

Importance de l'évaluation des risques présentés par les rayonnements

par E.E. Pochin

INTRODUCTION

Par protection radiologique, on entend ce qui touche à la sûreté et la prévention de tout risque indu d'exposition à des rayonnements dans le milieu professionnel ou dans la vie en général. Il est donc évident que toute recommandation quantitative portant sur les limites et modalités d'exposition devra être établie en fonction de l'estimation quantitative des risques que comportent ces limites.

EFFETS SOMATIQUES

Dans sa publication 26 [1], la Commission internationale de protection radiologique (CIPR) a passé en revue les types de dommages qui pourraient résulter d'une exposition à de faibles doses de rayonnements, et a donné des estimations de la fréquence avec laquelle les principaux effets pourraient se produire. En ce qui concerne l'induction de cancers ou de leucémies, les études effectuées par un organe de la Commission, le Comité sur les effets des rayonnements, ainsi que l'analyse très poussée réalisée par le Comité scientifique des Nations Unies pour l'étude des effets des rayonnements ionisants (UNSCEAR) [2], ont porté sur un grand nombre de nouvelles données épidémiologiques concernant la fréquence avec laquelle ces affections malignes sont induites dans les tissus humains par l'absorption de doses allant jusqu'à quelques grays*. On dispose ainsi d'un certain nombre d'estimations non seulement du nombre total des affections malignes à prévoir après une exposition de tout le corps, mais encore du nombre prévisible de cancers induits par irradiation sélective de tel ou tel organe ou tissu, notamment dans le cas d'une ingestion de radionucléides.

Ainsi, pour plusieurs de ces tissus, et notamment ceux de la moelle osseuse, de la thyroïde, du poumon et du sein, on dispose aujourd'hui de diverses sources d'estimation des risques qui donnent des résultats raisonnablement cohérents et qui, dans certains cas, mettent en évidence les variations du taux d'induction imputables au sexe ou à l'âge des individus exposés [3]. D'autres estimations, calculées à partir d'une ou plusieurs séries de données, permettent de connaître approximativement les taux d'induction propres à un certain nombre d'autres organes ou tissus — qui se révèlent être inférieurs à ceux de tissus plus sensibles. Beaucoup reste encore à faire, notamment en ce qui concerne l'identification des types de cellules qui, dans certains organes, sont responsables des évolutions cancéreuses consécutives aux irradiations; cette identification permettrait, le cas échéant, d'estimer les doses de radionucléides absorbées en fonction de ces types de cellules plutôt que par rapport

* Unités de mesure: 1 gray (Gy) = 100 rad; 1 sievert (sv) = 100 rem.

M. Pochin, qui représente le Royaume-Uni au Comité scientifique des Nations Unies pour l'étude des effets des rayonnements ionisants (UNSCEAR), est membre du Conseil national de protection radiologique (National Radiological Protection Board) du Royaume-Uni et membre honoraire de la Commission internationale de protection radiologique (CIPR).

à des moyennes calculées pour l'ensemble d'un organe. On a toutefois rassemblé suffisamment de données épidémiologiques humaines, d'une exactitude raisonnable, pour connaître la part que les cancers induits dans divers organes représentent par rapport à l'effet carcinogène total d'une irradiation globale de l'organisme. Ce progrès a pour conséquence importante que l'on peut comparer quantitativement les effets — par exemple l'induction de tumeurs malignes fatales — d'une irradiation uniforme de l'ensemble de l'organisme (provoquée par des sources externes) et d'une irradiation sélective des organes (induite par l'absorption de radionucléides). On dispose ainsi d'une base plus sérieuse et cohérente qu'auparavant sur laquelle fonder les recommandations en matière de doses internes limites [4].

EFFETS GENETIQUES

Les moyens actuels permettent aussi d'estimer plus sérieusement les risques génétiques que les rayonnements présentent pour l'homme. Il est vrai que les estimations de la fréquence avec laquelle les effets génétiques sont induits *in vivo* dépendent encore largement des observations faites chez la souris ou chez d'autres espèces plutôt que chez l'homme. Les études de cultures de cellules, notamment humaines, indiquent toutefois que l'induction d'aberrations chromosomiques par rayonnements suit une relation dose-effet analogue pour différentes espèces [5]. On observe une concordance raisonnable des estimations des risques génétiques présentés par les rayonnements, telles qu'elles ont été calculées par deux méthodes distinctes qui ont fait l'objet d'examen approfondis non seulement par un groupe très compétent du Comité sur les effets des radiations de la Commission, mais aussi par les auteurs du rapport de l'UNSCEAR pour 1977. La première de ces méthodes a apprécié les risques pour l'homme en fonction de la taille estimée du génome, c'est-à-dire de la quantité de matériel génétique de l'homme par rapport à la souris, ainsi qu'en fonction de la sensibilité aux rayonnements du génome de la souris. La seconde a calculé une estimation sur la base de la dose de rayonnements susceptible d'entraîner un doublement des anomalies génétiques, cette dose dite doublante s'étant révélée, chez les animaux, remarquablement semblable, de l'ordre de 1 gray, pour divers types de modifications génétiques [6, 7].

