

Analyse coûts-avantages et radioprotection*

par J.U. Ahmed et H.T. Daw

L'analyse coûts-avantages est un moyen d'obtenir la meilleure répartition possible des ressources. Dans sa publication n° 26, la Commission internationale de protection radiologique (CIPR) recommande cette méthode pour justifier les pratiques de radioexposition et pour maintenir les irradiations au niveau le plus bas que l'on puisse raisonnablement atteindre, compte tenu des considérations économiques et sociales.

1. PRINCIPES FONDAMENTAUX

Une pratique entraînant une radioexposition peut être justifiée par une étude de ses avantages et de ses coûts visant à assurer que les premiers sont supérieurs aux seconds. Cela s'exprime comme suit:

$$B = V - (P + X + Y)$$

où: B est l'avantage net; V l'avantage brut; P le coût de production de base, à l'exclusion de la protection; X le coût du niveau de protection choisi et Y le coût attribué au détriment qu'entraîne cette pratique.

Si B est négatif, la pratique ne peut être justifiée. Elle se justifie à mesure qu'augmentent les valeurs positives de B. Toutefois, quelques-uns des avantages et des détriments sont intangibles ou subjectifs et difficiles à quantifier. Alors que les coûts P et X peuvent s'exprimer facilement en termes monétaires, V peut contenir des éléments difficiles à quantifier. La quantification de Y est l'aspect le plus problématique et sans doute le plus sujet à controverse.

Des jugements de valeur doivent donc intervenir dans l'analyse coûts-avantages. Ces jugements devraient refléter l'intérêt public; ils supposent donc la participation des autorités et des organes gouvernementaux compétents et doivent tenir compte des vues des représentants des divers secteurs de la population.

Lorsqu'une pratique a été justifiée par une analyse coûts-avantages, la radioexposition des individus et de la population résultant de cette pratique devrait être maintenue à un niveau aussi bas qu'il est raisonnablement possible d'atteindre, compte tenu des facteurs économiques et sociaux.

La justification de l'introduction d'une nouvelle pratique ou de la modification d'une pratique existante suppose de nombreuses considérations étrangères à la radioprotection.

* D'après un rapport sur le même sujet (en cours de rédaction par un groupe consultatif de l'Agence internationale de l'énergie atomique).

Celle-ci n'intervient dans l'analyse coûts-avantages que par son coût et par celui du détriment pour la santé causé par l'exposition aux rayonnements des individus et des populations.

L'analyse coûts-avantages contribue à garantir que l'avantage total sera supérieur au détriment total d'une pratique donnée. Le détriment total comprend tous les coûts et aspects négatifs de la pratique envisagée tels que frais d'investissement et d'exploitation, frais de radioprotection, coût des détriments causés à la santé par l'exposition des individus et du public aux rayonnements et à d'autres risques, utilisation de terrains, etc. L'avantage total comprend la valeur du produit, l'augmentation de l'emploi, la disponibilité d'énergie, l'élévation du niveau de vie, etc.

2. ELEMENTS INTERVENANT DANS LA JUSTIFICATION

Du point de vue de la radioprotection, il ne suffit pas de justifier une pratique en en démontrant l'avantage net. Même si l'analyse montre un avantage net, il peut y avoir des cas où les risques de radioexposition pour certains individus atteignent un niveau inacceptable. Il est donc primordial, pour que la pratique soit justifiable, que les limites de dose individuelle fixées par les organismes internationaux ou permises par les autorités nationales compétentes ne soient pas dépassées.

Pour juger du coût d'un détriment qu'entraîne l'exposition aux rayonnements pour la santé d'une population ou pour évaluer l'acceptabilité du risque que cette exposition présente pour les individus, il importe de préciser les notions de limites de dose individuelle et de dose collective.

Limites de dose

Celles-ci sont fixées par la CIPR et s'expriment en limites d'équivalent de dose. L'objectif est de prévenir les effets non stochastiques nuisibles et de réduire la fréquence des effets stochastiques à un niveau assez bas pour qu'ils soient jugés acceptables.

