont pas spécifiques des scénarios auxquels elles s'appliquent. Toutefois, dans la pratique, elles ont été suivies pour le premier scénario et, en partie, pour le troisième. Elles sont surtout appliquées dans les situations qui présentent des conditions d'expositions supposées se produire de façon certaine. On les appellera dans le présent document expositions «certaines». Ce terme couvre en gros les expositions qui dans la pratique sont dites «normales» et les expositions dues à des «opérations de routine». Les recommandations n'ont pas dans la pratique été suivies pour le deuxième scénario, c'est-à-dire pour les expositions dont la probabilité est inférieure à l'unité. On les a qualifiées dans le présent article de «probabilistes».

Les normes nationales et internationales fondées sur les recommandations de la CIPR en tiennent implicitement compte*.

Expositions «certaines»: politique de protection

Pour les expositions «certaines», la CIPR recommande un système de limitation des doses qui contient les prescriptions coordonnées ci-après**: a) aucune pratique ne sera adoptée si elle ne se traduit pas par un avantage positif (*justification d'une pratique*); b) toutes les expositions seront maintenues au niveau le plus bas qu'il est raisonnablement possible d'atteindre, compte tenu des facteurs économiques et sociaux (*optimisation de la radioprotection*); et c) l'équivalent de dose aux personnes ne devra pas dépasser les limites recommandées dans les circonstances pertinentes par la CIPR (*limitation des doses individuelles*).

* Par exemple, les *Normes fondamentales de radioprotection* de l'AIEA, de l'Organisation internationale du Travail (OIT), de l'Organisation mondiale de la santé (OMS) et de l'Agence pour l'énergie nucléaire de l'Organisation de coopération et de développement économiques (AEN/OCDE) distinguent des circonstances de radioexposition de deux types différents, à savoir: i) les circonstances dans lesquelles la radioexposition est prévue et peut être limitée par une intervention sur la source et par l'application du système de limitation des doses (conditions normales d'exposition); ii) les circonstances dans lesquelles la source de rayonnement échappe à tout contrôle de sorte que la radioexposition éventuelle ne peut être limitée (si tant est qu'elle puisse l'être) que par des mesures correctives ... (conditions anormales d'exposition). Les conditions i) s'appliquent clairement à ce qui est appelé dans le présent document les situations impliquant des expositions «certaines», et peuvent s'appliquer en partie aux situations prévues. Les conditions ii) s'appliquent aux situations qui se sont produites. Les *Normes fondamentales*, dans leur ensemble, s'appliquent aux conditions i), et quelques dispositions générales seulement peuvent être étendues aux conditions ii).

** *Recommendations of the International Commission on Radiological Protection*, publication de la CIPR n° 26, *Annals of the ICRP*, vol. 1, n° 3, Pergamon Press, Oxford (1977).

* Le mot «risque» désigne ici la probabilité d'un dommage grave dû à l'exposition au rayonnement.

** Le mot «contrôle» est utilisé pour désigner une limitation et non une maîtrise ou une vérification.

Il est intéressant d'analyser ces trois principes fondamentaux de politique applicables aux expositions certaines sous l'angle d'une éventuelle extension aux expositions «probabilistes».

Justification de la pratique. Cette prescription énonce simplement que, pour autoriser une pratique impliquant des rayonnements, les avantages escomptés doivent l'emporter sur le préjudice. A noter, toutefois, que les incidences n'en ont pas encore été analysées à fond, ni par la CIPR, ni par d'autres organismes. De plus, en passant du cadre limité des expositions certaines au champ plus vaste des expositions probabilistes, l'application pratique du principe de justification se complique. Pour quelques scénarios, la probabilité peut être très faible, mais si le scénario se réalise, les effets peuvent être sérieux. On voit mal comment englober ces situations dans une évaluation de la justification.