Le risque d'anomalies héréditaires dépend naturellement du nombre vraisemblable d'enfants qui seront conçus après l'irradiation, et donc de l'âge du sujet au moment de l'exposition; on estime que le risque d'induire des modifications génétiques substantielles serait d'environ 2 pour 100 sieverts pour les adolescents et qu'il s'abaisserait à 0 pour les sujets âgés de 50 ans environ [8]. Pour le travailleur professionnellement exposé à des rayonnements, le risque moyen d'induire une telle tare chez ses enfants ou petits enfants est d'un peu moins de 0,4 pour 100 sieverts. Ce risque est d'environ le tiers de celui de voir induire un cancer fatal chez le travailleur lui-même.

AUTRES EFFETS

Le troisième grand groupe d'effets des rayonnements pour lesquels il faut établir une estimation des risques est celui des effets dits non stochastiques. Il s'agit ici de conséquences telles que la cataracte, la stérilité, la fibrose des tissus et l'altération des fonctions organiques. On pense généralement que ces dommages ne surviennent que lorsqu'est dépassé un seuil d'exposition relativement élevé, de telle sorte que l'on peut considérer comme nul le risque probable à des doses plus faibles. Dans de nombreux cas, les doses limites fixées pour empêcher l'induction de cancers fatals et d'effets génétiques devraient donc prévenir tout effet non stochastique. Mais pour certains tissus, et notamment pour les os, la peau et la thyroïde, pour lesquels le taux d'induction d'un cancer fatal est faible, cela pourrait ne pas être le cas. C'est pourquoi l'on a fixé une limite absolue de 0,5 sievert par an pour tous ces tissus, afin de prévenir l'induction d'effets non stochastiques même au terme de 50 ans d'exposition professionnelle constante à la dose limite. On peut dire que cette politique relève d'une prudence extrême dans la mesure où sont rares les

travailleurs susceptibles d'accumuler, ne serait-ce que la moitié, de cette dose au cours de leur vie active. En effet, on ne connaît pas encore les formes des dommages non stochastiques que pourrait entraîner cette dose de 25 sieverts absorbée en l'espace de plus de 50 ans par les os, par exemple, pas plus que l'on ne sait si ces dommages induits à la fin de la vie active sont comparables, en gravité, à un cancer fatal ou à une importante modification génétique. La limite fixée pour les risques non stochastiques encourus par l'ensemble de la population étant de dix fois inférieure, il semble encore plus improbable qu'un quelconque dommage non stochastique puisse résulter d'une exposition à des doses inférieures à ces limites.

Nous estimons pour notre part que beaucoup reste encore à faire en ce qui concerne non seulement l'induction éventuelle d'effets non stochastiques par exposition prolongée de certains tissus ou organes, mais aussi l'influence de l'âge sur le taux d'induction de diverses formes de cancer et le risque génétique des rayonnements pour l'homme ou les cellules humaines. Il nous faudrait en outre disposer de plus d'informations sur les facteurs qui déterminent la transformation néoplasique des cellules et leur survie, sur la forme probable des relations dose-effets aux faibles doses ainsi que sur la manière dont l'effet carcinogène d'irradiations se chiffrant en milligrays peut être déduit de celui qu'on observe au niveau des grays. Cette démarche radiobiologique est particulièrement importante dans la mesure où, à des doses aussi faibles, les preuves épidémiologiques seront vraisemblablement très peu fiables statistiquement.