Les effets non stochastiques se caractérisent par un rapport de causalité entre la dose et l'effet. Les effets se produisent toujours quand la dose reçue atteint ou dépasse une certaine valeur, la valeur seuil. Pour les doses qui dépassent ce seuil, la gravité du dommage est liée à la dose; plus la dose est élevée, plus l'effet est grave.

Les effets stochastiques suivent un rapport dose-effet probabiliste. Les effets considérés ici sont l'induction d'affections malignes et d'effets génétiques. Il s'agit d'effets tardifs, un certain temps s'écoulant avant la manifestation des effets génétiques ou des affections malignes. Il y a lieu de noter que, pour les effets stochastiques, la dose reçue ne détermine pas la gravité de l'effet. En outre, il n'est pas possible de distinguer un cas radio-induit d'un cas spontané.

Alors qu'il est possible de prévenir les effets non stochastiques en fixant les limites au-dessous de la dose seuil, les limites de dose pour les effets stochastiques sont fixées en vue de limiter le risque à un niveau acceptable. En outre, si la forme de la courbe du rapport dose-effet est connue pour les doses relativement élevées, elle ne l'est pas très bien pour les faibles doses du fait des incertitudes statistiques liées à l'apparition spontanée des effets. En fixant les limites de dose pour les effets stochastiques, on a donc adopté une attitude prudente en supposant une proportionnalité directe entre la dose et l'effet (c'est-à-dire qu'il n'y a pas de valeur seuil). Cela signifie que toute exposition à des rayonnements peut comporter un certain degré de risque.

Tableau 1. Facteurs de pondération utilisés dans le calcul d'un équivalent de dose pondéré pouvant servir à l'évaluation du détriment total

Organe	Facteur de risque de la CIPR R_T (Sv^{-1})		W_T	Facteur de risque total R_i (Sv^{-1})		W_i
Gonades	0,4	10^{-2}	0,25	0,8	10^{-2}	0,50
Poitrine	0,25	10^{-2}	0,15	0,24	10^{-2}	0,15
Moelle osseuse rouge	0,2	10^{-2}	0,12	0,2	10^{-2}	0,12
Poumons	0,2	10^{-2}	0,12	0,2	10^{-2}	0,12
Thyroïde	0,05	10^{-2}	0,03	0,10	10^{-2}	0,06
Os	0,05	10^{-2}	0,03	0,04	10^{-4}	0,02
Autres organes	0,5	10^{-2}	0,30	0,4	10^{-2}	0,24
Peau				0,02	10^{-2}	0,02
TOTAL	1,65	10^{-2}	1,00	2	10^{-2}	1,23

Le principe fondamental pour la définition des limites de dose relatives aux effets stochastiques est que le détriment acceptable pour la santé devrait être égal, que l'organisme entier soit irradié uniformément ou que l'irradiation soit non uniforme. A cette fin, on utilise la notion d'équivalent de dose effectif, H_E , pour fixer les limites de dose individuelle. L'équivalent de dose effectif, H_E , se définit comme suit:

$$H_E = \sum_T W_T H_T$$

où: W_T est un facteur de pondération représentant le rapport entre le détriment stochastique létal dans le tissu irradié T et le détriment stochastique total lorsque l'organisme est uniformément irradié; H_T est l'équivalent de dose moyen dans l'organe ou le tissu T.

La colonne 3 du tableau 1 indique les valeurs de W_T .

Outre les organes énumérés au tableau 1, un facteur de pondération de 0,06 doit être affecté à chacun des cinq autres organes qui reçoivent les équivalents de dose les plus élevés; on peut négliger l'irradiation de tous les autres tissus. Dans sa déclaration de 1978 (Rapport n° 28), la CIPR a fait observer que les mains, les avant-bras, les pieds, les chevilles, la peau et le cristallin ne doivent pas figurer parmi les autres organes. Ces tissus doivent donc être exclus de $\sum_T W_T H_T$. Dans l'évaluation du détriment résultant de la radioexposition de groupes de population, il faut peut-être tenir compte d'un faible risque de cancer mortel dû à l'irradiation de la peau et une valeur $W_T = 0,01$ doit être utilisée à cette fin.