Optimisation de la protection. La CIPR a utilisé ce terme pour exprimer son intention de faire en sorte que toutes les doses soient maintenues au niveau le plus bas qu'il est raisonnablement possible d'atteindre (ALARA), compte tenu des considérations sociales et économiques*. Il est regrettable qu'il aient été nombreux à en faire un synonyme de l'analyse coûts-avantages. Il est bien spécifié que la réalisation de l'optimisation n'exige pas forcément la mise en œuvre d'une méthode particulière d'aide à la prise de décisions, telle l'analyse coûts-avantages, et que l'optimisation peut être obtenue par toute méthode appropriée, y compris l'intuition et le bon sens*. Cette conception plus large de l'optimisation est essentielle pour que les principes d'optimisation puissent s'appliquer hors du cadre limité des situations impliquant des expositions «certaines».

Limites de dose individuelle. Ces limites sont recommandées par la CIPR pour des expositions «certaines» dues à des sources artificielles de rayonnement. En fixant les limites, la CIPR a toutefois reconnu l'action que peuvent avoir les expositions «probabilistes». Si on avait omis le scénario de ces expositions, les valeurs numériques des limites auraient été différentes.

Puisque les limites de doses s'appliquent aux individus et qu'un même individu peut être exposé à plusieurs sources, tant la CIPR que l'AIEA ont aussi recommandé l'application de *plafonds de doses*. Pour une source unique, le plafond est fixé à une fraction de la dose limite s'appliquant à l'exposition totale due à toutes les sources.

Expositions «probabilistes»

On a vu que le système de la CIPR de limitation des doses vaut pour toutes les situations dans lesquelles l'exposition des personnes est prévue et la source peut être contrôlée. Bien que les principes soient universels, ils ne peuvent convenir sous leur forme actuelle pour le contrôle des sources qui peuvent ou non causer des expositions. De là vient que, pour les expositions

«probabilistes», le système de la CIPR n'est pas directement applicable, mais les principes sur lesquels il repose pourraient être adaptés pour être utilisés. A cette fin, un système devrait s'appuyer sur la probabilité et sur le contrôle des doses et non sur le seul contrôle des doses.

De fait, toutes les situations prévues dues à des sources de rayonnement impliquent des expositions «certaines» tout autant que des expositions «probabilistes». L'importance relative des deux modalités peut très fortement différer selon les sources mais, en principe, les deux doivent être prises en compte pour toutes les sources. Dans une situation théorique, il n'apparaît pas toujours clairement comment établir une distinction entre les deux modalités, mais il n'est pas trop difficile de résoudre le problème pour une source déterminée. Ainsi, une exposition périodique peut être due à divers incidents qui ne sont pas liés. Si la fréquence de ces incidents demeure raisonnable, on pourrait être tenté de qualifier l'exposition de «certaine», alors que, si les incidents sont rares, l'exposition pourrait être rangée dans la catégorie «probabiliste».

Les valeurs propres à la source sous l'angle de la sûreté différeront selon le scénario envisagé. Pour les scénarios impliquant des expositions «certaines», la valeur à prendre est la distribution de la dose, habituellement déterminée par la dose reçue par l'individu le plus exposé et la dose collective émanant de la source. Ces valeurs suffisent généralement pour les faibles doses à prévoir en période de fonctionnement normal: le supplément de dose reçu par les individus est supposé causer un dommage supplémentaire proportionnel et, par conséquent, la dose individuelle étant une mesure du dommage, ou risque, individuel, la dose collective est devenue une mesure du dommage global à prévoir. Dans le cas des expositions «probabilistes», il est aussi possible de déterminer une probabilité de dommage ou de risque individuel. A cette fin, on combine la probabilité de réception de la dose et la probabilité de dommage induit par cette dose. Il s'ensuit qu'une distribution probabiliste des conséquences est également possible.