COMPARAISONS DES RISQUES

Nous disposons toutefois aujourd'hui de suffisamment d'informations claires et chiffrées pour estimer le niveau général de risque qu'entraîne une exposition aux rayonnements. En effet, les bases numériques de l'estimation des risques d'irradiation sont bien meilleures et plus complètes que celles qui servent à déterminer les risques d'exposition à un grand nombre d'agents chimiques et autres, pourtant importants et potentiellement dangereux, que l'on peut trouver dans le milieu professionnel ou dans la vie en général. Il est en effet inhabituel que le danger probable d'un contaminant du milieu puisse — et c'est d'ailleurs là tout à fait souhaitable — être estimé avant que ses effets sur l'environnement aient pu être décelés. Curieusement, mais il n'y a là rien d'étonnant, certains des problèmes que pose l'acceptation par le public des dangers d'irradiation semblent découler de cette démarche, au fond sensée, qui vise à estimer le degré de sûreté ou le niveau de risque impliqué par des pratiques qui entraînent l'exposition à des radiations ainsi qu'à soumettre ces estimations à un examen détaillé. Il est cependant indispensable que toute recommandation en la matière soit accompagnée d'un énoncé, aussi clair que faire se peut, exposant ce qu'elle implique et précisant le degré de sûreté ou de danger qui pourrait résulter de son adoption.

Nous estimons pour notre part que les énoncés de ce type ne peuvent être réellement compris dans leur perspective véritable que s'ils sont exprimés non seulement en chiffres absolus indiquant les dommages ou tares possibles, mais encore en fonction des niveaux de sûreté ou de danger associés à d'autres situations et modalités d'exposition plus courantes. Ces comparaisons sont en effet les plus importantes dans la mesure où nombreux sont ceux qui tendent à penser d'une modalité d'exposition qu'elle est soit sûre soit dangereuse dans l'absolu, et qui, chose bien compréhensible, sont incapables de raisonner quantitativement en matière de seuils de risque, ou n'ont aucune idée des seuils de risque associés à des situations qui leur sont plus familières.

Il faut toutefois souligner que la comparaison des seuils chiffrés de risque associés à diverses modalités d'exposition ne peut pas et ne doit pas en soi déterminer l'acceptabilité d'une quelconque d'entre elles. Ce critère revêt cependant une importance évidente lorsqu'il

s'agit de choisir entre des solutions concurrentes, voire de déterminer les modalités d'application. La sûreté biologique n'est qu'un des éléments qui interviennent dans le choix de solutions concurrentes, qu'il s'agisse d'arbitrer entre des professions ou des sources d'énergie électrique. Il faut cependant voir là une composante très importante, qu'il faut appuyer sur une évaluation non seulement des types de dommages éventuels, mais aussi de leur fréquence pour les diverses possibilités envisagées.

RISQUES PROFESSIONNELS

Dans sa publication 26, la Commission donne une estimation des "détriments" qui pourraient survenir dans des professions où l'exposition aux rayonnements obéit aux doses limites recommandées, c'est-à-dire où sont évitées les expositions supérieures à ces doses limites, voire où les doses sont autant que possible réduites en-deçà de ces limites, comme le conseille la Commission. Dans ces conditions, on observe habituellement que la dose moyenne pour la profession en question est de l'ordre de 5 millisieverts (msv) par an — chiffre qui apparaît pour la plupart des professions étudiées par l'UNSCEAR. En conséquence, le risque d'induire un cancer fatal étant à peine supérieur à 1% par sievert, le taux annuel de mortalité imputable à cette cause serait d'environ 6 pour 100 000 travailleurs. Si l'on ajoute à cela le risque de tares héréditaires induites dans les familles de travailleurs, on porte le chiffre à huit; et l'on parvient à un total absolu de 9 à 10 pour 100 000 lorsqu'on ajoute enfin le taux des accidents mortels, qui est généralement faible dans les établissements nucléaires. On peut donc estimer que le risque annuel total d'accidents mortels et de tares génétiques importantes ne devrait guère dépasser 10^{-4} , soit l'équivalent de 100 décès par million de personnes employées en une année.

Du point de vue de la mortalité, ce risque est comparable à celui calculé pour maintes professions traditionnelles dans de nombreux pays (tableau 1*) [9]. Ainsi, aux Etats-Unis,

* Les tableaux 1 et 2, extraits du Journal of the Royal College of Physicians of London, et le tableau 3, extrait de Community Health, sont reproduits avec l'autorisation des éditeurs.

