

Pour un réexamen des données qui fondent la protection des travailleurs contre les rayonnements ionisants

J.C. ZERBIB *

Les atteintes sévères de l'organisme par des irradiations uniques importantes ou fréquentes à des niveaux d'intensité élevés ont jalonné l'histoire de l'utilisation des rayonnements depuis la découverte des rayons X par Röntgen en 1895.

Nous présentons en annexe de ce document quelques faits marquants de cette Histoire.

Les brûlures de la peau provoquées par les rayonnements ionisants ont surtout été le fait de l'exposition des mains aux rayons X produits par les générateurs électriques de rayonnement. Les cancers de la peau étaient induits par des irradiations répétées d'épidermes encore mal cicatrisés tandis que les leucémies touchaient les radiologues qui procédaient massivement et sans protection à des radioscopies diverses.

Cette situation a connu des infléchissements notables au cours des dernières années, mais elle n'a pas définitivement disparu. Le développement des activités médicales et industrielles nucléaires a, pour sa part, élargi le champ des activités professionnelles concernées. Le nombre des maladies professionnelles occasionnées par les rayonnements ionisants et reconnues par le système médico-légal français a cependant peu évolué depuis la création du *Tableau n° 6 des maladies professionnelles du régime général de la Sécurité Sociale* (« Affections provoquées par les rayonnements ionisants »).

Les données relatives à la « réparation » de ces maladies professionnelles figurent dans le Tableau 1. On compte en moyenne 18 maladies

* *Ingénieur en radioprotection — Confédération Française Démocratique du Travail (CFDT)*

Tableau 1
Evolution du nombre de maladies professionnelles radio-induites reconnues

| Année | Nombre d'affections radio-induites reconnues | | Décès survenus avant fixation d'une rente | | Nombre total de maladies professionnelles reconnues ** |
|---------|--|----------------|---|---------------|--|
| | Régime «mineur» *** | Régime général | Tableau 6 | Tous tableaux | |
| 1962 | 1 | 21 | 1 | 31 | 4.399 |
| 1963 | 1 | 14 | 1 | 18 | 4.065 |
| 1964 | 0 | 23 | 3 | 13 | 4.842 |
| 1965 | 1 | 21 | 1 | 18 | 4.442 |
| 1966 | 2 | 20 | 3 | 22 | 4.716 |
| 1967 | 0 | 21 | 9 | 28 | 4.419 |
| 1968 | 1 | 18 | 5 | 27 | 4.124 |
| 1969 | 2 | 27 | 2 | 36 | 4.061 |
| 1970 | 2 | 14 | 2 | 21 | 3.972 |
| 1971 | 0 | 18 | 4 | 28 | 4.349 |
| 1972 | 1 | 18 | 1 | 21 | 4.330 |
| 1973 | 4 | 16 | 5 | 18 | 4.580 |
| 1974 | 1 | 19 | 7 | 25 | 4.658 |
| 1975 | 1 | 12 | 2 | 18 | 4.579 |
| 1976 | 3 | 11 | 1 | 35 | 4.703 |
| 1977 | 3 | 15 | 4 | 34 | 4.111 |
| 1978 | 2 | 18 | 6 | 43 | 4.003 |
| 1979 | 1 | 18 | 4 | 36 | 4.095 |
| 1980 | 2 | 17 | 6 | 44 | 3.834 |
| 1981 | 2 | 19 | 8 | 55 | 4.101 |
| 1982 | 5 | 20 | 3 | 43 | 4.395 |
| 1983 | 0 | 19 | 7 | 47 | 5.114 |
| 1984 | 2 | 12 | 5 | 48 | 5.018 |
| 1985 | 4 | 16 | 3 | 49 | 4.611 |
| 1962-85 | 1,7* | 17,8 * | 3,88* | 31,6 * | 4.205 * |

* Valeurs moyennes pour la période considérée.

** Tous tableaux confondus.

*** Mineurs d'uranium qui ont, comme les autres mineurs (charbon, fer, etc...), un régime particulier d'assurance sociale.

radio-induites «reconnues» par an, soit 0,42 % du total des affections professionnelles. Cependant le nombre moyen de décès résultant de maladies radio-induites qui surviennent durant la procédure administrative de reconnaissance de la maladie représente 12,3 % de l'ensemble des décès dénombrés en moyenne chaque année.

La méconnaissance par les salariés de ce système de réparation explique en partie le faible nombre de maladies radio-induites reconnues.

Par ailleurs, une fraction importante des cancers se manifeste après la fin de la vie active, ce qui réduit encore les chances d'une déclaration de la maladie professionnelle.

Ainsi, de l'examen de l'activité professionnelle de 105 patients atteints en France de leucémie à trileucocytes, il ressort que 8 cas surviennent après utilisation professionnelle fréquente de la radiographie médicale [FLA 87].

LES MOYENS DE LA PROTECTION DES TRAVAILLEURS

La protection des travailleurs contre les rayonnements ionisants vise à **empêcher** l'apparition de dommages consécutifs à des irradiations externes ou à des contaminations internes *importantes* et à **réduire** au niveau le plus bas les expositions *chroniques de faibles niveaux*.

Les effets non aléatoires

Dans le premier type d'affection, la gravité des manifestations cliniques dépendra de l'importance des doses reçues. En dessous d'un certain niveau d'irradiation, ou **seuil**, elles n'apparaîtront pas. En limitant les expositions professionnelles à des niveaux significativement plus bas que ces doses-seuils, on n'observera rien.

Les effets non-aléatoires des rayonnements ionisants peuvent donc être évités à l'aide de moyens techniques et d'une organisation du travail appropriés.

Il ne subsistera alors que des situations accidentelles qui regroupent généralement, de manière très imbriquée, des causes matérielles et humaines.

Les effets aléatoires

Depuis le début de la deuxième moitié de ce siècle, les responsables de la prévention des risques des rayonnements, notamment la Commission Internationale de Protection Radiologique — la CIPR — ont pris en compte les risques aléatoires pour proposer des «Normes Fondamentales de Radioprotection».