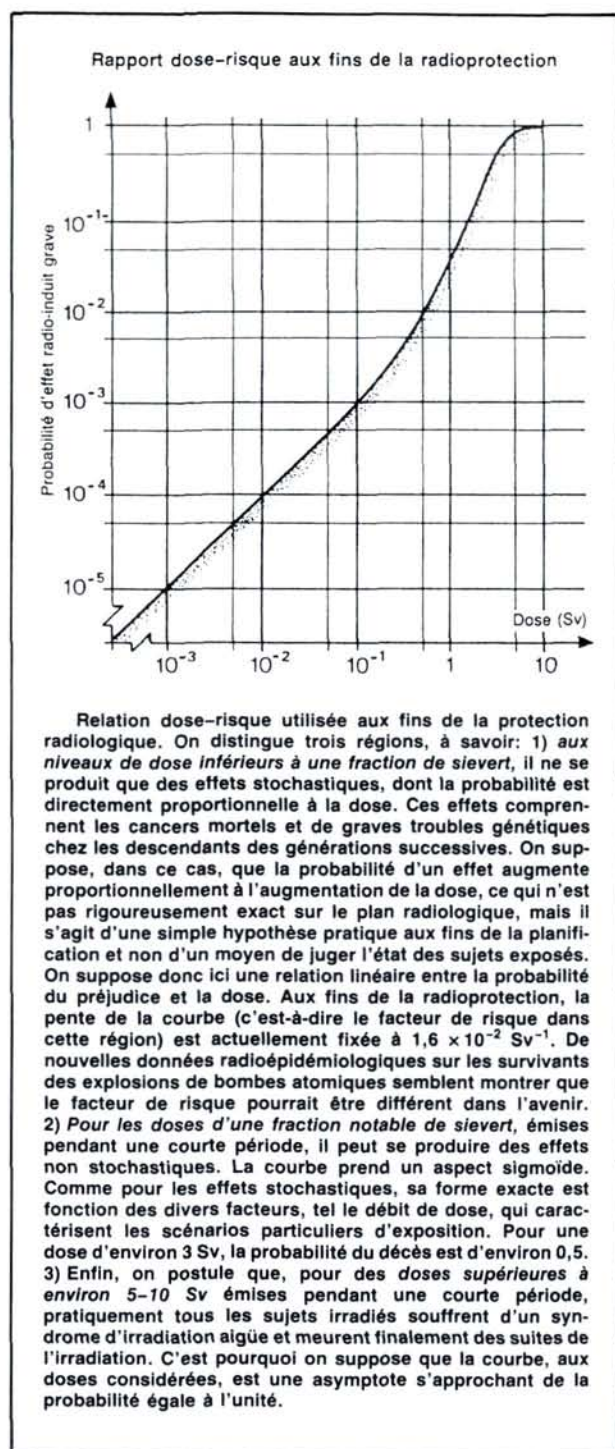
Contrôle des expositions «certaines» et «probabilistes»: évolution parallèle

Quelques procédures d'évaluation et de contrôle des expositions probabilistes ont été élaborées parallèlement à celles des principes fondamentaux de la radioprotection et, dans une certaine mesure, indépendamment. Les objectifs de la sûreté radiologique ont été conçus au niveau national pour quelques sources d'expositions probabilistes — notamment pour les réacteurs de puissance — et un consensus international au sujet de quelques principes de sûreté nucléaire paraît se dégager*. Des procédures d'évaluation et de contrôle concernant le stockage des déchets ont aussi commencé par être élaborées séparément, mais elles sont actuellement adaptées par extension et développement des recommandations fondamentales de la CIPR en vue de traiter la question des déchets**. On a suggéré une

* *Cost benefit analysis in the optimization of radiation protection*, publication de la CIPR n° 37, *Annals of the ICRP*, vol. 10, n° 2/3, Pergamon Press, Oxford (1983).

* *Basic safety principles for nuclear power plants*, IAEA Safety Series 75-INSAG-3, IAEA, Vienna (1988).

** *Radiation protection principles for the disposal of solid radioactive waste*, publication de la CIPR n° 46, *Annals of the ICRP*, vol. 15, n° 5, Pergamon Press (1985).



approche unifiée du contrôle dans tous ces domaines de préoccupation, prévoyant des principes communs pour une action logique et cohérente dans les cas d'expositions régulières et potentielles. Pour sa part, l'AIEA a récemment publié un document informatif sur l'application des principes de radioprotection aux sources pouvant causer des expositions, dont le propos est de faciliter l'adoption d'une approche unifiée de la sûreté*.