Facteurs de risque

En radioprotection, l'analyse coûts-avantages porte sur une gamme de faibles doses individuelles inférieures aux limites de dose. Sur la base de la proportionnalité directe entre la dose et l'effet, le détriment pour la santé est proportionnel à l'équivalent de dose

effectif résultant de la pratique considérée. Le facteur de proportionnalité est appelé facteur de risque¹. Après avoir étudié un grand nombre de données biologiques fournies par l'expérience humaine et la recherche sur des animaux, la CIPR et l'UNSCEAR² ont proposé des facteurs de risque pour les effets stochastiques résultant de l'exposition à des rayonnements ionisants. La CIPR tient compte de ces facteurs de risque pour fixer ses limites de dose. Pour l'exposition professionnelle, la CIPR (Rapport n° 26) a estimé que le taux calculé auquel des affections malignes mortelles peuvent être induites par la radio-exposition professionnelle ne doit en aucun cas être supérieur au taux de mortalité des industries reconnues comme ayant un niveau de sûreté élevé. Ces industries sûres sont généralement reconnues comme étant celles où la mortalité annuelle moyenne due aux risques professionnels ne dépasse pas 10^{-4} . Pour les membres du public, la CIPR (Rapport n° 26) indique qu'un examen des renseignements disponibles concernant les risques régulièrement acceptés dans la vie de tous les jours permet de conclure que le niveau d'acceptabilité des risques mortels est inférieur d'un ordre de grandeur à celui des risques professionnels. Il est donc probable qu'un risque de l'ordre 10^{-6} – 10^{-5} par an est acceptable pour tout membre du public.

En radioprotection, il ne suffit pas de fixer le risque individuel à un niveau suffisamment bas. Le détriment total pour la société résultant d'une pratique impliquant une exposition aux rayonnements doit aussi être maintenu au niveau le plus bas qu'il est raisonnablement possible d'atteindre, compte tenu des facteurs économiques et sociaux. Le détriment collectif pour la santé d'un groupe d'individus est la somme des détriments subis par les individus composant ce groupe. Si on prend pour hypothèse la proportionnalité directe entre les effets stochastiques biologiques et l'équivalent de dose, le détriment collectif pour la santé est donc directement proportionnel à l'équivalent de dose effectif collectif. L'équivalent de dose effectif collectif, S_E , d'une population comprenant N individus est:

$$S_E = \bar{H}_E N$$

où: $\bar{H}_E$ est l'équivalent de dose effectif reçu par chaque individu. Le nombre total de détriments pour la santé, G_{total} pour une population de N individus, est donc:

$$G_{\text{total}} = k S_E$$

La constante de proportionnalité $k = R \cdot g$,

où: R est le facteur de risque d'apparition du détriment et g le facteur de gravité.

Les facteurs de risque pour divers organes, tels qu'ils sont fixés par la CIPR, sont indiqués dans la colonne 2 du tableau 1. Ces facteurs de risque doivent être utilisés pour estimer le détriment subi sous forme de cancers mortels radio-induits et d'effets héréditaires graves dans les deux premières générations. Le facteur de risque total est $1,65 \times 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$, où $1,25 \times 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$ correspond aux cancers mortels radio-induits et $0,4 \times 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$ aux effets héréditaires graves pour les deux premières générations.

Le facteur de risque de $0,4 \times 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$ pour les effets héréditaires graves dans les deux premières générations a été calculé compte tenu de la structure d'âge de la population et des travailleurs. Le rapport n° 26 de la CIPR donne un facteur de risque de 10^{-2} Sv^{-1} pour un mauvais état de santé héréditaire grave pendant les deux premières générations après l'irradiation de l'un des deux parents. Toutefois, dans la population, tous les

¹ En fait, la constante de proportionnalité comprend deux constantes, le facteur de risque et g , facteur de gravité (voir plus loin). Pour les effets mortels, on considère que g est égal à l'unité.

