Zeitschrift: Bulletin der Schweizerischen Akademie der Medizinischen Wissenschaften = Bulletin de l'Académie suisse des sciences médicales = Bollettino dell' Accademia svizzera delle scienze mediche

Herausgeber: Schweizerische Akademie der Medizinischen Wissenschaften

Band: 12 (1956)

Heft: 5

Artikel: La base expérimentale et la signification de la dose de rayonnement maximum admissible

Autor: Joyet, G.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-307269

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 12.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

C.D.: 612.014.48:614.8

Laboratoire du Bétatron et des Isotopes (PD Dr G. Joyet)
de l'Institut de Radiologie de l'Université de Zurich (Prof. H. R. Schinz)

La base expérimentale et la signification de la dose de rayonnement maximum admissible[1]

Par **G. Joyet**

Les doses de rayonnement maxima admissibles pour l'homme, fixées en 1950 puis en 1953 par la Commission Internationale de Protection contre les Radiations, déterminent, d'une part, les doses admissibles lors d'une irradiation externe, et d'autre part, par l'irradiation maximum de l'organe critique, les quantités d'isotopes maxima admissibles pour l'organisme entier, pour l'air respiré et pour l'eau potable. Les doses de rayonnement maxima admissibles forment ainsi la base de tout notre système de protection, lors de l'exposition de l'homme aux radiations ionisantes.

A l'aide des données scientifiques les plus récentes, il est possible de préciser quels sont les effets biologiques encore décelables, qui sont exercés par les faibles doses de radiation au niveau ou au voisinage de la dose admissible actuelle:

1. *Lorenz* et al. (1, 2, 3) ainsi que *Eschenbrenner* et *Miller* (4), en exposant de *petits animaux*, souris, cobayes, lapins, d'une façon continue au rayonnement γ du radium, à raison de 0,11, 1,1, 2,2, 4,4 et 8,8 r par journée de 8 heures, pour des groupes différents, ont observé, chez les sujets exposés, la *survie moyenne*, *l'accroissement pondéral*, *la formule sanguine*, *le poids des testicules* et enfin, chez des souches de souris sélectionnées, l'apparition des tumeurs cancéreuses. Les résultats principaux de cette étude sont résumés dans le tableau 1, avec l'indication du seuil de la dose journalière, à partir de laquelle on observe une modification significative du test considéré.

Il résulte de ces travaux que pour une exposition continue aux radiations γ, c'est au voisinage de 1 ou 2 r par jour que se situe, pour la première génération irradiée, le seuil d'une action biologique observable sur la souris,

[1] Résumé d'un travail de bibliographie, pour préciser les risques présentés par l'exposition de l'homme à la dose de rayonnement maximum admissible. Le travail complet sera publié dans la «Zeitschrift für Isotopenforschung in der Medizin».

Tableau 1
Seuil d'action biologique du rayonnement γ

Test observé	Animal	Seuil r/jour 8 h.
Réduction de la vie	Souris LAF_1 ♂ et ♀	$\geqslant 2{,}2$
Réduction de la vie	Cobaye	$\geqslant 2{,}2$
Augmentation du poids	Souris LAF_1 ♂ et ♀	$\geqslant 1{,}1$ $\leqslant 4{,}4$
Poids des testicules	Souris LAF_1	$\geqslant 1{,}1$
Sang:		
lymphocytes	Lapin	$\geqslant 1{,}1$
plaquettes	Lapin	$\geqslant 2{,}2$
lymphocytes	Souris	$\geqslant 2{,}2$
pancytopénie	Cobaye	$\geqslant 2{,}2$

le cobaye et le lapin. La dose journalière de 0,11 r par jour ne produit jamais d'effet biologique observable.

2. La signification des observations sur le *sang de l'homme* est considérablement limitée par les erreurs inhérentes à la détermination de la formule sanguine d'une part, et d'autre part par les variations physiologiques habituelles de celle-ci. Dans un intervalle de 3–6 mois, des variations du nombre total de leucocytes et du nombre de lymphocytes de 21–23 % doivent être considérées comme normales. Par ailleurs, les essais sur l'animal de *Jacobsen* et *Marks* (5) et les observations de *Jones* (6) sur les traitements des leucémies et des polycythémies chez l'homme par le phosphore 32, montrent d'une façon sensiblement convergente qu'une dose de rayonnement d'un rœntgen équivalent physique provoque une chute des leucocytes et des lymphocytes de 0,5–1 %, pour des doses journalières de 1–15 r, appliquées durant plusieurs mois. Pour obtenir en un mois une dépression mesurable des leucocytes de 30 %, il faut donc appliquer une dose totale de 30–60 r, soit 1–2 r par jour.

Au niveau de la dose de rayonnement maximum admissible de 0,3 r par semaine, le statut sanguin subit une certaine dépression que l'on peut mettre en évidence par des mesures statistiques sur une population étendue (Chamberlain et al. [7]*), mais cette dépression ne peut pas être mise en évidence par quelques observations sur l'individu.* Comme dans les essais de *Lorenz* sur l'animal, c'est au voisinage d'une irradiation continue de 1 r par jour ou de 7 r par semaine que se situe le seuil d'une action nettement mesurable sur les leucocytes de l'homme.