Tableau 1. Etats-Unis: Taux des accidents du travail mortel (10^{-6} /année)

Branche	1955	1958	1961	1964	1968	1971	1975	Moyenne
Commerce	120	90	90	80	70	70	60	83
Transformation	120	120	110	100	90	100	80	103
Services et administration	150	140	130	130	125	125	115	131
Transports, eau, gaz et électricité	340	330	430	440	380	360	330	373
Agriculture	550	570	600	670	650	670	580	613
Bâtiment et construction	750	740	740	730	740	710	610	717
Extraction minière	1 040	960	1 080	1 080	1 170	1 000	630	994
Ensemble des industries	240	220	210	210	190	180	150	200

Tableau 2. France: Statistiques nationales des accidents du travail, 1968–1970, (10⁻⁶/année)

Industrie du vêtement	17
Industrie textile	42
Ouvriers de la métallurgie	118
Industries chimiques	169
Mines, carrières, etc.	365
Dockers (marine)	1 020
Chaluts, téléphériques, bateaux de plaisance, etc.	1 636

Tableau 3. Royaume-Uni: Taux des accidents mortels (10⁻⁶/année) (Rapports annuels de l'inspecteur en chef des usines, 1959–70)

Profession ou branche	Moyenne ± erreur-type
Habillement et chaussure	3 ± 1
Articles mécaniques et électriques	23 ± 1
Textiles	23 ± 2
Véhicules	26 ± 2
Papier, imprimerie et édition	28 ± 2
Articles métalliques non compris dans les autres catégories	29 ± 2
Alimentation, boissons et tabac	34 ± 2
Cuirs, articles de cuir et fourrures	37 ± 8
Bois, meubles, etc.	64 ± 5
Briques, poterie, verre, ciment, etc.	75 ± 5
Industries chimiques et industries connexes	87 ± 5
Produits métalliques	136 ± 5
Construction navale et génie maritime	162 ± 8

le taux des accidents du travail mortels varie beaucoup selon les branches et, s'il diminue de quelques pour-cent chaque année, il n'en dépasse pas moins ce chiffre de 10^{-4} , qui équivaut à 100 décès par million de personnes employées en une année, pour la plupart des professions. Dans d'autres pays, à type de travail équivalent, les taux sont aussi comparables (tableaux 2, 3*) [10, 11, 12].

Cette comparaison porte exclusivement sur les décès et les tares génétiques importantes. Mais si l'on tient compte d'une gamme plus vaste d'affections professionnelles, c'est-à-dire des accidents n'entraînant pas la mort et des maladies, comme l'ont fait les auteurs de la publication 27 de la CIPR, consacrée à l'Indice des dommages, on obtient des résultats voisins [8]; le risque moyen associé à de nombreuses professions impliquant une exposition à des rayonnements équivaut en effet à celui constaté pour d'autres professions où le taux d'accidents mortels est d'environ 50 par million de personnes employées en une année — ici encore, on trouve un risque qu'il faut réduire par tous les moyens possibles, mais qui demeure aujourd'hui comparable à ceux d'autres professions que l'on considère généralement comme sûres.

Dans certains secteurs, toutefois, ou dans certaines professions d'un secteur, l'exposition moyenne aux rayonnements et, par voie de conséquence, le risque moyen d'irradiation sont sensiblement plus élevés. Si, à la limite, on décidait ou faisait en sorte que l'exposition aux rayonnements de l'ensemble des travailleurs d'un secteur s'établisse à la dose limite de 50 millisieverts par an, les dommages, appréciés selon les mêmes critères, seraient équivalents à ceux d'une profession où le taux d'accidents mortels s'établirait à environ 350 par million de personnes employées en une année. C'est-à-dire qu'ils correspondraient au risque couru par les travailleurs du secteur des transports, du gaz et de l'électricité aux Etats-Unis, par les mineurs en France, ou par la moyenne des ouvriers des mines de charbon au Royaume-Uni entre 1967 et 1976 [13].

En ce qui concerne l'extraction de l'uranium, les expositions moyennes aux rayonnements ont été élevées au cours des dernières années, tant à cause de l'inhalation de radon qu'en raison des rayonnements externes. A cela il faut ajouter un taux de mortalité accidentelle considérable, dont l'incidence sur le total des accidents du travail aura été de plusieurs fois supérieure à celle imputable aux rayonnements, le taux annuel de mortalité dépassant souvent 10^{-3} [13].

Nous estimons toutefois que lorsque l'on considère réellement les doses limites comme des limites à ne jamais dépasser, pour quelque travailleur que ce soit, au cours de quelque année que ce soit, et lorsque l'exposition moyenne peut ainsi être maintenue considérablement en-deçà de ces limites, les dommages totaux d'origine professionnelle s'établissent généralement dans la fourchette de ceux qu'on observe pour des secteurs dits sûrs, à moins que la spécialité elle-même ne se caractérise par ailleurs par de nombreux accidents du travail, ce qui, en tout état de cause, l'excluerait de la catégorie des professions sûres.