² Comité scientifique des Nations Unies pour l'étude des effets des rayonnements ionisants.

individus irradiés ne sont pas pleinement reproductifs. Une fraction seulement de la dose collective totale aux gonades est donc génétiquement importante et, par conséquent, on doit appliquer à la dose collective totale un facteur de risque inférieur à 10^{-2} par homme-sievert. Pour l'ensemble de la population, il convient d'appliquer un facteur de correction de $30/70 = 0,43$ en supposant que 30 ans est l'âge moyen de la grossesse et 70 ans la durée de vie moyenne. Le tableau 1 indique ce facteur de risque corrigé ($0,4 \times 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$) à la colonne 2, en regard de gonades.

La population active a une structure d'âge différente qui comprend les groupes d'âge allant de 18 à 65 ans, soit une durée de 47 ans. Avant 30 ans, le nombre d'années d'exposition est 12, de sorte qu'il est peut-être nécessaire d'introduire un facteur de correction approprié de $12/47 = 0,26$.

La différence de facteurs de risque entre le public et les travailleurs n'est pas assez grande pour justifier l'utilisation de facteurs de risque différents dans chaque cas. C'est pourquoi, dans son rapport n° 26, la CIPR propose d'utiliser un facteur de risque unique d'environ $0,4 \times 10^{-2} \text{ Sv}^{-2}$.

Dans l'évaluation du détriment pour la santé, d'autres considérations interviennent lorsqu'on applique les facteurs de risque:

- i) Pour l'ensemble de la population, il faut peut-être tenir compte d'un faible risque de cancer mortel résultant de l'irradiation de la peau, par exemple, quand l'ensemble de la peau est exposé à un rayonnement bêta mou. Dans ce cas, le rapport n° 28 de la CIPR propose d'utiliser un facteur de risque d'environ 10^{-4} Sv^{-1} pour la dose moyenne sur toute la surface de la peau et d'appliquer un facteur de pondération de 0,01 pour l'évaluation des cancers mortels de la peau.
- ii) Pour des organes tels que la thyroïde et la peau, la radioexposition peut, outre l'effet mortel, induire un grand nombre d'effets non mortels, ceux-ci étant aussi importants que ceux-là. Dans le cas de la thyroïde et de la peau, les cancers non mortels prédominent et, comme on l'explique plus loin, on considère que le total des facteurs de risque est le double de celui des cancers mortels.
- iii) Le risque de dommage héréditaire qui peut s'exprimer par unité de dose dans toutes les générations ultérieures est considéré comme étant environ le double de celui qui est utilisé pour les deux premières générations seulement. (Rapport n° 26 de la CIPR).

Les facteurs de risque de cancer non mortel sont supposés égaux aux facteurs de risque de cancer mortel compte tenu des considérations suivantes:

m étant le facteur de mortalité (rapport entre les taux de mortalité et de morbidité), le risque d'effet mortel par tête sera mR si R est le facteur de risque total ($R_{\text{mortel}} + R_{\text{non mortel}}$) par unité d'équivalent de dose. Le risque d'effet non mortel sera donc $(1 - m)R$. Toutefois, si on affecte au risque mortel un facteur de pondération de gravité égal à l'unité, le risque d'effets non mortels doit être affecté d'un facteur de pondération considérablement moindre et probablement inférieur à celui qui est exprimé par la fraction m . Si on simplifie l'évaluation en utilisant également m comme facteur de pondération de gravité des effets non mortels (ce qui est une hypothèse assez arbitraire), le détriment total pour la santé par unité d'engagement d'équivalent de dose collectif sera:

$$m \cdot R + (1 - m) R \cdot m = m \cdot R (2 - m) \xrightarrow{\text{pour } m \ll 1} 2 m \cdot R = 2 \cdot R_{\text{mortel}}$$

Il convient donc peut-être de multiplier le risque d'effets mortels par deux au cas où il y a une prédominance des effets non mortels (peau et thyroïde).