* "The application of the principles of radiation protection to sources of potential exposure: Towards a unified approach to radiation safety" (a consultative document), AIEA, Vienne (1988).

Fondement d'une politique de sûreté radiologique

Le fondement d'une politique de sûreté radiologique, qui englobe tous les scénarios avec toutes les conditions d'exposition, tant certaine que probabiliste, peut se trouver dans le rapport entre le risque et la dose utilisé aux fins de la radioprotection et fondé sur un certain nombre d'hypothèses radiobiologiques. Une politique générale de sûreté radiologique doit accepter une certaine probabilité de doses dépassant les limites et les plafonds et même entrant dans la région où des effets graves «non stochastiques» peuvent se produire; il importe donc particulièrement de préciser ces hypothèses. Le rapport dose-risque peut être alors pris pour base d'une politique commune de sûreté (voir la figure).

Recherche d'une convergence

Il paraît judicieux de bien préciser que la *limite de risque individuel* est une condition *nécessaire*, mais *non suffisante*, d'une approche unifiée de la sûreté radiologique en général et du contrôle des expositions probabilistes en particulier. Il est tentant de rechercher une certaine compatibilité avec le système actuel de limitation des doses et, par conséquent, de fixer une limite globale du risque individuel, et aussi de chercher dans quelle mesure la sûreté doit être améliorée pour descendre au-dessous de cette limite en étendant la notion d'optimisation pour y englober tous les risques encourus par la population exposée. L'idée est intéressante et l'on s'efforce actuellement de développer les notions de limites individuelles et d'optimisation dans le cadre de l'exposition probabiliste.

On se doit de souligner, toutefois, que les «risques pour la société» ont aussi été étudiés par des spécialistes de la sûreté nucléaire pour déterminer des critères sous forme de «limites de risque pour la société» ou d'«objectifs relatifs aux risques pour la société»*. Ces critères sociaux ne semblent pas prendre place dans l'extension directe de la limitation des doses individuelles et de l'optimisation. Ils pourraient, toutefois, être associés à la prescription de justification, mais cet aspect du problème ne sera pas traité dans le présent article.

Limite des risques individuels

La limite actuelle de dose, soit 1 millisievert par an, recommandée par la CIPR pour les particuliers, correspond au risque engagé d'environ 10^{-5} et peut servir de valeur de référence pour fixer la limite de risque individuel. Pour les expositions de routine au-dessous de la limite de dose, les seuls effets délétères à prendre en compte sont les cancers et les effets génétiques. Si la limite de dose est convertie en limite de risque, l'obligation de restreindre la dose elle-même disparaît; c'est pourquoi d'autres effets délétères tels que mort sont à prendre en considération. En principe, il n'est pas indispensable de donner le même poids à tous les effets délétères. Si, par exemple, la perte d'années-personne était prise comme fonction de pondération, la mort

* Status, experience and future prospects for the development of probabilistic safety criteria, report of a technical committee meeting in 1988, IAEA TECDOC (en cours de publication).

rapide due à de fortes doses aurait plus de poids que la mort due au cancer après une période de latence. Toutefois, par souci de simplicité, il paraît judicieux, dans le contexte des limites (non pas des objectifs), de considérer que les effets délétères ont la même gravité; on peut alors fixer une valeur numérique unique comme limite de risque applicable à tous les événements de caractère probabiliste.

