

Normes fondamentales de radioprotection

par A.J. González*

La publication de la troisième édition des Normes fondamentales de radioprotection de l'Agence en 1982 a marqué une nouvelle étape sur la longue route qui mène à la protection contre les risques radiologiques. Les hommes de science avaient admis la nécessité de cette protection dès les premières années du siècle, et au début des années 20 il avait été proposé d'établir des unités normalisées et d'adopter des recommandations quantitatives internationales en matière de radioprotection. En 1928, le Comité international de protection contre les rayons X et les rayonnements (l'actuelle Commission internationale de protection radiologique [CIPR]), publia des recommandations d'ordre quantitatif pour limiter les doses reçues par les travailleurs sous rayonnements. Un quart de siècle plus tard, la CIPR commença à recommander des limites pour l'irradiation des membres de la population.

Le rôle de la CIPR a toujours été d'étudier les principes fondamentaux de la radioprotection et leurs applications pratiques; la mise en œuvre détaillée était laissée aux autorités nationales. Dès la création de l'AIEA, son Statut stipulait que l'établissement de normes de sûreté pour la protection de la santé constituait l'une de ses fonctions de base. L'Agence a donc publié en 1962 la première édition des Normes fondamentales de radioprotection. La version en langue anglaise de la troisième édition de ce document, élaboré sous l'égide de l'Organisation mondiale de la santé (OMS), de l'Organisation internationale du travail (OIT), de l'Agence pour l'énergie nucléaire (AEN) de l'OCDE et de l'AIEA, a été publiée en 1982, en tant que N° 9 de la Collection Sécurité de l'AIEA.

Les Normes partent des recommandations de la CIPR en élargissant la portée et en les interprétant en termes pratiques, fournissant ainsi des directives détaillées qui non seulement seront utilisées pour les activités de l'Agence elle-même, mais encore serviront de base aux Etats Membres pour l'élaboration et la mise en application de leurs propres règlements. Lorsque la deuxième édition avait été publiée en 1967, le Conseil des gouverneurs de l'Agence avait recommandé que tous les Etats Membres alignent leurs propres règlements sur les Normes.

Système de limitation des doses

Un trait saillant de la révision la plus récente des Normes fondamentales de radioprotection est qu'elle incorpore le système de limitation des doses actuellement recommandé par la CIPR, lequel, avec ses prescriptions complémentaires, aura probablement des incidences très importantes sur la protection contre les

risques dus aux activités humaines. Ce nouveau système énonce des prescriptions concernant les individus, c'est-à-dire des limites de dose individuelles à ne pas dépasser; de telles prescriptions se retrouvent dans toutes les normes de protection de la santé. Toutefois, le système énonce aussi des prescriptions concernant les sources, ce qui est rarement le cas des autres systèmes de protection. D'après ces prescriptions, si basses que soient les doses individuelles, deux conditions doivent être remplies: a) l'introduction de pratiques utilisant les rayonnements ionisants doit être justifiée, compte tenu du dommage radio-induit potentiel, et b) de nouveaux efforts doivent être déployés pour réduire l'irradiation chaque fois que l'avantage – exprimé en réduction de dose – justifie ces efforts. Cette seconde condition est connue sous le nom d'optimisation de la radioprotection*.

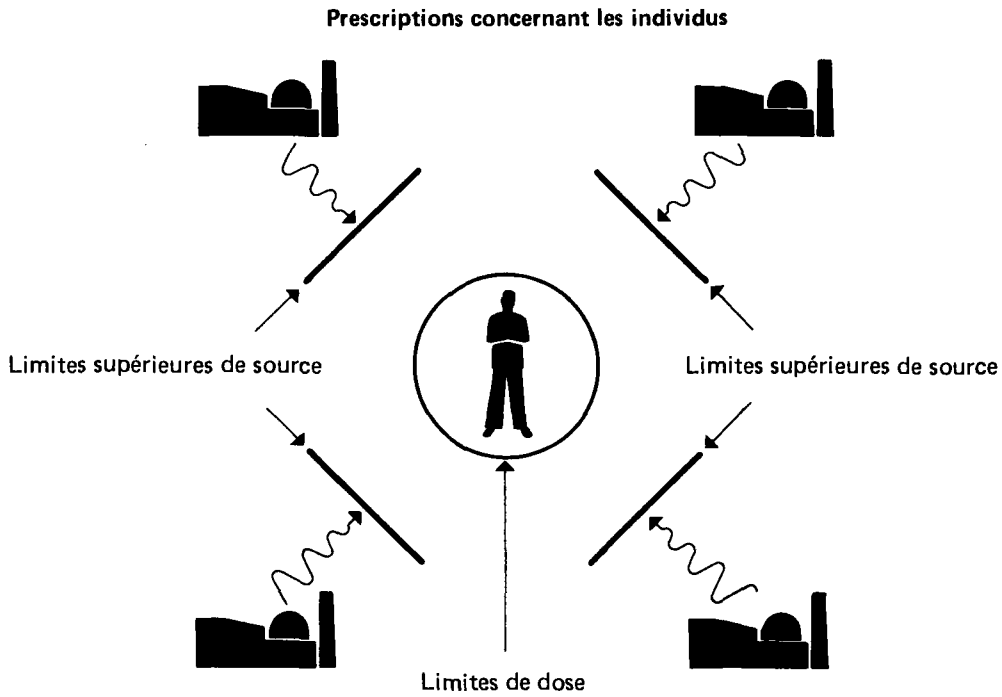
Prescriptions concernant les individus – Pour ce qui est des prescriptions concernant les individus, les Normes fixent des limites de dose primaires afin d'identifier une gamme interdite de doses individuelles. Elles fixent aussi des limites secondaires – tirées des limites primaires – par exemple sous forme de limites d'incorporation d'éléments radioactifs.