Les effets de type aléatoire n'affecteront qu'une petite fraction des personnes exposées. De plus, la probabilité de les voir apparaître sera d'autant plus élevée que les doses reçues augmenteront.

Le principe des limites d'exposition

Dans l'hypothèse où (grâce essentiellement à des études épidémiologiques) on dispose d'une relation «dose-effet», il est possible de fixer des «normes» de protection. On notera cependant que si dans un premier temps, la relation «dose-effet» est évaluée au moyen de données scientifiques et techniques, la deuxième phase, portant sur la fixation des normes, relève d'une approche sociale : la notion de «risque acceptable».

Quand un groupe important de travailleurs est exposé à un agent toxique tel que les rayonnements ionisants par exemple, le niveau d'exposition et donc les risques encourus par chacune des personnes exposées varient de manière plus ou moins importante.

Une solution consiste alors, comme l'a fait la CIPR dans sa publication n° 26 [CIP 77], à définir un risque moyen acceptable et un risque maximal admissible.

Pour fixer le niveau de risque «acceptable», la CIPR avait pris pour base la mortalité observée dans les activités industrielles réputées sûres, comme la métallurgie. Les niveaux d'irradiation «acceptables» correspondants étaient fondés sur le principe d'une relation linéaire entre la dose de rayonnement reçue et l'effet produit (à l'augmentation de la dose correspond un accroissement régulier de l'effet). Cette relation était qualifiée de «prudente» par la CIPR.

Cette relation était représentée par une droite définie par un système de coordonnées (Figure 1).

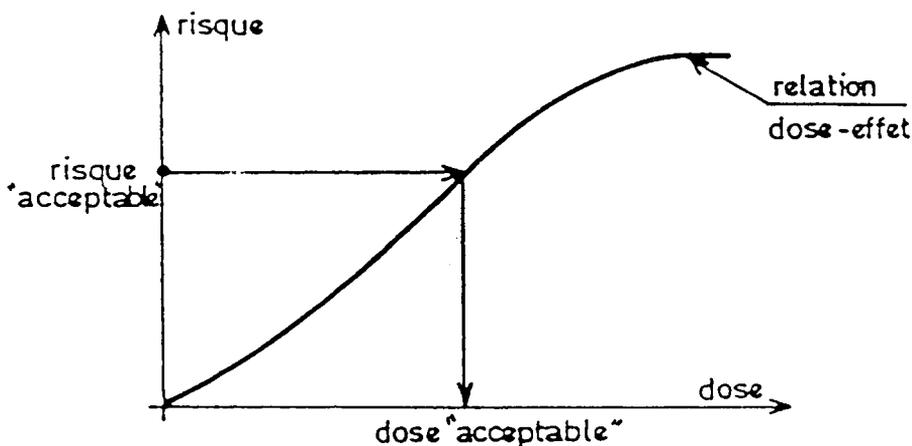


Figure 1
La relation «dose-effet»

La pente de la droite traduit l'**importance de l'effet** des irradiations. Si la droite est très proche de l'horizontale, cela signifie qu'il faut une dose de rayonnement relativement importante (axe horizontal, ou abscisse) pour produire un effet modéré (axe vertical, ou ordonnée).

Si au contraire la pente est très inclinée, très accentuée, cela signifie qu'une dose de rayonnement relativement modérée entraînera un effet important.

La droite proposée en 1977 par la CIPR pour représenter la relation entre les doses d'irradiation et les effets qu'elles produisent (la «relation dose-effet») passait par un point qui correspond à un **risque «acceptable»** (représenté en ordonnée) de 125 *décès* par cancer, et à une **dose globale** de 1 million de rems répartie entre plusieurs individus (représentée en abscisse) (1). A cet effet somatique s'**ajoutait** un risque «acceptable» de 40 anomalies génétiques graves chez les enfants *vivants* des deux premières générations issues de la population irradiée (2). Ce risque génétique était **doublé** (80 anomalies génétiques graves (3)) lorsqu'on prenait en considération la totalité des générations issues de la population irradiée.

LES ELEMENTS D'UNE REVISION DES NORMES

L'évolution des risques industriels

Les chiffres relatifs à la mortalité par accident dans les industries sûres retenus par la CIPR sont antérieurs à l'année 1976. **Or ce niveau de risque n'est pas une donnée figée.** L'effort des différents acteurs de la prévention a réduit de près d'un facteur deux ce niveau de risque, comme en témoignent par exemple les résultats publiés, pour la France, par la Caisse Nationale de l'Assurance Maladie des Travailleurs Salariés, la CNAM (Tableau 2).

(1) 1 million de rems = 10.000 sieverts. Cela peut être 1 rem reçu individuellement par 1 million de personnes, ou 10 rems reçus individuellement par 100.000 personnes, ou 50 rems reçus individuellement par 20.000 personnes, etc...

Une seule personne recevant une dose de 1 rem a donc 1,25 «chance» sur 10 000 (125 sur 1 million ou encore $1,25 \times 10^{-4}$) de mourir d'un cancer radio-induit.

(2) soit $0,4 \times 10^{-4}$ anomalie génétique grave pour une dose de 1 rem reçue par une seule personne = 4 «chances» sur 100.000 de naître porteur d'une grave malformation génétique pour un enfant issu en première ou en seconde génération d'une personne ayant reçu avant la conception une irradiation de 1 rem,

(3) soit $0,8 \times 10^{-4}$ anomalie génétique grave pour une dose de 1 rem reçue par une seule personne = 8 «chances» sur 100.000 de naître porteur d'une grave malformation génétique pour un enfant issu directement ou indirectement d'une personne ayant reçu avant la conception une irradiation de 1 rem.