∴ Le détriment total par unité de dose collective résultant d'une irradiation uniforme de l'organisme entier serait:

$$1,65 \times 10^{-2} \text{ (organisme entier)} + 0,4 \times 10^{-2} \text{ (gonades)} + 0,02 \times 10^{-2} + 0,05 \times 10^{-2} \text{ (thyroïde)} \\ = 2,12 \times 10^{-2}$$

Cette valeur pourrait être arrondie à 2×10^{-2} (tableau 1, colonne 4) en réduisant légèrement le détriment causé par l'irradiation des autres organes.

Dans l'analyse coûts-avantages, l'utilisation de ce détriment total pour la santé pose un problème d'ordre pratique puisque c'est habituellement l'équivalent de dose effectif collectif en homme-sievert et non le nombre pondéré prévu d'effets néfastes qui intervient dans le calcul.

Comme il a déjà été mentionné, un groupe consultatif réuni par l'AIEA examine actuellement cette question. Ce groupe suggère dans son rapport provisoire de transformer le détriment total mentionné ci-dessus en un engagement d'équivalent de dose effectif collectif "élargi". A cette fin, il faudrait établir un nouvel ensemble de facteurs de pondération (W_i) pour calculer un équivalent de dose pondéré qui puisse être utilisé pour évaluer le détriment total (tableau 1, colonne 5).

On note au tableau 1 que l'équivalent de dose $\bar{H}$ nécessaire pour causer un cas de cancer mortel ou entraîner un effet héréditaire grave sur les deux premières générations après une irradiation uniforme de l'organisme entier est en moyenne de 60 Sv; cet équivalent de dose est calculé à partir de la formule:

$$\bar{H} = \frac{W_T}{R_T} = 60 \text{ Sv}$$

Dans ce cas, le facteur de pondération pour l'organisme entier est 1, c'est-à-dire la somme des facteurs de pondération de tous les organes.

On peut calculer le nouveau facteur de pondération W_i qui doit intervenir dans l'évaluation de tout détriment grave pour la santé selon l'une des deux méthodes suivantes:

- en prenant $\bar{H} = 60$ qui est la valeur pour l'effet mortel, la somme des facteurs de pondération correspondant à tous les **détriments graves pour la santé** devant être dans ce cas supérieure à l'unité comme l'indique la dernière colonne, c'est-à-dire 1,23 ou
- en reliant le facteur de pondération W_i à l'équivalent de dose moyen qui produirait un cancer mortel ou non mortel et des effets héréditaires graves dans toutes les générations. Cette dose serait $60/1,23 \cong 50 \text{ Sv}$.

Dans ce cas, W_i doit être tel qu'on obtienne une somme égale à l'unité.

Il s'ensuit que l'équivalent de dose pondéré qui peut être utilisé pour l'analyse coûts-avantages est un facteur f supérieur à l'équivalent de dose effectif. Le facteur f est donné par la formule suivante:

$$f = \sum \frac{W_i H_i}{H_E} = \frac{\sum_i W_i H_i}{\sum_T W_T H_T}$$

Si seules les gonades ou la glande thyroïde sont exposées, $f = 2$. Comme précédemment, la peau est exclue du calcul de: $\sum_T W_T H_T$. Toutefois,

$$f \cdot H_E = \sum W_i H_i = H_{\text{peau}}$$

ce qui signifie que l'équivalent de dose pondéré devient l'équivalent de dose à la peau.

Ces conclusions sont conformes à la déclaration suivante faite par la CIPR en 1980, après la réunion de Brighton:

“En ce qui concerne l'utilisation de l'équivalent de dose effectif dans les évaluations d'optimisation, la Commission est parvenue aux conclusions ci-après. Dans le cas d'une irradiation uniforme de l'organisme entier, l'addition du dommage génétique futur représenterait un risque supplémentaire de $0,4 \times 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$ pour le public, ou légèrement moins pour le travailleur moyen, par rapport au total du risque supposé qui est de $1,65 \times 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$, c'est-à-dire qu'elle augmenterait le détriment total de 24% au maximum. Dans le cas moins probable où les gonades recevraient la dose la plus importante, le dommage génétique serait deux fois celui que représente le seul équivalent de dose effectif.