Le respect des limites de dose garantit que le risque radiologique individuel dû à toutes les sources contrôlables de rayonnements ionisants est maintenu à un niveau si bas qu'il ne doit susciter aucune inquiétude pour l'individu. Il ne s'agit pas de contrôler le risque radiologique total provenant d'une source, mais de limiter le risque individuel dû à une exposition à toutes les sources. Toutefois, étant donné qu'un individu peut être exposé à plusieurs sources, les limites de dose ne peuvent pas être utilisées pour limiter la dose individuelle due à une source unique; il est plutôt implicitement reconnu qu'il faut appliquer des «limites supérieures de source» pour chaque source, afin de s'assurer que la somme des doses dues à toutes les sources ne peut pas approcher les limites de dose (figure 1a). On ne prend pas en compte la fraction d'irradiation due aux sources naturelles qui ne sont pas techniquement amplifiées. Les irradiations individuelles à des fins médicales, à l'exclusion de la recherche, ne sont pas non plus prises en compte étant donné que, dans de tels cas, les avantages individuels sont en principe supérieurs au risque.

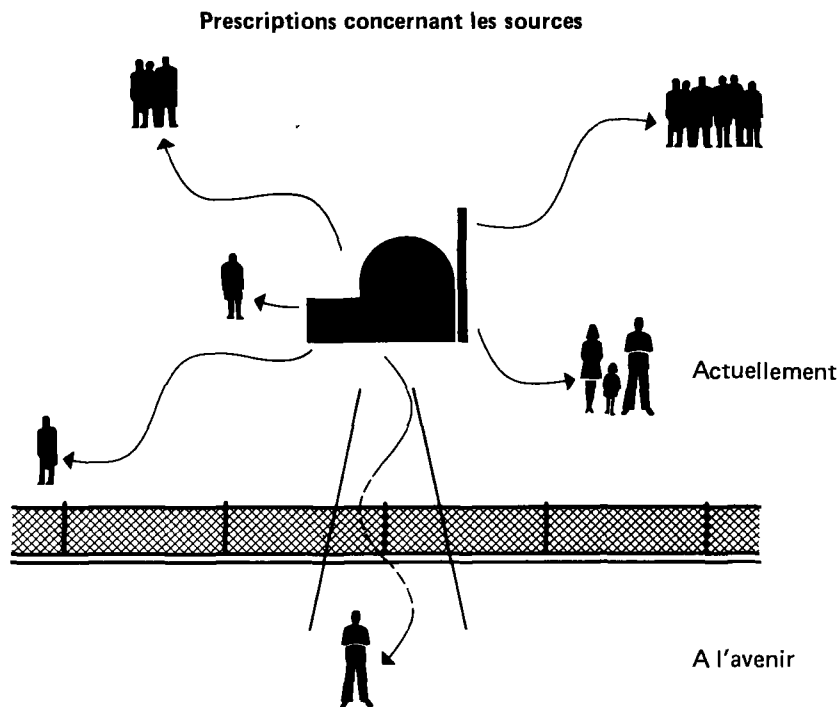
Prescriptions concernant les sources – La prescription relative à la justification des pratiques précise qu'afin d'éviter une irradiation inutile aucune pratique impliquant une exposition aux rayonnements ionisants ne doit être

* M. González est Chef de la Section de la sûreté radiologique, à la Division de la sûreté nucléaire de l'Agence.

* Par «optimisation de la radioprotection», on entend plus précisément la prescription selon laquelle toute exposition aux rayonnements doit être maintenue au niveau le plus bas qu'on puisse raisonnablement atteindre, compte tenu de facteurs économiques et sociaux.