Tableau 2

La mortalité due aux activités professionnelles en France

| Année | Effectifs * | Décès | | Risques par individus ** |
|-------|-------------|--------|----------|--------------------------|
| | | AT *** | MP **** | AT *** |
| 1976 | 13 642 945 | 1 907 | 35 + 172 | 1,40.10 ⁻⁴ |
| 1977 | 13 756 444 | 1 709 | 34 + 151 | 1,24.10 ⁻⁴ |
| 1978 | 13 708 109 | 1 567 | 43 + 166 | 1,14.10 ⁻⁴ |
| 1979 | 13 956 188 | 1 484 | 36 + 148 | 1,06.10 ⁻⁴ |
| 1980 | 14 075 205 | 1 423 | 44 + 199 | 1,01.10 ⁻⁴ |
| 1981 | 13 956 777 | 1 423 | 55 + 198 | 1,02.10 ⁻⁴ |
| 1982 | 14 064 535 | 1 359 | 43 + 137 | 0,97.10 ⁻⁴ |
| 1983 | 13 816 591 | 1 282 | 47 + 133 | 0,93.10 ⁻⁴ |
| 1984 | 13 515 024 | 1 130 | 48 + 162 | 0,84.10 ⁻⁴ |
| 1985 | 13 535 838 | 1 067 | 49 + 138 | 0,79.10 ⁻⁴ |

* Salariés du régime général de la Sécurité Sociale.

** Nombre de décès divisé par l'effectif de la population étudiée.

*** AT : accident du travail.

**** MP : Décès consécutifs à une maladie professionnelle = décès survenant avant la fixation d'une rente + décès observés après la reconnaissance de la maladie professionnelle.

Le niveau de risque considéré comme « socialement acceptable » par la CIPR, et donc les limites d'irradiation à ne pas dépasser qui en découlent, devraient être abaissées d'autant.

L'évaluation de la relation « dose-effet » : l'évolution des estimations des doses reçues par les survivants d'Hiroshima et Nagasaki

L'établissement, par différents organismes internationaux, d'une relation entre la dose et l'effet produit repose sur deux sortes d'éléments. D'une part sur la *mortalité par cancers et leucémies* observée chez les survivants d'Hiroshima et Nagasaki, et d'autre part sur l'*estimation a posteriori des doses* qui ont pu être reçues par chacun de ces survivants lors du bombardement.

En ce qui concerne l'évaluation des doses reçues par les survivants, elle a été effectuée au moyen de données dosimétriques arrêtées en 1965. Nous allons rappeler les principales étapes de son élaboration [AUX 80].

En 1947, la Commission ABCC (Atomic Bomb Casualty Commission) avait estimé que l'évaluation des doses reçues par les survivants était impossible. Elle proposait de substituer à cette valeur la distance des

rescapés par rapport au «point zéro», c'est-à-dire à l'aplomb de chacune des deux bombes.

En 1955, un test en vraie grandeur fut réalisé dans le désert du Nevada : l'«Opération Teapot». A partir de mesures dosimétriques gamma et neutron (c'est-à-dire à partir d'une évaluation des doses de rayonnement de type «gamma» et de type «neutron» émis par l'explosion) et compte tenu de différents paramètres (notamment la variation de la densité de l'air rencontré par les différents rayonnements), on établit alors une relation entre la distance par rapport au lieu de l'explosion (l'hypocentre) et la dose de rayonnement reçue par les survivants. Au début de l'année 1956, on disposait d'une description réputée définitive du champ des rayonnements émis.

En 1957, un essai était à nouveau entrepris dans le Nevada (Opération Plumbbob) pour tenir compte de l'absorption des particules à l'intérieur des maisons japonaises. Deux maisons furent construites à l'intérieur desquelles furent placés de nombreux détecteurs.

En 1958, d'autres mesures furent effectuées (Opération Hardtack II) au moyen de 7 nouvelles maisons.

Enfin, en 1962, des mesures complémentaires furent réalisées en suspendant en haut d'une tour métallique un petit réacteur de recherche (Opération Bren).

Parallèlement, des travaux avaient été conduits pour évaluer la puissance des deux bombes : $12,5 \pm 1$ kilotonnes de TNT (trinitrotoluène) pour Hiroshima et 22 ± 2 kilotonnes pour Nagasaki.

L'ensemble de ces évaluations a permis d'obtenir en 1965 ce que l'on appelait la «Tentative Dosimetry 65» (Proposition de Dosimétrie 1965) ou TD 65.

Le 31 mai 1980, deux physiciens du centre de recherche militaire de Livermore (Californie), MM. William Loewe et Edgar Mendelsohn [LOE 81] vont bousculer tout cet édifice en présentant leur propre évaluation des effets physiques des explosions. Les travaux qui découlèrent de cette nouvelle évaluation montraient notamment que l'irradiation par les neutrons (et donc les doses reçues) à Hiroshima avait été **fortement surévaluée**. Ceci était dû notamment au fait que la forte humidité relative de l'air n'avait pas été prise en compte dans les calculs antérieurs.

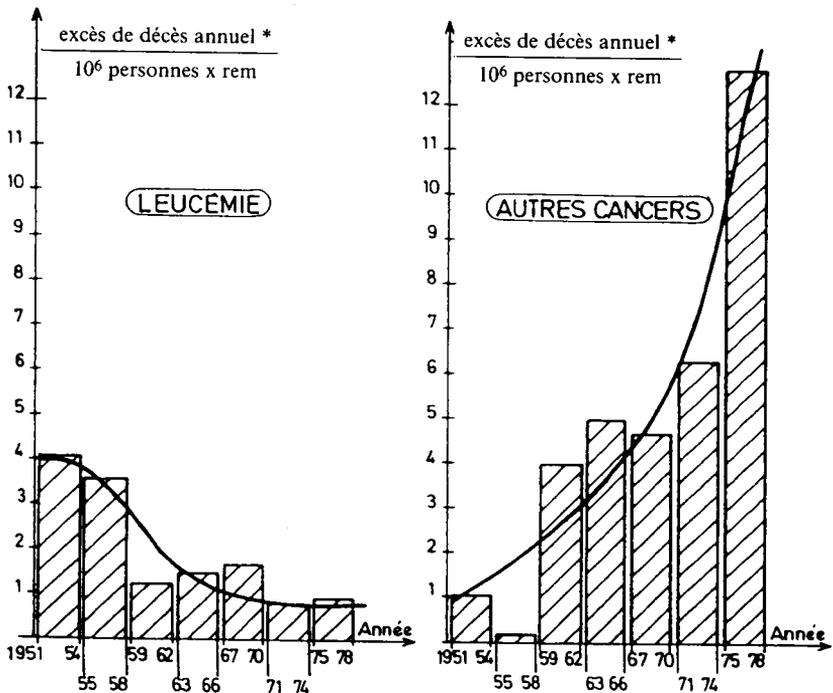
Une controverse importante était ouverte.