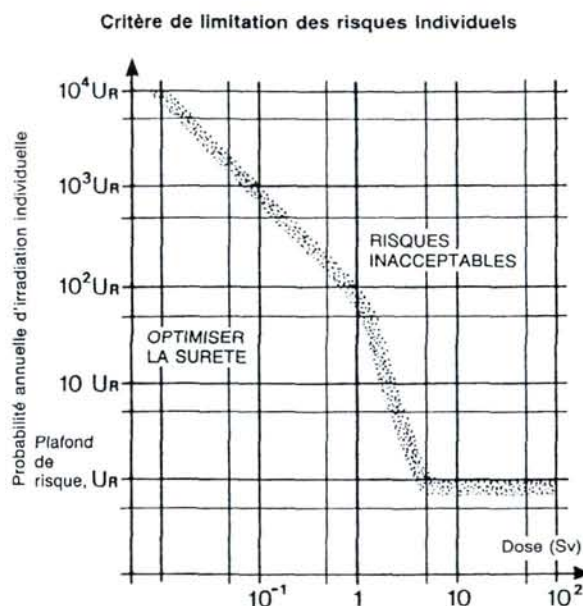
C'est pourquoi, pour assurer la concordance avec les normes générales de sûreté relatives à la limitation des doses, on a proposé une limite de risque de 10^{-5} par an pour les évaluations individuelles de la sûreté radiologique. Cette limite s'appliquerait au risque encouru par l'individu le plus fortement exposé (à l'exception des malades) à toutes les sources d'exposition potentielles (à l'exception des sources naturelles de rayonnement). Il importe de savoir que cette limite serait le seuil de la zone de risque acceptable; un risque inférieur à cette limite ne doit pas nécessairement être jugé acceptable.

Puisqu'un individu peut encourir un risque dû à plus d'une source, il faut, outre la limite de risque (qui se réfère à l'individu), un *plafond* applicable à la source (voire même un plafond pour le scénario), ce qui restreint le risque individuel dû à une seule source (ou encore à un scénario d'exposition unique). Le plafond de risque est fixé en fonction de la limite de risque (c'est-à-dire qu'il est une fraction de celle-ci) et peut varier selon la source ou le scénario. Le plafond de risque attribué à une source doit intervenir dans la conception et la régulation du fonctionnement d'une installation donnée de la même manière que les plafonds de doses courantes. La méthode la plus simple pour incorporer les scénarios probabilistes dans un système de radio-protection fondé sur le risque consiste à définir des plafonds de risque distincts pour l'exposition probabiliste en gardant pour les opérations normales les plafonds de doses courantes.

Selon la plafond de risque qui est retenu, on peut concevoir une courbe limite du risque individuel par scénario, qui serait directement tirée de la relation risque-dose* (comme l'indique la figure illustrant le rapport. Voir aussi la figure représentant une courbe limite).

Optimisation de la sûreté

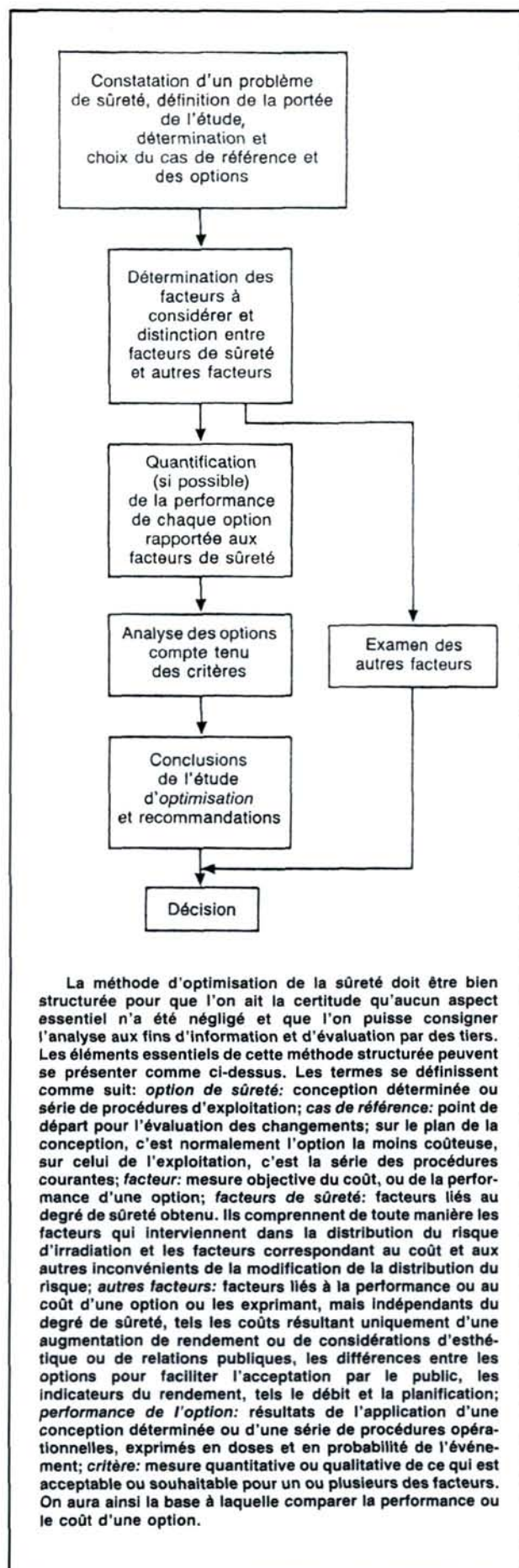
Assurer qu'aucun individu n'encourra de risque exagérément élevé d'irradiation est une condition nécessaire mais non suffisante pour déterminer le degré convenable de sûreté d'une source de rayonnement. Il reste à savoir si ce degré doit être encore amélioré compte tenu, par exemple, de ce qu'un groupe nombreux à risque individuel faible peut représenter un dommage global inacceptable.