(a) Les Normes fondamentales de radioprotection ont pour objet d'assurer un niveau de protection individuel satisfaisant grâce à une *prescription concernant les individus* qui stipule qu'aucun individu ne doit être exposé, du fait de sources et de pratiques contrôlées, au-delà des *limites de dose* établies par les Normes. C'est la dose individuelle totale, à l'exclusion du rayonnement naturel et de l'irradiation à des fins médicales, qui doit être prise en considération. Dans l'éventualité d'une irradiation due à plusieurs sources, il faut établir des *limites supérieures de source*: celles-ci sont des fractions des limites de dose, attribuées à des sources particulières de rayonnements.



(b) Les Normes prévoient une protection additionnelle grâce à des *prescriptions concernant les sources* qui requièrent la *justification de la pratique* – pour laquelle la source est nécessaire – et l'*optimisation de la radioprotection* à appliquer à la source. Ces prescriptions tiennent compte de la somme de toutes les doses – si faibles soient-elles – dues à la source, quels que soient le lieu et le moment de l'irradiation.

Figure 1

autorisée par les autorités compétentes à moins que son introduction ne produise un avantage net. La prescription relative à l'optimisation de la radioprotection stipule que la planification, la conception, l'utilisation ou l'exploitation de sources et de pratiques doivent être telles que l'irradiation soit maintenue au niveau le plus bas qu'on puisse raisonnablement atteindre, compte tenu de facteurs économiques et sociaux (figure 1b).

Bien que la justification semble une prescription évidente, les organismes réglementaires ont pu parfois autoriser certaines pratiques sans chercher à savoir si leurs avantages pour la société compensaient leurs effets préjudiciables. La notion de justification constitue un avertissement pour les organismes réglementaires: avant d'approuver une pratique impliquant une exposition aux rayonnements ionisants, ils ne doivent pas oublier d'évaluer le risque radiologique de cette pratique pour la société.

L'optimisation s'applique à toutes les situations où l'exposition aux rayonnements provenant d'une source donnée peut être contrôlée par des mesures de protection. Une prescription analogue pourrait en principe être utilisée pour la planification des mesures de protection à appliquer si une source de rayonnement échappe à tout contrôle. L'optimisation exige que le niveau «optimal» de protection soit déterminé à partir d'un équilibre approprié entre les efforts de protection et les avantages qui en découlent sous forme d'une réduction du dommage radio-induit. Les Normes présentent les techniques d'analyse coût-avantages comme un outil pratique pour l'optimisation de la radioprotection.

Notions et grandeurs fondamentales, questions et problèmes d'application

Risque et détriment – Pour comprendre et appliquer le système de limitation des doses, il est indispensable de comprendre les notions de risque et de détriment telles qu'elles sont utilisées dans les Normes.

Le *risque* associé à une dose d'irradiation donnée est défini comme la probabilité pour un individu de subir un effet radio-induit particulier en recevant cette dose. Un chiffre compris entre 0 et 1 représente la probabilité qu'une dose d'irradiation porte préjudice à celui qui la reçoit. Il s'ensuit que l'objectif de la prescription concernant les individus est de maintenir la probabilité individuelle de dommage radio-induit en dessous du niveau inférieur approprié.

Le *détriment* se définit comme l'espérance mathématique d'un dommage dû à une source. Pour évaluer le détriment, on tient compte à la fois de la probabilité et de la gravité des effets préjudiciables possibles. Le chiffre exprimant le détriment peut être très grand suivant la gravité du dommage estimé. Il dépend non seulement des doses individuelles reçues, mais aussi du nombre de personnes irradiées. Le détriment sert à quantifier la prescription concernant ces sources. Il s'agit d'une quantité extensive, c'est-à-dire divisible en éléments pouvant s'additionner.