En octobre 1981, Loewe et Mendelsohn publient leurs nouvelles évaluations des doses reçues avec les neutrons et les rayons gamma pour les deux villes d'Hiroshima et Nagasaki. Des modifications importantes, qui concernent plus particulièrement Hiroshima, conduisent à des relations «dose-effet» pour la leucémie et le cancer du sein notamment plus cohérentes que celles qui découlaient des évaluations dosimétriques de 1965 [STR 81].

Un grand nombre de travaux ont continué à être publiés sur les nouvelles évaluations dosimétriques (nouvelles valeurs de calcul pour l'absorption du rayonnement dans les matériaux des maisons et pour les doses véritablement reçues par les organes notamment) et sur leurs conséquences. Ils vont tous dans le sens d'une **réévaluation à la baisse des doses effectivement reçues** par les survivants d'Hiroshima et Nagasaki.

L'évaluation de la relation « dose-effet » : évolution du nombre annuel de décès parmi les survivants

En ce qui concerne maintenant l'évolution de la mortalité par cancer et leucémie chez les survivants, si l'on considère par exemple la mortalité à Hiroshima [BEE 78], on observe que l'excès de décès par leucémie s'est stabilisé alors que l'excès de décès par autres types de cancers **continue d'augmenter** au fil des ans (Figure 2).



* Quantité annuelle de leucémies radio-induites mortelles/d'autres cancers radio-induits mortels apparus par million de rems délivrés globalement à l'ensemble de la population (ou « personnes x rems »).

Figure 2
Evolution du risque absolu de décès par cancer des survivants d'Hiroshima

Ceci signifie que les effets de l'irradiation des populations d'Hiroshima n'ont pas fini de se manifester, loin de là, et qu'ils seront plus importants que ce que l'on pensait initialement.

Dans l'hypothèse où cet excès de cancers serait constant (indépendant de facteurs tels que l'âge, le sexe, l'état de santé, etc... des sujets), on parlera de **risque absolu** ; au contraire, s'il s'avère proportionnel au taux de cancers « spontanés », il sera qualifié de **risque relatif**. Cette dernière hypothèse est la plus pénalisante dans la mesure où le taux « naturel » de cancers augmente de manière importante en particulier avec l'âge.

Il est encore trop tôt pour savoir lequel de ces deux principes caractérise l'accroissement du nombre des cancers observé au fil des ans à Hiroshima.

Quoi qu'il en soit, la CIPR va devoir procéder à une réévaluation de l'effet des rayonnements à Hiroshima et Nagasaki : ces effets seront significativement plus importants que ceux qu'elle avait estimés en 1977 avec les données du moment [CIP 77].

Dans sa déclaration (« statement ») de septembre 1987 à Côme (Italie), la CIPR a estimé que le seul fait de l'augmentation des cancers observée à ce jour sur l'ensemble de la population exposée revient à **multiplier par 2 le risque lié aux rayonnements ionisants** [CIP 87].

Donc sous-évaluation de l'effet des rayonnements et sur-évaluation des doses effectivement reçues conduisent à une réévaluation importante de la relation dose-effet sur laquelle s'appuie aujourd'hui le système international de radioprotection.

Pour une meilleure prise en compte des cancers radio-induits.

Après avoir développé dans sa publication n° 26 le principe du **détriment** qui permet de considérer les divers **niveaux de gravité** d'un dommage, la CIPR a en pratique abandonné ce concept.

En effet, elle a considéré uniquement la **mortalité** par cancer radio-induit, ce qui pose un double problème.

Tout d'abord, il est abusif de considérer que l'apparition d'un cancer qui ne sera pas mortel constitue un risque socialement nul.

Ensuite, l'estimation des probabilités de survie (donc de mortalité) se fait sur des bases discutables : la survie à 5 ans. Les seuls cancers mortels qui soient pris en considération sont ceux où le décès survient dans un délai de 5 ans après le traitement médical ou l'intervention chirurgicale. Passé ce délai, aucun décès par cancer ne sera comptabilisé en tant que tel. On considérera alors que le cancer présente un risque résiduel nul.

Le taux de cancers mortels à imputer aux irradiations est donc aujourd'hui sous-estimé. Ceci signifie que l'effet (le risque) associé à une

irradiation donnée est plus important que ne l'indiquent les organismes comme la CIPR. Pour ne pas dépasser le niveau de risque considéré par eux comme « acceptable », il faut en conséquence abaisser d'autant la dose maximale « admissible ».

La linéarité de la relation « dose-effet ».

Jusqu'à une date récente, on a présenté le principe de l'extrapolation aux faibles doses des effets des fortes doses comme étant une approche « prudente » de la réalité. Le qualificatif signifiait que l'on ne croyait pas vraiment que l'effet des irradiations soit proportionnel à la dose reçue — même dans la gamme des très faibles doses. Le fait de partir néanmoins de ce postulat pour fixer le système de « limitation de dose » était considéré comme un facteur de sécurité supplémentaire.

Or l'examen de la mortalité par cancer d'une fraction de la population étudiée à Hiroshima et Nagasaki, par rapport à la nouvelle dosimétrie, met en évidence une **relation linéaire entre le risque relatif et la dose**, (Echantillon de 61911 personnes pour Hiroshima et de 31703 pour Nagasaki, dit « Life Span Study » ou LSS) [RAD 86] (Figure 3).