Un moyen d'appliquer les prescriptions concernant l'individu aux événements probabilistes consiste à exprimer les limites de risque à l'aide d'une courbe critère. Cette courbe exprime la probabilité maximale admissible pour une dose estimée émise par l'événement déclencheur, fondée sur le plafond de risque annuel, U_R , du groupe critique. Les caractéristiques pertinentes de la courbe sont les suivantes: une région de proportionnalité inverse, une région de non proportionnalité pour la gamme des doses dans laquelle peuvent aussi se produire des effets non stochastiques et une région de probabilité constante pour les doses mortelles où la conséquence pour l'individu est la même quelle que soit la dose reçue. Dans la gamme des doses dont les effets sont uniquement stochastiques, la relation entre la probabilité et la dose est linéaire inverse et les valeurs sont le produit de la probabilité de l'irradiation, de la dose annuelle et de la probabilité d'un effet délétère par unité de dose. Enfin, dans la gamme des doses où il peut y avoir des effets non stochastiques, c'est-à-dire au-dessus de quelques sieverts, la courbe n'est pas linéaire, afin de tenir compte de la probabilité croissante de décès. Cette partie de la courbe doit approcher de la sigmoïde et dépend dans une certaine mesure de la durée de l'émission de la dose.

La courbe proposée peut servir à déterminer si une option donnée de sûreté correspond aux prescriptions relatives au risque de la manière suivante. Tout d'abord, les événements, ou les séquences d'événements capables de provoquer l'exposition des individus doivent être définis. Un événement et une séquence d'événements peuvent être considérés comme représentatifs d'un groupe de scénarios similaires, pour autant que les conséquences maximales soient envisagées. Ensuite, la probabilité de chaque événement et les expositions qui en résultent pour le groupe critique doivent être évaluées. Enfin, le point représentant la probabilité de l'événement initial et de toutes les autres conditions de l'environnement ainsi que la dose maximale correspondante est porté sur le graphique. S'il se situe dans la région du risque inacceptable, l'option est à rejeter. Toutefois, même si tous les points se situent dans la zone acceptable, il se peut que l'option considérée ne soit pas acceptable, faute d'avoir été optimisée. Par conséquent, la courbe critère n'est utile, dans un premier temps, que pour déterminer si une option est inacceptable. Il s'agit ensuite de vérifier si l'option répond à la dernière prescription, qui est l'optimisation de la sûreté.

* "The regulatory use of probabilistic safety analysis in Argentina", by A.J. González, in *Proceedings of the international meeting on thermal nuclear reactor safety*, Chicago, Etats-Unis d'Amérique; NUREG/CP-0027 (1982).