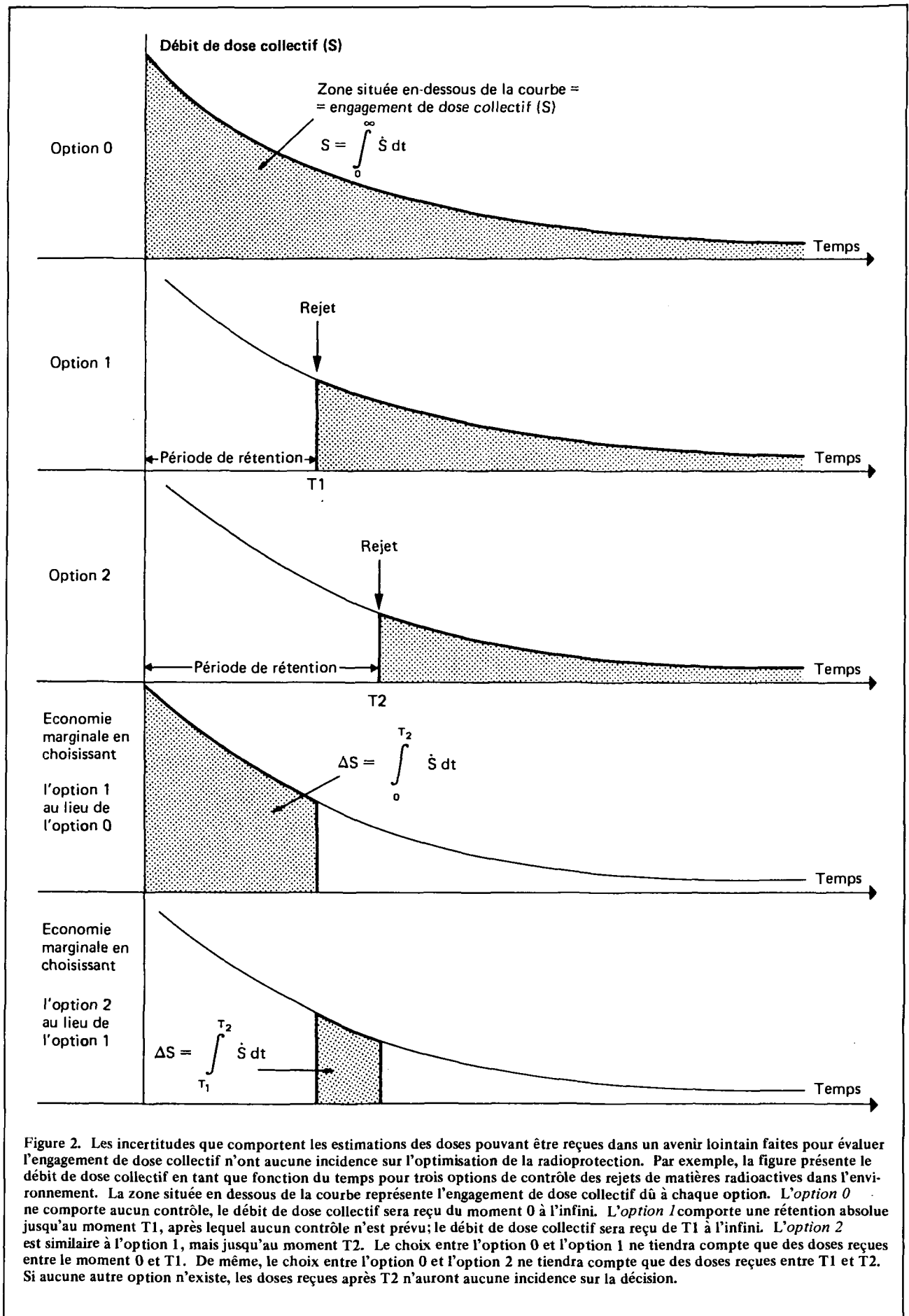
Engagement de dose collectif – Une composante pertinente du détriment est la composante «santé», ou

espérance mathématique des effets, qui – en supposant la proportionnalité de la dose* et du risque dans la gamme des doses situées en dessous des limites de dose – est proportionnelle à la somme de toutes les doses dues à la source, quels que soient le niveau, le lieu et le temps d'exposition. Cette somme donne une quantité appelée *engagement de dose collectif*, qui résulte de deux sommations (ou intégrales si des éléments différentiels sont additionnés), l'une spatiale et l'autre temporelle: i) tous les débits de dose individuels dus à une source sont additionnés, afin d'obtenir le débit de dose collectif en fonction du temps; et ii) tous les débits de dose collectifs sont additionnés sur le temps pour obtenir l'engagement de dose collectif.

Dose «de minimis» – Une question théorique se pose en ce qui concerne la sommation des débits de dose individuels: serait-il raisonnable de tronquer la somme lorsque les débits de dose individuels sont très faibles (par exemple lorsqu'ils sont négligeables pour l'individu)? Tel aurait pu être le cas si, par exemple, les débits de dose individuels étaient comparables aux fluctuations du rayonnement naturel. Un tel niveau de débit de dose a été appelé parfois dose «de minimis» et considéré comme n'intéressant pas les organismes réglementaires. Toutefois, bien qu'une dose puisse être insignifiante pour un individu, il peut exister pour la société un préjudice sensible dû à la somme des nombreux cas insignifiants, fait que ces organismes ne peuvent ignorer. En revanche, si les doses individuelles et collectives sont négligeables, la notion «de minimis» pourrait théoriquement être utilisée à des fins réglementaires. D'une manière générale, les Normes ne justifient donc en aucun cas le fait de ne pas tenir compte des débits de dose individuels – si faibles soient-ils – dans l'évaluation du débit de dose collectif. Toutefois, les Normes n'interdisent pas aux organismes réglementaires de ne pas tenir compte des doses individuelles négligeables à condition que celles-ci aboutissent à une dose collective également négligeable.