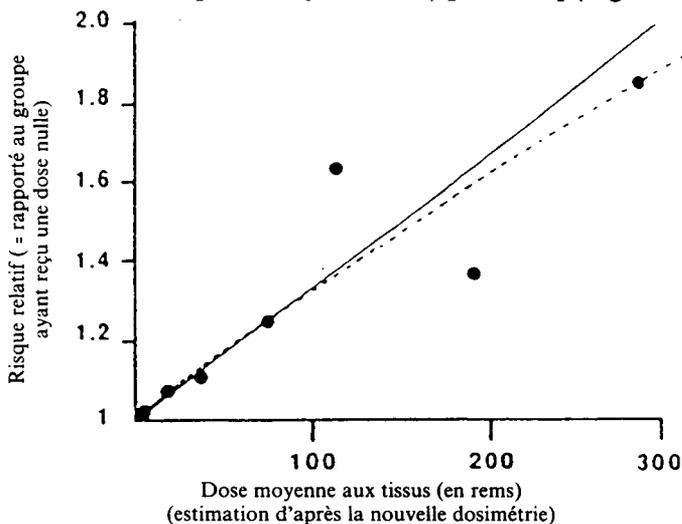


Figure 3

Mortalité par cancers dans la population LSS en fonction de la dose moyenne aux tissus (tous cancers, sauf leucémie)

Les données correspondant à la période 1955-1982, concernent les deux villes d'Hiroshima et Nagasaki, et l'ensemble des deux sexes tous âges confondus. Les doses sont estimées à partir du nouveau système de dosimétrie, en affectant aux neutrons un facteur de finalité égal à 10. En ligne pleine, la ligne droite qui passe par l'origine et qui représente le mieux les données. En ligne pointillée : la courbe qui représente l'équation $Effet = aD + bD^2$ où D = la dose, a et b = des constantes. La courbure vers le bas indique que le coefficient b est négatif.

CONCLUSIONS

Les dernières informations publiées prévoient qu'à la mi-1988 le Comité Scientifique de l'ONU chargé de l'étude des effets des rayonnements — UNSCEAR — **se prononcera définitivement sur la révision des facteurs de risques.**

On devrait alors, sans attendre 1990 comme le suggère la CIPR dans sa déclaration de Côme [CIP 87], proposer au législateur français une réduction des limites de dose des **travailleurs** exposés aux rayonnements ionisants.

Une réduction d'un facteur au moins égal à 2,5 devrait d'ores et déjà s'imposer si l'on prend en compte l'ensemble des paramètres développés dans le présent exposé.

Il est clair par ailleurs que les limites de dose des personnes du public doivent être révisées à la baisse et tout particulièrement celles des enfants de moins de 10 ans, pour lesquels un risque supérieur à celui des adultes a été mis en évidence.

*
* *

Annexe

Chronologie des irradiations chroniques ou accidentelles de la peau et des mains depuis la découverte des rayons X

8 novembre 1895 : Le Professeur de Physique Conrad Röntgen découvre les rayons X à l'Université de Würzburg. En travaillant dans une pièce obscure, il remarque qu'un morceau de carton recouvert de platino-cyanure de baryum émettait une lueur verdâtre (fluorescence) lorsqu'une décharge électrique se produisait dans un tube de Crookes placé à proximité.

22 décembre 1895 : Röntgen fait une conférence scientifique devant la Société Physico-Médicale de Würzburg. Il fait une démonstration publique des effets de fluorescence. Sur sa demande, l'anatomiste Von Kollikert réalise une radiophotographie de sa main qui est développée sur le champ.

avril 1896 : Daniel (USA) décrit une grave réaction cutanée survenue après une longue exposition aux rayons X.

1896 : Sur les conseils d'Henri Poincaré, Becquerel entreprend en 1896 une étude méthodique du rapport entre l'émission de lumière visible et de rayons X.

été 1896 : Deux mois après la découverte de Röntgen, Grubbe fabriquant aux Etats-Unis des tubes de Crookes constate sur le dos de sa main gauche, fréquemment exposée, une rougeur douloureuse accompagnée d'oedème et suivie d'une dépilation, de formation d'ampoules puis de crevasses et d'ulcères. La guérison est lente. Il devait mourir d'un cancer en 1960.

novembre 1896 : Becquerel découvre l'émission spontanée de rayonnements issus de composés uranifères.

10 juillet 1897 : La radiolésion des ongles est appelée «main de röntgen».

Première «excision-greffe» par l'américain Allen Porter sur un jeune manipulateur radio du Massachussets — Walter Dood. De 1902 à 1916, bien qu'il ait interrompu tout travail radiologique, Dood a subi 25 opérations.

Le premier cancer digital avait nécessité l'amputation de deux annulaires. En 1909, la chirurgie ne maîtrise plus la répétition des accidents cutanés. En 1915, il est procédé à l'amputation de la main gauche et en 1916 à l'amputation partielle de la main droite.

Le 17 décembre 1917, Dood décède. Un cancer secondaire avait envahi les deux poumons.

1897 : Au Congrès de Dermatologie à Moscou, les français Oudin, Barthélémy et Darver font état de 60 observations de radiodermites sévères et des premières constatations histologiques sur ces lésions.

Le Docteur Antoine Bécclère, médecin des hôpitaux de Paris, spécialise son service dans l'étude de la radiologie.

juillet 1898 : Mme et Mr Curie découvrent l'élément radioactif auquel on a donné le nom de «polonium».

décembre 1898 : Les époux Curie annoncent la découverte du radium.

1898 : William Rollins, passionné par les rayons X, met en évidence la mortalité de cobayes dans les jours qui suivent leur irradiation.