3. Il résulte de ce qui précède que le contrôle principal des personnes exposées aux radiations doit être effectué actuellement par la mesure de

la dose de rayonnement reçue à l'aide de chambres d'ionisation ou de films. *Le contrôle sanguin n'est justifié que lorsqu'une irradiation accidentelle massive est suspectée. Les contrôles sanguins périodiques à 3, 6 ou 12 mois d'intervalle sont dépourvus de signification pour l'individu.*

En ce qui concerne la méthode de contrôle de la dose de rayonnement reçue par films, il résulte d'essais que nous avons effectués en collaboration avec *Mauderli*, avec des films Ilford PM 1 et PM 3, que c'est une méthode relativement peu précise.

Pour les deux types de films, le noircissement apparaît bien, en moyenne, comme une fonction linéaire de la dose dans un certain intervalle, mais la dispersion des doses correspondant à un même noircissement est considérable et atteint, en moyenne, $\pm 25\%$, et au moins 35 millirœntgens pour le film PM 1 et 25 millirœntgens pour le film PM3.

On obtient de meilleurs résultats, si les différents films d'étalonnage sont, après exposition, développés et fixés *simultanément* et en même temps que les films portés par le personnel. Dans ces conditions, et en tenant compte de la variation de sensibilité dans la gamme d'énergie mesurée, la précision des mesures est celle indiquée au tableau 2 (*Mauderli* [8]).

Tableau 2

Film Ilford	Filtre	Domaine d'énergie	Erreur du dosage (écart type)
PM 3	1,0 mm Al	60–110 keV	$\pm$ 15% et au moins 10 mr
PM 1	0,5 mm Al + 0,5 mm Pb	γ 0,5 MeV	$\pm$ 20% et au moins 30 mr

Les films d'étalonnage du noircissement doivent être exposés, en même temps que la chambre de mesure, au rayonnement direct de la source ainsi qu'au rayonnement diffusé du support du film et de son voisinage, dans les mêmes conditions d'exposition qu'à la surface du corps humain. On les dispose entre leurs filtres respectifs, avec les chambres d'ionisation, à la surface d'un bloc de plexiglas de 5 cm d'épaisseur. La figure 1 montre la disposition que nous avons adoptée pour les films PM1 soumis au rayonnement γ des isotopes. La source est formée de 3×30 mC de ^{60}Co enrobés dans 0,2 mm de platine.

Une statistique de plus de 3000 films hebdomadaires, portés par le personnel de l'Institut universitaire de Radiologie de Zurich (Prof. Schinz) montre que les dépassements de la dose de rayonnement maximum admissible sont relativement peu fréquents. Ils atteignent respectivement 1,0% des films portés, pour la division du diagnostic, et 0,07%