Intégration sur l'infini – Une autre question se pose: est-il pratique d'intégrer les débits de dose collectifs sur l'infini? En particulier, certaines pratiques peuvent comporter l'utilisation de radionucléides à longue période qui restent radioactifs pendant des milliers, voire des millions d'années. Pour justifier de telles pratiques, l'organisme réglementaire doit connaître l'ensemble des voies d'irradiation, mais aussi tenir compte du fait que les estimations de la dose collective pour de très longues périodes sont très incertaines. Dans les évaluations d'optimisation, toutefois, il suffit de prendre en compte la fraction de dose qui est affectée par les mesures de protection; les périodes de temps retenues pour l'évaluation sont celles au cours desquelles il est possible de contrôler l'irradiation. Les irradiations subies à des époques plus tardives n'influencent pas les résultats des activités d'optimisation. En conséquence, l'intégration sur l'infini des débits de dose collectifs n'est pas néces-

* Le mot *dose* est utilisé dans le sens de *équivalent de dose effectif*, quantité servant à désigner dans les Normes la dose absorbée pondérée pour tenir compte du type de rayonnement ionisant et de la sensibilité des organes et des tissus à ce type de rayonnement.



saire pour les évaluations d'optimisation. Pour ces évaluations, on n'utilise pas l'engagement de dose collectif absolu, mais les différences entre les engagements correspondant aux diverses options possibles. La différence entre deux intégrales sur l'infini est une intégrale finie. On peut en donner un exemple: si dans un système de contrôle des effluents radioactifs l'option (1) permet de retenir les matières radioactives pendant un temps T_1 , l'option (2) pendant un temps T_2 et l'option (0) est l'absence totale de contrôle, alors l'avantage obtenu en choisissant (1) au lieu de (0) ou (2) au lieu de (1) peut être évalué en fonction du détriment évité, qui est une intégrale sur un temps fini (figure 2).

Analyse coût-avantages – L'analyse coût-avantages utilisée dans les activités d'optimisation quantitative n'est pas la seule méthode possible. D'autres méthodes – certaines quantitatives, d'autres plus qualitatives – peuvent aussi être employées. Toutefois, l'analyse coût-avantages est une technique simple qui permet de prouver qu'un équilibre a été atteint entre les avantages obtenus, en termes de réduction du détriment, et les efforts de protection. C'est le cas si la somme des valeurs attribuées aux efforts réalisés pour améliorer encore la protection et la réduction du détriment en résultant se situent à un minimum (figure 3). Si les efforts de protection peuvent être facilement quantifiés en termes de *coût de la protection*, l'affectation d'une valeur au détriment pour obtenir ce qu'on appelle le *coût du détriment* est un problème particulièrement difficile.

Affectation d'une valeur au détriment pour la santé – D'après les Normes fondamentales de radioprotection, toutes les doses dues à une source doivent être prises en compte lorsque l'on détermine le détriment pour la santé, quelle que soit la répartition de la dose. Les Normes recommandent d'utiliser une constante, appelée alpha, qui est appliquée à l'engagement de dose collectif pour obtenir la valeur du détriment pour la santé. Etant donné qu'aux fins de comparaison le coût du détriment doit être présenté dans les mêmes unités que le coût de la protection, alpha s'exprime habituellement en unités monétaires par unité de dose collective. Il en est résulté un malentendu fort répandu concernant les conséquences éthiques et philosophiques d'une telle conception, qui paraît attribuer une valeur monétaire à la vie humaine. En fait, les Normes précisent qu'on n'attribue pas de valeur monétaire à la vie humaine et qu'il n'existe aucune limite au coût de la protection nécessaire pour maintenir les irradiations individuelles dans les limites recommandées. L'optimisation exige que, pour toute réduction supplémentaire de l'irradiation, il soit tenu compte des facteurs économiques et sociaux afin d'assurer une utilisation optimale des ressources utilisées pour obtenir cette réduction.