Pour les cas d'exposition «certaine», il faut que la radioprotection appliquée à la source soit optimisée. Cette prescription conduit généralement à des doses individuelles très inférieures aux limites individuelles de dose. La notion d'optimisation de la protection impose le choix du degré de protection le plus approprié, compte tenu de divers éléments dont les plus importants sont: 1) le dommage total causé à la population exposée, représenté par la dose collective; 2) le coût de la protection. Il est admis, toutefois, que d'autres éléments peuvent être pris en compte, tels que la distribution des doses. On peut donc voir dans le processus d'optimisation l'application d'une technique d'aide à la prise de décisions. Etant donné que d'autres éléments interviendront dans la décision finale, dont quelques-uns sont étrangers à la radioprotection, le résultat de l'optimisation peut être considéré comme un facteur partiel de la décision finale.

Il va de soi que l'évaluation complète du dommage qu'impliquent les scénarios d'«exposition probabiliste» doit tenir compte du nombre des personnes touchées et du niveau des doses reçues par elles, et de tous les moyens, y compris les dépenses, qu'exige l'amélioration de la sûreté. Cette façon de voir est suffisamment proche des principes de l'optimisation de la protection pour que l'on juge bon d'étudier comment la notion pourrait être étendue à un système fondé sur le risque.

A cette fin, il est du plus grand intérêt de mettre l'accent sur la notion d'«aide à la prise de décisions» que comporte l'optimisation et d'inclure parmi les éléments retenus la probabilité et les effets des expositions potentielles. Il y a aussi intérêt à voir dans l'optimisation une approche structurée de la prise de décisions (voir la figure). Pour pousser l'optimisation, il n'est pas nécessairement utile de supposer l'équivalence de divers types d'effets sur la santé, comme on l'a fait, pour simplifier, en établissant les critères de limitation des risques. Il vaut mieux, en particulier, étudier séparément les effets non stochastiques, spécialement la mort soudaine, et les effets stochastiques.

La valeur suggérée par la CIPR et adoptée par l'AIEA pour optimiser la protection contre les expositions «certaines» est le «détriment», défini comme étant le dommage que subira le groupe des personnes touchées par la source de rayonnement. Pour les expositions probabilistes, la notion de détriment n'est peut-être pas évidente comme le montre l'exemple ci-après*: considérons une séquence d'accident qui a une faible probabilité P de se produire, mais dont les conséquences C se sont graves si elle se produit. Le dommage à prévoir est le produit PC . Si P est très petit et C très grand, le détriment aura une valeur intermédiaire qui, quantitativement, ne rend pas bien compte de la situation, puisque les conséquences sont soit inexistantes, soit graves. En d'autres termes, la grande incertitude au sujet de l'ampleur des conséquences n'est pas évidente pour le décideur et, par conséquent, ne saurait être incluse dans le processus de décision. De ce fait, le détriment peut ne

* "Critical views on the application of some methods for evaluating accident probabilities and consequences", par D.J. Beninson et B. Lindell, *Current nuclear power plant safety issues*, AIEA (1980).

pas être une quantité utile pour évaluer les options en pareil cas. Il s'ensuit que, pour les expositions «probabilistes», les quantités à comparer doivent comprendre la distribution complète des probabilités et des conséquences, outre les moyens mis en œuvre pour la sûreté.

En plus du problème des quantités à comparer, il faut encore savoir comment faire pour comparer des quantités ou des facteurs de préférence qui ne s'expriment pas en unités compatibles. Ces facteurs, qui doivent être explicitement pris en compte, sont le degré de refus du risque d'accidents ayant de graves conséquences, le coût des mesures restrictives ou des inconvénients pour la société, la morbidité et la mortalité associées aux divers types d'effets radio-induits et le poids relatif (l'importance relative) des effets.

Le problème de la comparaison de quantités qui ne sont pas linéairement et directement comparables peut être abordé à l'aide des fonctions d'utilité et de la théorie de la décision*. Les préférences concernant des quantités de types différents s'expriment au moyen d'une fonction d'utilité qui indique comment ces types doivent être combinés aux fins de la comparaison. Les fonctions ainsi obtenues peuvent ensuite être combinées à l'aide d'une procédure d'aide à la décision pour donner l'option la «meilleure en pareilles circonstances» (c'est-à-dire optimisée). L'application de cette technique, actuellement étudiée par un groupe d'étude de la CIPR, a été exposée dans ses grandes lignes**.