Les allemands Marcuse puis Leppin, l'américain Daniel et l'anglais Stephen publient des rapports presque simultanés sur des cas de brûlures graves par rayons X.

octobre 1900 : Walkoff signale les premières atteintes de la peau des doigts des praticiens et physiciens appelés à manipuler du radium.

1901 : Röntgen est le premier physicien à recevoir le prix Nobel de physique.

1901 : En travaillant avec les Curie, Becquerel remarque une rougeur de la peau au droit de la poche dans laquelle il avait mis une fiole de radium. En changeant de poche, il a la confirmation de l'induction de brûlures par les rayonnements émis par le radium. Pierre Curie exposa alors volontairement une partie d'un de ses bras à une source de rayonnement pendant dix heures. La réaction cutanée qui s'ensuivit ne guérit qu'au bout de quatre mois.

1902 : Rollins en Grande Bretagne propose une première **norme de tolérance** pour les rayons X.

1902 : Friebens et Albers-Schoenberg signalent à la *Société Médicale de Hambourg* le premier cas de cancer apparu sur une radiodermite professionnelle.

Il s'agissait d'un homme de 33 ans qui travaillait depuis quatre ans dans une fabrique d'ampoules de rayons X.

Il se servait de sa main pour la mise au point. Il en résultait une radiodermite chronique puis un cancer qui nécessita l'amputation du bras puis la désarticulation de l'épaule.

1903 : Les époux Curie reçoivent avec Becquerel le prix Nobel de physique.

1904 : Au Congrès de Dermatologie à Berlin, les docteurs français Gaucher et Lacapère insistent sur le danger radiologique.

Le Docteur Antoine Bécère publie un article intitulé «Les moyens de protection du médecin et des malades contre l'action nocive des nouvelles radiations : rayons de röntgen et rayons du radium».

1906 : Le Docteur Lehman préconise des moyens de protection : gants et écrans plombés. Il insiste sur leur emploi tant par les ouvriers qui fabriquent les tubes à rayons X que par les médecins dont il souligne la trop fréquente inconscience.

1906 : Bergonié et Tribondeau établissent une loi, en travaillant avec des rayons X, qui montre que les cellules sont d'autant plus sensibles aux radiolésions que :

- leur **activité reproductrice** est grande (couche basale de la peau notamment),

- leur morphologie et leur fonction sont **moins définitivement fixées** (tissus de l'embryon par exemple),

- leur **capacité de division** est conservée plus longtemps (propriété utilisée en radiothérapie).

1907 : Le chirurgien Allen Porter recueille dans la littérature mondiale 10 cas de radiocarcinomes sur des mains de médecins ou de techniciens. Il y ajoute deux observations personnelles chez les médecins.

1908 : Porter et White publient 24 cas recueillis en un an dans la littérature puis y ajoutent 11 cas personnels. Ils totalisent ainsi 47 observations.

1909 : Porter publie le premier article de base sur la technique de l'excision-greffe comme traitement des radiodermes chroniques. Sur 47 radiodermes opérées, il signale 76,5 % de dégénérescences.

Wohlbach décrit l'histologie des radiodégénérescences malignes.

1911 : Hesse dans une étude publiée à Leipzig analyse 94 observations parmi lesquelles 54 cancérisations (25 chez des médecins et 24 chez des techniciens).

1911 : Marie Curie reçoit un deuxième prix Nobel en chimie.

1916 : Le radiologiste anglais Russ publie la première étude générale sur les problèmes de radioprotection. La British Röntgen Society adopte une résolution soulignant les dangers des rayons ionisants. Elle recommande un ensemble de mesures propre à les éviter.

1917 : Le chirurgien français Antoine Bécère lance un cri d'alarme. Il estime que les chirurgiens utilisent de façon immodérée les rayons X pour la recherche d'éclats métalliques chez les blessés de guerre. Il décrit les irradiations chroniques

qui se traduisent par une sclérose de la peau qui aboutit à l'oblitération progressive des artères nourricières du derme, puis à une ulcération douloureuse et rebelle.

1921 : Wohlbach met en lumière l'**action cumulative des rayons** dans la pathogénèse du cancer. Il confirmera en 1925 la nocivité de la répétition et de l'accumulation des doses.

1922 : R. Ledoux-Lebard publie dans *Paris Médical* un article intitulé «Le cancer des radiologistes» où il relève 77 cas de cancers. Il estime à plus de 100 le nombre de radiologistes déjà décédés par cancer professionnel.

1923 : Leitch publie trois cas de cancers induits par le radium.

1923 : Porter analyse 107 observations de radiodermites (dont 44 personnelles) des mains de chirurgiens.

1924 : Willis évoque le cas d'un homme qui prépare régulièrement de l'eau radioactive par dissolution de petites quantités de radium. Dix ans après, il est procédé à l'amputation du pouce et du majeur gauche de cet homme atteints d'épithélioma.

février 1925 : Cri d'alarme lancé à l'Académie de Médecine par d'Arsonval, Bécclère, Broca et Mme Curie devant les risques d'irradiation dans l'industrie de la préparation de corps radioactifs.

1926 : Lachapelle publie à Bordeaux une thèse sur l'étude des radionécroses tardives.

1928 : Geiger et Müller mettent au point un nouveau type de compteur à gaz.

1928 : Lors du IIème Congrès International de Radiologie est formée la première Commission Internationale de Protection Radiologique.

Le **röntgen** est la nouvelle unité qui permettra de quantifier les rayonnements.

1929 : Mason publie un travail sur 25 cancers de la main. 30 % sont dus aux rayons X. Il confirme les travaux de Wohlbach sur l'effet cumulatif des doses.

1931 : Michael tire les mêmes conclusions sur le pourcentage de radio-inductions.

1931 : Haagensen rapporte 13 observations de cancers après exposition prolongée aux rayons X et au radium.

Le premier **code de protection** voit le jour, cependant que s'accroît de façon inquiétante le nombre de médecins atteints. La dose annuelle à ne pas dépasser est fixée à 60 röntgens.

1932 : Chadwick découvre le neutron.