Les récentes recommandations de la CIPR sur l'emploi de l'analyse coût-avantages dans l'optimisation de la radioprotection donnent à penser que, bien que les techniques d'analyse coût-avantages exigent l'évaluation de la modification de l'espérance de vie d'individus inconnus, aucune valeur n'est attribuée à la vie d'individus identifiés. En fait, la constante alpha représente le montant dépensé par la société pour éviter une

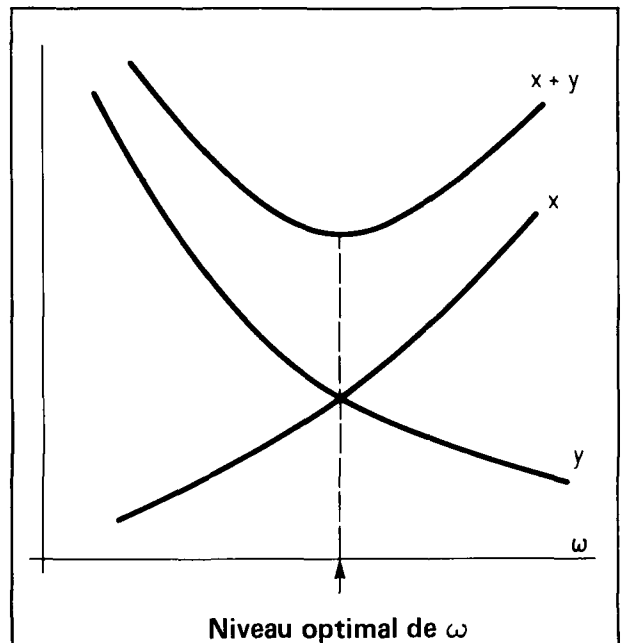
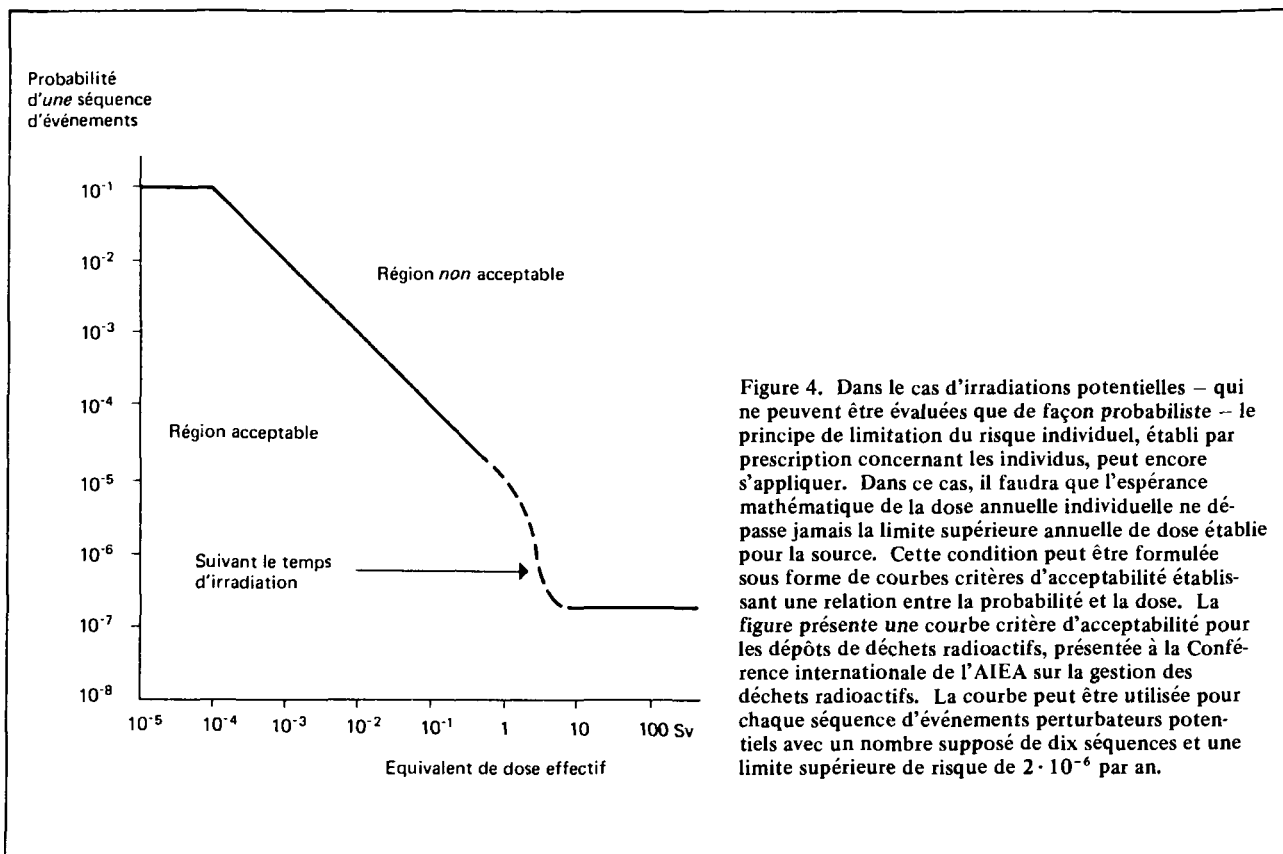