Le poids du détriment supplémentaire attribué au cancer non mortel dépendrait du poids à affecter à une certaine période de santé normale perdue (durée de la maladie avant la guérison), par rapport à une égale durée de vie perdue en raison d'un décès par cancer mortel. Si l'on considère que ce poids relatif (K) est 0,1 (comme dans la publication n° 27 de la CIPR), l'addition du détriment dû au cancer non mortel et à l'induction de tumeurs bénignes n'augmenterait le détriment non génétique total que de 2% dans le cas d'une irradiation uniforme de l'organisme entier. Si seuls sont irradiés des organes tels que la thyroïde et la peau, pour lesquels les cancers donnent un faible taux de mortalité, et qu'on porte la valeur de K à 0,5, le détriment total sera presque le double de celui que l'on obtient en utilisant seulement l'équivalent de dose effectif. Toutefois, dans la plupart des cas de radioexposition externe ou d'exposition à des mélanges de radionucléides, l'utilisation du seul équivalent de dose effectif n'entraînerait pas une sous-estimation importante du détriment total”.

Le détriment additionnel dû au cancer non mortel accroîtrait le détriment non génétique total d'environ 2%, comme l'indique la CIPR, et d'environ 5% si on utilise les facteurs de pondération W_i (tableau 1, colonne 5). Cela tient à la différence des méthodes d'estimation du facteur de gravité g. La CIPR considère que g est proportionnel aux années-hommes perdues par suite des effets néfastes mais, dans la seconde possibilité mentionnée ici, g est considéré comme proportionnel au rapport mortalité/morbidité.

3. COUT DU DETRIMENT

Comme il a déjà été mentionné, l'équivalent de dose effectif collectif intervient habituellement dans les calculs de l'analyse coûts-avantages. On peut faire valoir que le coût du détriment pour la santé est directement proportionnel à l'équivalent de dose collectif:

$$Y = \alpha S_E$$

où Y = coût du détriment pour la santé; α = constante désignant le coût de l'unité d'équivalent de dose collectif et S_E = équivalent de dose effectif collectif.

En théorie, s'il était possible d'établir une valeur monétaire universelle pour le coût des effets stochastiques des rayonnements dommageables pour la santé, α aurait une valeur unique. Dans la pratique, cela n'est pas possible.

Pour évaluer le coût du détriment total, il convient peut-être d'utiliser le facteur de correction f:

$$Y = f \alpha S_E$$

Toutefois, comme on l'explique ci-dessus, l'introduction de f ne modifie pas sensiblement le résultat dans la plupart des situations pratiques.

$$\therefore Y = \alpha S_E$$

Le coût du détriment pour la santé résultant d'une activité pratiquée pendant une année donnée devrait être une constante; α doit donc être constant si le risque pour l'individu est suffisamment faible. Cela doit être garanti par les limites de dose fondamentales.

Cependant, d'autres considérations socio-économiques peuvent intervenir. Elles peuvent varier grandement d'un pays à l'autre ainsi que dans le temps. Les autorités nationales peuvent souhaiter consacrer davantage d'argent et d'efforts à la poursuite de buts socio-économiques et politiques où n'interviennent pas seulement des considérations de radioprotection. Compte tenu de ces facteurs, il convient, en pratique, d'ajouter un autre terme à l'équation ci-dessus. Ainsi:

$$Y = \alpha S_E + \beta \sum N_i F(\bar{H}_i) \quad \text{(Cette formule se fonde sur les considérations actuelles de la CIPR et d'autres organisations internationales telles que l'AIEA).}$$

où $\bar{H}_i$ est l'équivalent de dose moyen par tête pour le groupe i comprenant N individus (N_i).

Le second terme ferait intervenir les facteurs sociaux dictés par la situation nationale tels que la perception du risque et la répartition des équivalents de dose au sein du groupe exposé.

Au niveau international, il conviendrait de donner des informations sur la première partie de l'équation. Le second terme devrait être laissé à l'appréciation des autorités nationales.