RISQUES POUR L'ENSEMBLE DE LA POPULATION

Il est beaucoup plus difficile d'exprimer, en fonction de risques analogues, le risque maximum d'irradiation encouru par l'ensemble de la population, et ce pour plusieurs raisons. En premier lieu, les limites recommandées en matière d'exposition des individus d'un groupe critique pour une année quelconque (qui sont donc de 5 msv) sont le plus souvent liées non pas à la dose effectivement reçue mais à celle qui pourrait être reçue si l'on se réfère à des modèles d'environnement conçus pour maximiser l'exposition estimée. En second lieu, il est difficile de déterminer d'autres sources présentes dans le milieu qui représenteraient pour la population totale des risques analogues et chiffrables. Les risques imputables aux décharges atmosphériques des centrales alimentées au charbon sont

pareillement "imposés" à la population mais — chose étonnante — on ne sait pas encore les estimer de manière sûre. Les risques imputables à des phénomènes naturels peuvent être estimés, mais ils ne sont pas imposés à la population de la même manière, c'est-à-dire par une action humaine. La Commission a passé en revue divers types de risques présentés par l'environnement, tout comme l'ont fait divers autres auteurs [15, 16, 17, 18], et a estimé que les risques annuels de décès imputables à une source de contamination présente dans le milieu s'établissant à 10^{-6} ou 10^{-5} (c'est-à-dire ayant le risque de "tuer un individu" une fois tous les 100 000 ans ou plus) "seraient vraisemblablement acceptables pour tout individu de la société".

La publication 27 n'a pas abordé la question des risques encourus par la population. On peut toutefois appliquer l'estimation des dommages par réduction de la longévité à tout membre de la population qui aurait été exposé continûment à des rayonnements aux limites suggérées pour l'exposition totale au cours d'une vie, c'est-à-dire à 1 msv par an. (Cette limite s'applique aux expositions effectivement reçues, plutôt qu'à celles que l'on pourrait estimer par des hypothèses de maximisation d'un modèle d'environnement). Si l'on tient compte des latences vraisemblables dans l'expression des cancers induits par les rayonnements, à la fois pour les enfants et les adultes, l'exposition continue et permanente d'un individu à la dose limite semble en moyenne se traduire par une réduction de la longévité d'environ six jours. A titre de comparaison, il serait utile d'estimer la réduction moyenne de longévité imputable à d'autres agents de l'environnement. La Commission évoque dans sa publication 26 le risque moyen de décès imputable aux accidents de la circulation. Pour la population du Royaume-Uni, la réduction moyenne de la longévité imputable à cette cause est d'environ 1,5 jours [19]. La réduction moyenne de longévité imputable à des irradiations dues aux activités humaines, si on en calcule une moyenne analogue pour l'ensemble de la population, serait d'environ 3,3 jours, dont 3,1 jours seraient imputables à des irradiations médicales et 0,2 jour à l'ensemble des autres sources [20].

ACCEPTABILITE DES RISQUES

Il convient de répéter que ni la fixation de seuils chiffrés de risque, ni la comparaison de ces seuils avec ceux qui correspondent à d'autres activités ne sauraient déterminer l'acceptabilité professionnelle ou publique des risques ou le choix d'une activité. Lorsque les rayonnements sont en cause, ces décisions dépendront vraisemblablement de nombreuses autres considérations, dont le type de risque, les risques carcinogènes étant teintés par la peur du cancer que suscite la nature même de cette maladie, et les risques génétiques étant associés à l'idée de l'injustice qu'il y a à faire subir aux générations à venir les conséquences de nos activités présentes; et il est en outre rare que l'on reconnaisse la présence d'agents carcinogènes et mutagènes dans les combustibles fossiles et autres décharges chimiques. Les travailleurs pensent souvent, à tort ou à raison, que les décès accidentels sont imputables à une absence d'habileté de la part de la victime, ce que l'on ne peut dire des cancers résultant d'une exposition donnée à des rayonnements reçue dans des conditions de travail normales. Le fait même d'estimer l'importance des risques de rayonnements donne déjà une idée de leur gravité, particulièrement pour ceux qui ne connaissent ni les niveaux, ni la fréquence, ni la nature des risques présentés par d'autres sources. De plus, la nécessité qu'il y a à estimer les risques à des fins à la fois de prospective et d'analyse théorique est naturellement moins susceptible de convaincre la population que la détermination rétrospective des risques à partir de séries statistiques observées. Et, par-dessus tout, les risques provenant de sources mal connues sont le plus souvent les plus effrayants, ou sont ressentis comme étant plus graves que ceux qui proviennent de sources qui depuis longtemps sont entrées dans les mœurs. Il en va de même pour les phénomènes d'irradiation, même en dépit du fait que l'exposition annuelle moyenne provoquée par l'ensemble des sources

artificielles (mises à part les sources médicales) équivaut probablement à moins de 2% de ce qui a toujours été reçu en provenance de sources naturelles [20].