Figure 3. L'optimisation de la radioprotection peut être réalisée grâce à des techniques d'analyse coût-avantages. Dans ce cas, il s'agit de trouver le niveau de protection auquel la somme du *coût de la protection*, X , et du *coût de détriment*, Y , est à un minimum. Dans certains cas, la minimisation est relativement simple – comme le montre la figure – parce que le coût de la protection et le coût du détriment sont des fonctions continues d'un seul paramètre de protection, ω . Tel sera le cas si le paramètre de protection est, par exemple, l'épaisseur du blindage ou le débit d'un système de ventilation. Dans d'autres cas, on dispose seulement d'autres options de protection, qui ne peuvent pas toujours être définies par un seul paramètre; ou ne parvient au niveau optimal que par un processus d'approximations successives, qui permet d'essayer des niveaux de protection de plus en plus élevés pour arriver au point où la condition du coût total minimum est remplie.

unité de dose collective, et son ordre de grandeur détermine le niveau de radioprotection réalisable. Il ne s'agit pas de donner une valeur monétaire à la vie humaine, mais d'élaborer un système rationnel de protection de la vie. On contribue ainsi à faire accepter par la société un niveau de radioprotection qui soit le plus élevé que l'on puisse atteindre sans porter atteinte à d'autres devoirs et besoins légitimes de la société.

Problèmes de répartition – Une question intéressante est celle de savoir si les détriments subis à différents emplacements ou à différents moments doivent être évalués sur une base équivalente. Le principe éthique fondamental selon lequel les efforts déployés pour augmenter l'espérance de vie ne doivent pas être discriminatoires, quels que soient le lieu et le moment où vivra l'individu concerné, semble être le seul rationnel. Dans les Normes, il n'est pas fait de distinction dans l'attribution de valeurs aux différentes composantes spéciales et temporelles d'un détriment. Toutefois, on a



suggéré qu'il pourrait être justifié, pour évaluer des composantes d'époques différentes, d'appliquer aux coûts respectifs des facteurs de pondération différents. Certains ont proposé d'utiliser pour des raisons économiques des facteurs négatifs pour l'estimation des coûts futurs, mettant en pratique la notion comptable d'actualisation des coûts futurs par rapport à l'époque actuelle; d'autres ont recommandé d'utiliser des facteurs de pondération positifs pour des raisons éthiques, les générations futures qui subiront le détriment ne pouvant pas participer au choix de la procédure d'évaluation des coûts.

A cet égard, les Principes de limitation des rejets de matières radioactives dans l'environnement de l'Agence (Collection Sécurité de l'AIEA, N° 45) précisent que l'attribution de valeurs actuelles aux coûts futurs est une question que les organismes réglementaires doivent étudier très soigneusement, car ils doivent décider s'il est raisonnable de donner moins de poids aux doses qui seront reçues dans un avenir lointain qu'à celles qui le seront dans un proche avenir. Un récent projet de rapport élaboré par un groupe d'experts réuni par l'Académie pontificale des sciences du Saint-Siège recommande de toujours donner aux doses futures qui peuvent être évitées par des mesures de protection le même poids qu'aux doses actuelles. Il se pourrait que la controverse n'ait finalement aucune incidence pratique, car pour de nombreuses évaluations d'optimisation, on ne doit tenir compte que des détriments pouvant être subis dans un avenir relativement proche.

Aspects transfrontaliers – Etant donné que des détriments dus aux rayonnements émis par une source située dans un pays peuvent être subis par la population d'un autre pays, il semble évident qu'il faudra conclure des accords internationaux pour l'attribution de valeurs aux composantes transfrontalières de tels détriments.

La CIPR a suggéré de résoudre en partie ce problème en fixant pour la constante alpha une limite minimum acceptable sur le plan international. En tout état de cause, la valeur appliquée à d'autres pays ne devrait pas être inférieure à la valeur appliquée dans le pays où se trouve la source. En appliquant les Normes, l'Agence a déjà commencé à promouvoir un accord international de ce genre*.

Autres composantes du détriment – Selon les Normes, l'engagement de dose collectif permet de mesurer le détriment objectif pour la santé imputable à une source. Celles des composantes de l'engagement qui entraînent des risques individuels plus importants ne sont pas traitées d'une manière différente des autres. Cette démarche s'appuie sur l'un des principes du système de limitation des doses, aux termes duquel les limites de dose doivent permettre de maintenir le risque individuel à un niveau tellement bas qu'il soit négligeable pour l'individu

* Un groupe de consultants réuni par l'AIEA et l'OMS a établi un document, recommandant une valeur minimum de alpha, qui sera examiné par un groupe consultatif en décembre de cette année.

intéressé. En conséquence, les valeurs attribuées aux diverses composantes de l'engagement de dose collectif résultant de doses inférieures aux limites n'ont pas à être différentes. Les Normes reconnaissent toutefois que d'autres facteurs subjectifs, tels que la perception du risque, peuvent être pris en compte en tant que composantes distinctes du détriment. Ainsi, en tirant parti du caractère extensif du détriment, on peut ajouter une composante supplémentaire à la composante «santé» – sans modifier celle-ci – pour tenir compte de ces facteurs. Dans les Normes, on suppose que cette composante est une fonction des doses individuelles moyennes reçues par la population en cause.