4. OPTIMISATION DE LA RADIOPROTECTION

Afin d'optimiser la radioprotection pour une pratique donnée, on compare aux avantages supplémentaires obtenus pour la santé, les coûts supplémentaires qu'entraîne l'abaissement de la dose collective (S) d'un niveau donné à une série de niveaux inférieurs. La valeur la plus basse qu'on peut raisonnablement atteindre correspond au niveau de dose collective au-dessous duquel le coût de toute mesure supplémentaire de radioprotection dépasserait la valeur de la réduction du détriment pour la santé. Cette évaluation peut être facilitée par l'attribution d'une valeur monétaire à l'unité de dose collective (valeur d' α mentionnée ci-dessus). Toutefois, une valeur précise d' α n'est pas toujours nécessaire en pratique puisqu'on peut réduire sensiblement la dose à faible prix et que, dans ce cas, il n'est pas nécessaire de procéder à une analyse ou de connaître la valeur exacte d' α .

Réciproquement, il apparaît parfois sans analyse qu'une amélioration possible sera excessivement coûteuse et n'entraînera qu'une réduction de dose insignifiante. Dans ces deux cas, on peut utiliser, comme valeur d' α , un ordre de grandeur au lieu d'une valeur précise.

La radioprotection du public et celle des travailleurs devraient en général être optimisées séparément encore qu'il reste à apprécier la part des ressources disponibles à affecter à chaque groupe. Pour toute extrapolation de l'exposition des travailleurs à celle du public, il faut se souvenir qu'une réduction d'un homme-sievert dans le premier cas n'équivaut pas nécessairement à une réduction d'un homme-sievert dans le second.

Par le passé, la protection a été optimisée beaucoup plus par des méthodes qualitatives que quantitatives. On introduit maintenant progressivement une optimisation quantitative. Cette méthode implique une analyse coûts-avantages différentielle. Par exemple, si

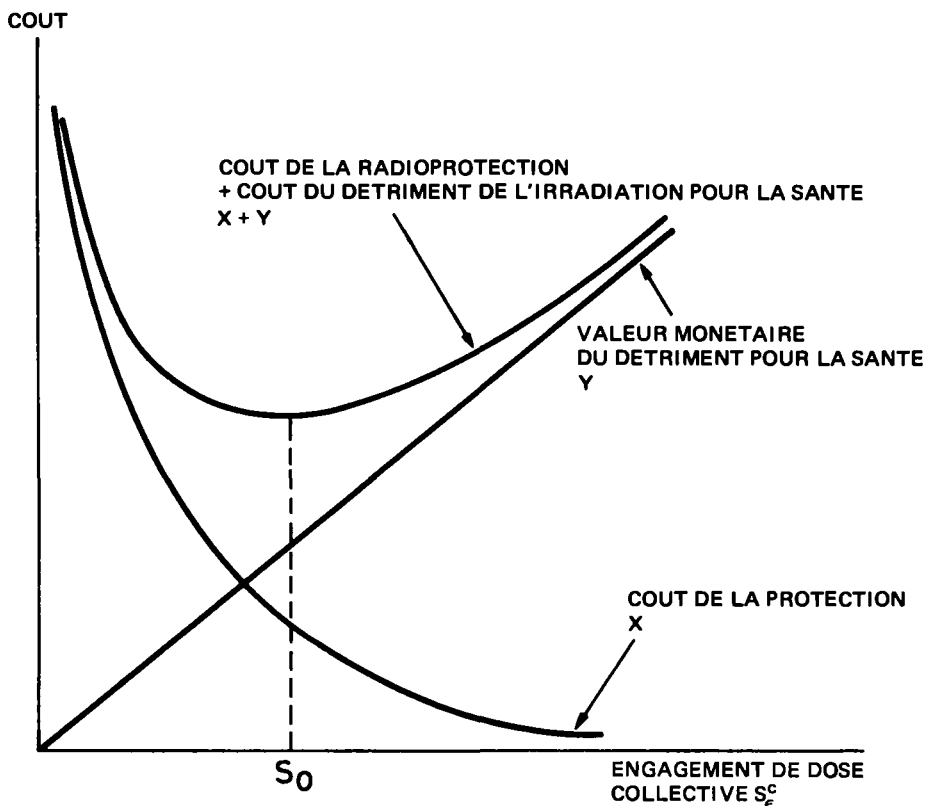


Figure 1. Optimisation de la radioprotection.