Ainsi, l'importance de l'évaluation des risques d'irradiation réside pas seulement dans la nécessité de s'assurer que la santé publique est adéquatement protégée là où une certaine exposition est inévitable, non plus que dans la nécessité d'accompagner toute limite recommandée de l'énoncé de ce qu'elle implique: elle doit aussi en partie signifier que l'on s'efforce de faire en sorte qu'un public informé et ses représentants prennent, en pleine connaissance de cause, des décisions correctes, qui minimisent les dommages pour l'homme.

Le présent article est le texte d'une communication faite à l'occasion du Séminaire sur les incidences pratiques des recommandations de la CIPR de 1977, et de la version révisée des normes fondamentales de radioprotection de l'AIEA, qui s'est tenu à Vienne, du 5 au 9 mars 1979.

Références

- [1] ICRP Publication 26, Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, *Annals of the ICRP* 1 1 (1977) 1.
- [2] United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. 1977 Report to the General Assembly "Sources and Effects of Ionizing Radiation", (United Nations, New York) (1977).
- [3] Pochin, E.E., "Why be Quantitative about Radiation Risk Estimates?," (U.S.) National Council on Radiation Protection and Measurements: 2nd Lauriston Taylor Lecture (1978).
- [4] VENNART, J., Limits for Intakes of Radionuclides for Workers, (IAEA-SR-36/52); communication faite au Séminaire sur les incidences pratiques des recommandations de la CIPR (1977) et de la version révisée des normes fondamentales de radioprotection de l'AIEA, Vienne, 5-9 mars 1979.
- [5] BROWN, J.M., Linearity vs. Non-Linearity of Dose Response for Radiation Carcinogenesis, *Health Phys.* 31 (1976) 231.
- [6] SEARLE, A.G., "Use of Doubling Doses for the Estimation of Genetic Risks". Commission of the European Communities: report on Symposium on Rad-Equivalence, Eur 5725e (1977) 133-45.
- [7] SANKARANARAYANAN, K., Evaluation and Re-Evaluation of Genetic Radiation Hazards in Man, III. Other Relevant Data and Risk Assessment, *Mutation Research* 35 (1976) 387.
- [8] ICRP Publication 27, Problems Involved in Developing an Index of Harm. *Annals of the ICRP* 1 4 (1977) 1.
- [9] Accident Facts. (US) National Safety Council (from 1955), Chicago.
- [10] H.M. Chief Inspector of Factories (of UK), Annual Reports (from 1959).
- [11] Health and Safety Executive (1975), Industry and Services, London: HMSO.
- [12] Statistiques nationales d'accidents du travail (1968-1970), Caisse Nationale de l'Assurance Maladie des Travailleurs Salariés.
- [13] LUNDIN, F.E., Jr., and others, Mortality of Uranium Miners in Relation to Radiation Exposure, Hard-Rock Mining and Cigarette Smoking - 1950 through September 1967, *Health Physics* 16 (1969) 571.
- [14] POCHIN, E.E., Estimates of Industrial and Other Risks, *J. Roy Coll. Physns.* 12 3 (1978) 210.
- [15] STARR, C., "Benefit-cost relationships in socio-technical systems", Symposium on Environmental Aspects of Nuclear Power Stations, IAEA-SM 146/47, New York (1970).
- [16] KLETY, T.A., "What risks should we run? ", *New Scientist*, (12 May 1977) 320.
- [17] ROWE, W.D., *An Anatomy of Risk*, John Wiley and Sons, New York (1977).
- [18] KNOX, E.G., Negligible Risks to Health, *Community Health* 6 (1975) 244.
- [19] Values based on data from: Mortality Statistics 1974 England and Wales, Office of Population Censuses and Surveys: DH1, No.1 and DH2, No.1.
- [20] Values based on data from: Taylor, F.E., and Webb, G.A.M., "Radiation Exposure of the UK Population", National Radiological Protection Board NRPB-R77 (1978).