Perspectives: une politique unifiée; des problèmes à résoudre

En résumé, un système de limitation des risques fondé sur les principes d'optimisation de la sûreté compte tenu des plafonds de risque individuel, associé au système actuel de limitation des doses, peut constituer la base d'une politique unifiée de la sûreté radiologique.

Pour mettre en œuvre une telle politique, il faut encore élucider quelques problèmes pratiques, dont les suivants:

- Le problème des nombreuses incertitudes de l'analyse probabiliste de la sûreté. Le manque de confiance qui en découle doit soit se traduire par une plus grande

prudence lorsqu'on fixe l'objectif de sûreté, soit intervenir dans la comparaison des résultats avec les objectifs. Par exemple, l'utilisation des limites de risque, ou des plafonds, en tant qu'objectifs de sûreté et non comme limitation de l'objectif, peut être une source de difficultés dans ce contexte. Précisons bien que les limites de risque et les plafonds ne peuvent être considérés comme des objectifs en eux-mêmes. Il faut, au contraire, y voir la ligne de démarcation d'une zone interdite et les fixer avec la prudence qu'exigent les incertitudes éventuelles.

- Actuellement, on ne dispose pas de moyens normalisés pour procéder à des évaluations probabilistes. Il peut y avoir de fortes variations dans les résultats correspondant à des situations identiques si la méthodologie et les conditions limites intervenant dans l'analyse ne sont pas spécifiées suffisamment en détail. Il s'ensuit que deux analyses d'une même situation peuvent concorder ou non avec une valeur définie du risque. La solution semblerait être l'élaboration de procédures normalisées d'évaluation probabiliste de la sûreté et leur insertion dans les règlements pertinents. Toutefois, elle irait à l'encontre de la doctrine réglementaire de quelques pays dont l'approche exclut les prescriptions.

- Autre problème: celui de la possibilité de mesurer et de comptabiliser le risque. Pour les expositions «certaines», l'«équivalent de dose efficace» est une mesure indirecte du risque encouru par les personnes exposées. Cette quantité est «mesurable», ne serait-ce que par le biais d'autres quantités physiques apparentées et de diverses suppositions et hypothèses; de ce fait, elle peut être prise en compte dans des documents ayant une valeur juridique. La situation est assez différente quant il s'agit d'expositions probabilistes; en effet, l'équivalent de dose efficace qui sera reçu si l'exposition a effectivement lieu ne mesure pas le risque, puisque l'exposition peut ne pas se produire, et il n'existe pas d'autre quantité «mesurable» et «comptabilisable». La fiabilité des systèmes de sûreté, la probabilité d'exposition qui en résulte, ou la combinaison de la probabilité et de la dose ne peuvent être mesurées avec des instruments; on ne peut pas les prendre formellement en compte, de sorte que l'adéquation *a posteriori* n'est pas juridiquement «démontrable». Peut-être y a-t-il des moyens de résoudre ce problème juridique, mais ils n'ont pas encore été explorés.

Etant donné ces difficultés, quelques spécialistes de la sûreté se sont montrés réservés quant à l'application d'un système de limitation des risques aux installations nucléo-électriques. Ils préfèrent s'en tenir aux objectifs probabilistes. D'autres spécialistes ont jugé qu'en dépit des difficultés pratiques l'adoption d'un cadre théorique pour la limitation des risques devrait être encouragée. Nous pensons que cette façon de voir ouvre de bonnes perspectives et mérite qu'on l'étudie de plus près.

* Voir deux mémoires de D.J. Beninson: "Optimization of radiation protection as a special case of decision theory", *Optimization of radiation protection*, AIEA, Vienne (1986); et "Application of radiation protection optimization principles to potential exposures from accidents", *Nuclear power performance and safety*, vol. 4, AIEA, Vienne (1986).

** Voir "Decision-aiding techniques for radiological protection", par G.A.M. Webb et J. Lombard, *Radiation protection in nuclear energy*, compte rendu de la Conférence internationale sur la radioprotection et l'énergie nucléaire, Sydney, avril 1988 (en préparation).