l'équation générale coûts-avantages est différenciée quant à S , on doit considérer que l'avantage net optimal est atteint à une valeur S_0 telle que:

$$\frac{dV}{dS} - \left(\frac{dP}{dS} + \frac{dX}{dS} + \frac{dY}{dS} \right) = 0$$

Si V et P sont constants, la condition d'optimisation se réduit à:

$$\frac{dX}{dS} = - \frac{dY}{dS}$$

Théoriquement donc, $dX/dS = -\alpha$ est la condition optimale de radioprotection (fig.1).

Si, au lieu de se traduire par une fonction continue, le passage d'un niveau de protection à un autre se traduit par une fonction à paliers, la décision de passer d'un niveau de protection A à un niveau de protection B plus coûteux doit être prise si:

$$\frac{X_B - X_A}{S_A - S_B} < \alpha$$

Sauf dans le cas des patients exposés aux rayonnements à des fins diagnostiques ou thérapeutiques, l'optimisation doit avoir une limite dans la mesure où l'avantage et le détriment intéressent rarement les mêmes individus. C'est pourquoi l'optimisation de la protection n'est opportune que si un degré suffisant de protection est garanti à chaque individu. Cela est le cas si les limites de dose aux individus sont respectées. Ces limites de dose sont donc une condition limite nécessaire pour les calculs d'optimisation.

Dans la pratique, l'optimisation de la radioprotection est souvent difficile et complexe car il faut optimiser plusieurs sous-systèmes. Le processus est moins difficile si les sous-systèmes à optimiser sont indépendants. En pareil cas, il y a lieu d'apprécier si de nouvelles réductions de la dose collective justifient l'effort supplémentaire.

5. REMARQUES

La valeur d' α en termes monétaires (ajustée compte tenu de l'inflation) devrait théoriquement être constante. Toutefois, cela est loin d'être le cas dans la pratique. Un examen de la documentation fait apparaître une large variation de la valeur d' α , de 1000 à 100 000 dollars des Etats-Unis par homme-sievert. Cette variation d' α est due à la diversité des méthodes d'évaluation du détriment. Les méthodes d'évaluation d' α les plus courantes font intervenir des assignations arbitraires, des méthodes d'évaluation du coût de la vie humaine et des enquêtes directes.

Des économistes ont recouru à plusieurs méthodes pour évaluer la façon dont la société assigne des valeurs à la vie humaine et ces méthodes peuvent être utilisées pour calculer la valeur d' α en multipliant par le facteur de risque. Les valeurs calculées n'impliquent pas qu'on attribue effectivement à la vie une valeur monétaire. Elles représentent plutôt une mesure permettant de répartir les ressources de façon équitable et cohérente en matière de radioprotection. Cette mesure variant d'un pays à l'autre et d'une époque à une autre, la valeur d' α variera également.

En conclusion, l'analyse coûts-avantages peut servir en radioprotection pour justifier une pratique comportant une exposition à des rayonnements ionisants ainsi que pour appliquer le principe du niveau de dose le plus bas qu'on peut raisonnablement atteindre. Il faut reconnaître que la base de données d'une telle analyse va d'informations bien définies et quantifiables à des informations de nature subjective et intangible. Des problèmes éthiques entrent en jeu dans l'analyse coûts-avantages lorsqu'on essaie d'attribuer une valeur monétaire à la vie humaine.

L'analyse coûts-avantages peut poser des problèmes du niveau local au niveau mondial et, dans le temps, du présent à un avenir éloigné. Néanmoins, appliquée à la radioprotection, elle est utile pour les autorités responsables et elle contribue à ce que le public accepte et comprenne les pratiques comportant une exposition aux rayonnements.