1934 : Le 10 février la revue *Nature* annonce la découverte de la radio-activité artificielle par Irène et Frédéric Joliot-Curie. Ils avaient isolé le phosphore-30 obtenu par réaction (action de rayonnements alpha entraînant l'émission de neutrons) sur une feuille d'aluminium.

1936 : Borak définit des doses létales :

1 200 röntgens pour les glandes sébacées

- 1 600 röntgens pour les follicules pileux
- 2 000 röntgens pour l'épiderme
- 2 500 röntgens pour les glandes sudoripares et les vaisseaux.

1936 : Leddy a vu 55 radiodermes sur des mains de médecins, 27 % étaient dégénérées.

1936 : Un simple monument est inauguré à Hambourg. Il porte l'inscription suivante : « Aux Röntgenologues et radiologues de tous les pays qui ont donné leur vie dans la lutte contre les maux de l'humanité ». Les noms de 110 personnes y furent inscrits au début. D'autres vinrent s'y ajouter au fur et à mesure des décès.

1938 : Sanders publie des statistiques portant sur 259 radiodermes chroniques (induites par les rayons X et le radium 226) dont 80 % aux mains. La dégénérescence ne portait que sur 25 cas (10 %).

1941 : Rigos rapporte 80 cas puis 115 une autre fois. Il confirme la précédente statistique avec 26 % puis 33 % de dégénérescences.

1941 : Leddy et Rigos relèvent 26 % de dégénérescences sur 80 cas.

2 décembre 1942 : Le premier réacteur nucléaire diverge à l'Université de Chicago.

14 juin 1942 : La revue *Science* (USA) annonçait que les différents éléments radioactifs fabriqués dans les réacteurs nucléaires étaient à la disposition des médecins.

16 août 1949 : Le Professeur Lagrot opère à Alger un chirurgien français ; c'est la première opération qui est effectuée en Europe sur la technique expérimentée par Allen Porter en 1897. Ce n'est qu'en 1948 que l'on eut connaissance en France des travaux de ce chirurgien américain.

1950 : Un travail collectif (Teloh, Mason et Wheelock) décrit cinq catégories histologiques (cinq types d'atteinte tissulaire) :

- *1ère catégorie* : simple réaction cutanée inflammatoire, atrophie de l'épiderme à des degrés variables.
- *2ème catégorie* : apparition de kératoses (épaissement de la couche cornée) traduisant des anomalies de maturation de la couche de cellules basales.
- *3ème catégorie* : images de cancer in situ.
- *4ème catégorie* : cancer invasif.
- *5ème catégorie* : le cadre local est dépassé et l'on observe même des métastases.

1952 : Après les radiologues, les techniciens, les chirurgiens et les médecins, on découvre une autre catégorie de victimes : les dentistes.

Le radio-cancer des mains est souligné par Mohs.

Plus tard Cole en 1953, Hagel en 1962 font état de nouvelles observations concernant les dentistes.

1955 : Young et Kunkel dénombrent 194 cas de dommages graves chez les dentistes. La dégénérescence cancéreuse concerne 31 % des cas.

1956 : C'est la profession de vétérinaire qui vient compléter la liste des professions avec les travaux d'Abrahams. En 1964 Hartwell et en 1967 le Professeur Lagrot font des publications sur les radiodermes professionnelles des doigts observées chez les vétérinaires.

1957 : Sur 79 cas traités, dont 4 professionnels, Macomber relève 17 % de dégénérescences.

1959 : Duperrat et Andrate font état dans la *Presse Médicale* de 52 observations personnelles dont 12 dégénérescences malignes.

Dans une communication au Xème Congrès de Dermatologie à Alger, le Professeur Lagrot dénombre 15 cancers sur 31 radiodermes opérées en 10 ans.

1960 : Peskowa à Prague observe 40 % de dégénérescences pour 46 radiodermes opérées chez des médecins.

1961 : Le Professeur Cuckini de Belluno crée le Syndicat Italien des Médecins Radiolésés.

1964 : Hartwell *et coll.* relèvent 12 cancers sur 39 mains radiodermiques.

1970 : Mouly et Bureau font état de 14 cancers sur 70 mains radiodermiques.

1971 : Le Professeur Lagrot résume son expérience au cours d'une conférence :

- 104 personnes opérées en 21 ans,
- 179 mains opérées (480 doigts),
- 3 à 8 doigts avec une moyenne de 4,7 doigts par malade.

Sur 95 cas professionnels, il y a 90 médecins, 4 ingénieurs et 1 infirmière (radium).

La dégénérescence maligne apparaît dans 55,76 % des cas, ce qui est un taux élevé. Après opération, il n'y a eu que 3 récurrences et un cancer métastatique du poumon.

1972 : Le Professeur Lagrot publie *Les radiodermes des mains*.

Il relate 109 cas de radiodermes opérées de 1948 à 1972 pour environ 300 cas examinés (34 chirurgiens, 7 orthopédistes, 27 médecins généralistes, 2 infirmières, 2 vétérinaires-chirurgiens, 4 ingénieurs radiologistes, 13 radiologues, 9 pneumologues, 11 opérés post-thérapeutiques). La **période de latence** des cancers qu'il observe est de 25,5 ans (**minimum** 6 ans en irradiation chronique, 1 cas en un an pour irradiation aiguë et un **maximum** de 44 ans).

Ce chiffre varie selon les auteurs entre 20 et 25 ans pour la moyenne (8 à 35 ans pour les extrêmes).

Le **délai de développement** du cancer est de 11,6 ans avec des minima de 1 à 2 ans et un maximum de 36 ans. Ces chiffres sont peu différents de ceux des autres auteurs.

1973 : Les Docteurs Gongora et Jammet publient les données cliniques relatives à 25 cas d'irradiations partielles.