Irradiations potentielles – Bien que, strictement parlant, le système de limitation des doses ne s'applique qu'aux sources contrôlées, les mêmes principes fondamentaux pourraient s'appliquer théoriquement à des sources potentielles d'irradiation ou, implicitement, à des irradiations ayant une certaine probabilité d'être subies, par exemple, à la suite d'accidents dans des centrales nucléaires ou des dépôts de déchets radioactifs. Pour ce faire, il faut toutefois répondre au préalable à plusieurs questions. Il semble acceptable d'appliquer la notion de risque à l'évaluation concernant les individus. Le risque serait, dans ce cas, proportionnel au produit de la dose individuelle potentielle par sa probabilité de manifestation. On a proposé de recourir à des courbes critères (figure 4) pour déterminer si une irradiation potentielle serait acceptable du point de vue de l'individu.

En revanche, l'utilisation de la notion de détriment dans l'évaluation relative aux sources n'est pas aussi directe que dans le cas des irradiations effectives. Bien que, dans les cas d'irradiation potentielle, l'espérance mathématique du dommage puisse aussi servir à décider du niveau de protection que l'on peut raisonnablement atteindre, ce ne serait pas nécessairement le seul facteur en jeu et les conséquences totales de l'irradiation effective pourraient bien être le paramètre pertinent à prendre en considération. En fait, bien que l'optimisation de la protection contre les irradiations potentielles puisse reposer sur les doses collectives prévues, l'incertitude statistique de l'événement réel peut être très importante. L'écart habituel de la dose collective prévue est proportionnel à la valeur prévue et inversement proportionnel au carré de la probabilité de manifestation. Pour de très faibles probabilités, telles que celles présumées pour certains accidents, l'écart peut être de plusieurs ordres de grandeur plus élevé que la valeur prévue, ce qui retirerait toute signification à cette valeur

aux fins de la prise de décisions. Dans de tels cas, on pourrait envisager de recourir à des méthodes complémentaires pour décider quelle est l'option optimale parmi un ensemble d'options de protection possibles. On a proposé soit d'utiliser des fonctions d'utilité non linéaires (qui augmenteraient le poids attribué à l'espérance tant que l'irradiation potentielle augmenterait), soit d'ajouter une autre composante du détriment, qui devrait être directement proportionnelle à l'irradiation potentielle, à la composante «dose collective prévue».

Perspectives

Certaines caractéristiques du nouveau système de limitation des doses constituent un stimulant pour les spécialistes de radioprotection. L'Agence a organisé des colloques et des séminaires qui ont permis de constater que le système était utilisable. On prévoit actuellement d'orienter les efforts de l'Agence en matière de radioprotection sur la mise en application des Normes. Certaines des questions d'ordre pratique ont déjà été résolues. Pour d'autres, il reste à trouver des solutions pratiques.

Lorsque l'on aura pu résoudre les problèmes théoriques de l'application des principes de radioprotection aux cas d'irradiation potentielle, la gamme des applications des principes du système de limitation des doses s'élargira. Les problèmes actuels, ayant trait par exemple aux buts ou aux critères de sûreté nucléaire pour les dépôts de déchets nucléaires, pourraient être abordés de façon plus rationnelle et éventuellement résolus. L'Agence examine donc ce problème avec une attention particulière et suit de très près les progrès scientifiques faits dans ce domaine.

Le système de limitation des doses incorporé dans les Normes de l'Agence repose sur un ensemble de notions extrêmement complexe qui, bien qu'élaboré à partir des principes de la radioprotection, prend en compte l'éthique, les sciences sociales et d'autres sciences. On a suggéré qu'une démarche analogue pourrait être utilisée pour le contrôle d'autres agents toxiques et mutagènes. Les Normes fournissent un cadre général pour les activités visant à atteindre les objectifs statutaires de l'Agence qui sont de hâter et d'accroître la contribution de l'énergie atomique à la paix, la santé et la prospérité dans le monde entier, compte dûment tenu des effets préjudiciables des rayonnements ionisants. Elles peuvent également servir de modèles pour des activités ayant pour but de supprimer d'autres menaces contre la vie humaine.