Causes de ces irradiations :

— **rayonnement X** :

3 cas pour une énergie de 20 keV environ (4)

7 cas pour une énergie de 40 keV

1 cas pour une énergie de 60 keV

1 cas pour une énergie de 70 keV

— **faisceau d'électrons** :

3 cas

— **rayonnement gamma**

4 cas à l'iridium-192

2 cas au cobalt-60

— **flux mixte**

1 cas dû à une association de rayonnements gamma et de neutrons.

septembre 1981 : Lors du IIIème Congrès National de l'Association de Radioprotection Médicale à St Vincent (Italie), les Docteurs Jammet et Gongora présentent le bilan du suivi de 199 malades accidentés entre 1956 et 1981, soit une moyenne de 8 accidentés par an.

Parmi ces 199 personnes, 56 ont présenté des radiolésions aiguës.

On peut noter que :

— 58 expositions sont relatives à des travaux sous rayons X, soit environ 3 accidentés sur 10,

— 101 personnes ont subi une irradiation gamma, soit 1 accidenté sur 2.

1987 : M. Rodriguez De Oliveira dresse dans la revue *Radioprotection* un répertoire des principaux accidents radiologiques survenus entre 1945 et 1985.

Ces 184 accidents se sont traduits par des irradiations localisées ou globales importantes. Un certain nombre d'entre elles ont nécessité une intervention chirurgicale.

Bibliographie :

[ALE60], [BLA76], [BON69], [CFD80], [FLA81], [GON73], [JAM81], [LAC69], [LAG74], [RAD71], [RAD86], [ROD87], [WAL86], [ZER85].

(4) keV = kiloélectronvolt

BIBLIOGRAPHIE

- [ALE 60] ALEXANDER P., **Les radiations atomiques et la vie** (traduit par H. Marco-vitch) - Gauthier-Villars Editeur, Paris 1960 (224 pages).
- [AUX 80] AUXIER J.A., «Physical dose estimate for A-bomb Survivors. Studies at Oak Ridge, USA» - **Health Physics**, Vol 38, pp 1199-1209, June 1980.
- [BEE 78] BEEBE G.W., KATO H., LAND C.E., «Studies of the mortality of A-Bomb Survivors. Mortality and radiation dose 1950-1974» - **Radiation Research** n° 75, pp 138-201, 1978.
- [BLA 76] BLANQUET P. et BLANC D., **La médecine nucléaire** - Collection «Que sais-je ?», PUF (France), 1976.
- [BON 69] BONET-MAURY P., **La radioprotection** - Collection «Que sais-je ?», PUF (France), 1969.
- [CFD 80] Syndicat CFDT de l'Energie Atomique, **Le Dossier Electronucléaire** - Col-lection Point-Sciences, Ed. Le Seuil, pp. 125-129 et 302-309.
- [CIP 77] Commission Internationale de Protection Radiologique, **Recommandations de la Commission Internationale de Protection Radiologique** (adoptées le 17 janvier 1977)» - Publication CIPR 26, Ed. Pergamon Press.
- [CIP 87] Commission Internationale de Protection Radiologique, «Statement from the 1987 Como meeting of the International Commission on Radiological Protec-tion» - Supplement to **Radiological Protection Bulletin**, n° 86, NRPB, 1987.
- [FLA 81] FLAKUS F.N., «La détection et la mesure des rayonnements ionisants : Bref historique» - **AIEA Bulletin**, Vol. 23, n° 4 pp. 31-36, Décembre 1981.
- [FLA 87] FLANDRIN G., COLLADO S., «Is male predominance (4/1) in hairy cell leukemia related to occupational exposure to ionizing radiation, benzene and other solvents ?» - **British Journal of Haematology**, 67, pp. 119-120, 1987.
- [GON 73] GONGORA R., GONGORA G., JAMMET H., «Données cliniques à propos de 25 cas d'irradiations partielles» - **VIIIème Congrès national de l'ATSR**, 1973.
- [JAM 81] JAMMET H. et GONGORA R., «Radiolésions aiguës localisées : intérêt de la dosimétrie physique et biologique : Etude clinique» - **Annales du 3ème congrès de l'Association Italienne de Radioprotection Médicale**, Saint Vincent (Italie), 13/15 septembre 1981, Ed. Ernesto Strambi (Italie).
- [LAC 69] LACASSAGNE A., «Les pionniers de la protection contre les rayonnements ionisants» - **Radioprotection**, Vol. 3, n° 4 pp. 305-310, 1969.
- [LAG 74] LAGROT F., **Radiodermites des mains** - Doin Editeur, Paris 1974 (231 pages).
- [LOE 81] LOEWE W.E., MENDELSON E., «Revised dose estimates at Hiroshima and Nagasaki» - **Health Physics**, Vol. 41, n° 4, pp. 663-666, October 1981.
- [STR 81] STRAUME T., DOBSON L.R., «Implications of new Hiroshima and Naga-saki dose estimates : Cancer risks and Neutron RBE» - **Health Physics**, Vol. 41, n° 4, pp. 666-671, October 1981.
- [RAD 71] **RADIOPROTECTION**, «Notes recueillies au cours de la conférence du Professeur LAGROT» - **Radioprotection**, Vol. 6, n° 3, pp 187-207, Ed. Dunod, 1971.

- [RAD 86] RADFORD E.P., «Résultats récents concernant les cancers radio-induits parmi les survivants japonais des bombes A», **Conférence de Londres sur les effets biologiques des rayonnements ionisants**, Novembre 1986, Ed. GSIEN-CRII-RAD, pp. 27-41, janvier 1988.
- [ROD 87] RODRIGUES DE OLIVIERA A., «Un répertoire des accidents radiologiques 1945-1985» - **Radioprotection**, Vol. 22, pp. 89-135, 1987.
- [WAL 86] WALL B.F., «90 years of X rays - a celebration» - **Radioprotection Bulletin**, NRPB, n° 69, 1986.
- [ZER 85] ZERBIB J.C., «Les rayonnements ionisants» dans **Les Risques du Travail : pour ne pas perdre sa vie à la gagner** - Ed. La Découverte, pp. 273-280, mars 1985.