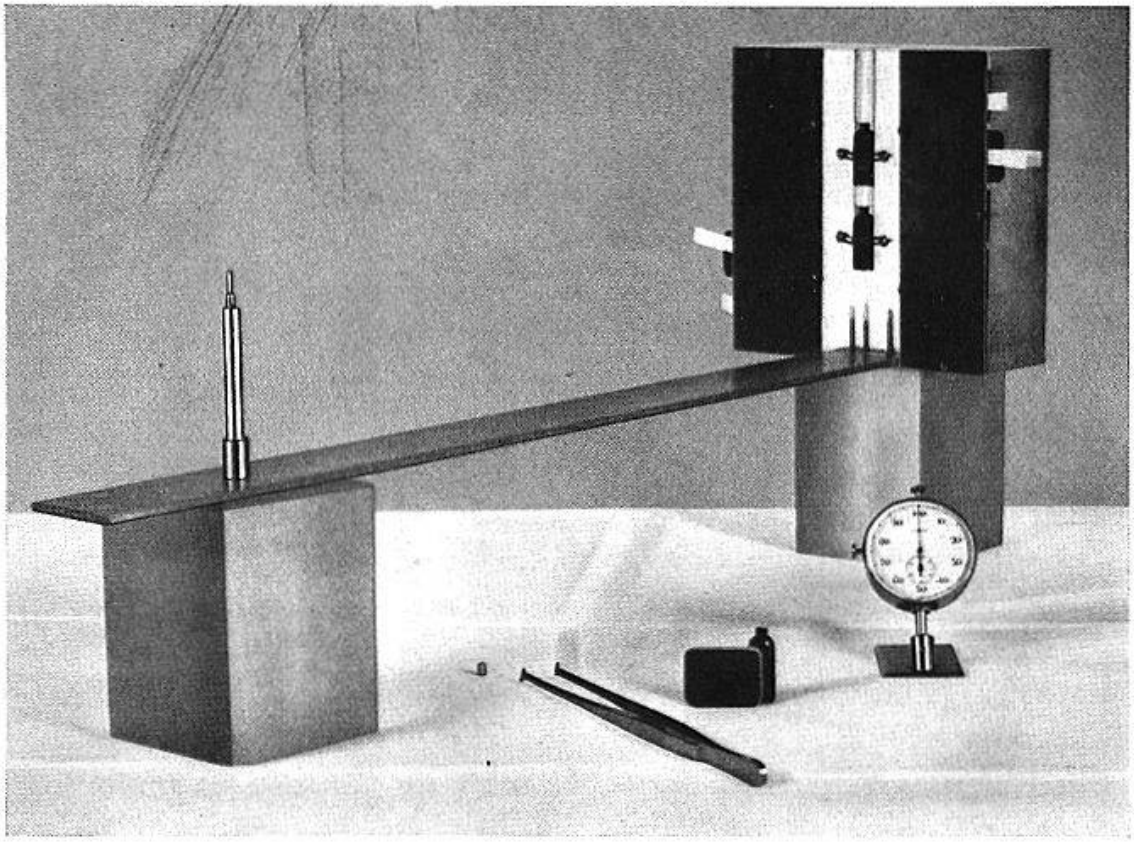

Fig. 1.

pour la division de la thérapie par isotopes. En revanche, dans le diagnostic des accidents, à la Clinique chirurgicale, où l'on travaille avec des appareils à rayons X peu protégés, les dépassements de la dose admissible atteignent la proportion de 9,5 %.

4. Cependant, malgré la fréquence actuellement réduite des dépassements de la dose de rayonnement admissible chez les radiologistes, les doses reçues ne paraissent pas rester sans effet. Dans une statistique importante, *Macht* et *Lawrence* (9) ont comparé la descendance de 2030 radiologistes et médecins *exposés* aux radiations, avec celle de 1682 médecins *non exposés*, le nombre total d'enfants des deux groupes s'élevant à 9942. Ils ont constaté, d'une part, que la proportion des *enfants normaux* des pères exposés était, avec 80,69 %, inférieure à celle des enfants des pères non exposés, qui atteignait 82,83 %. D'autre part, les *déficiences congénitales* passent de 4,84 % chez les enfants des non exposés à 5,99 % chez les enfants des exposés. Dans les deux cas, selon les auteurs, la différence doit être considérée comme significative.

5. Il résulte de ce qui précède que s'il n'est pas possible actuellement de déceler un effet biologique sur le sujet exposé au niveau de la dose de rayonnement admissible, cet effet doit se faire sentir sur sa descendance. En dehors des observations statistiques de *Macht* et *Lawrence*, on peut

évaluer, par le calcul des mutations provoquées, l'effet de l'irradiation d'un des parents sur la première génération descendante. Ce calcul repose sur la détermination de deux constantes:

a) La probabilité d'apparition d'une *mutation spontanée* par gène et par génération, est considérée, selon différents auteurs (*Muller*, *Stern* et *Evans*), comme comprise entre 10^{-5} et 3.10^{-5}. Une revue récente, effectuée par *Penrose* (10) donne, pour la moyenne de 15 gènes chez l'homme, $a = 2{,}6 \,.\, 10^{-5}$.

b) La seconde constante b_x, inconnue pour l'homme, a été déterminée ces dernières années par *Russel* (11) sur la souris. *Russel* indique $b_x = (25 \pm 3{,}7) \,.\, 10^{-8}$ mutation provoquée par gène et par rœntgen, pour la valeur moyenne de 7 gènes observés.

Le rapport de ces deux constantes, $a : b_x = 40$–120 r donne la dose de rayonnement nécessaire pour doubler, en une génération, le taux des mutations apparues.

Si l'on admet les bases du calcul de *Muller* (12, 13) et que l'on cherche l'effet de l'exposition à la dose doublante d'une partie de la population suisse, sur la première génération descendante de la génération exposée, on s'aperçoit qu'une faible partie seulement de la population totale doit subir cette exposition.

Le rôle des mutations apparues dans l'ensemble de la population sera faible et admissible à l'égard des autres dangers auxquels la vie humaine est habituellement exposée, tant que le $^1/_{1000}{}^e$ ou le $^1/_{100}{}^e$ seulement de la population sera soumis à la dose doublante. En revanche, si plus de 1% de la population était soumis à cette dose, le nombre des descendants porteurs d'une mutation nocive atteindrait et dépasserait celui des sujets soumis aux dangers de la civilisation moderne: accidents mortels par véhicules à moteur, cancers du poumon, poliomyélites graves avec séquelles.

La dose de rayonnement maximum admissible reçoit ainsi une signification limitative. C'est une *partie* de la population seulement qui peut y être exposée, et pour cette partie exposée, il convient de fixer une *dose totale intégrée* entre la naissance et la fin de la période de reproduction que l'on peut fixer conventionellement à 40 ans. On pourrait convenir, pour la dose totale intégrée maximum, d'une valeur correspondant au palier inférieur des estimations de la dose doublante, soit 30–50 r.

Résumé

A l'aide d'une revue de la bibliographie, on montre quelle signification il convient de donner aujourd'hui à la dose de rayonnement admissible de 0,3 r par semaine. A ce niveau de radiation, des effets sur l'individu

exposé ne sont guère observables et les contrôles sanguins périodiques à 3, 6 ou 12 mois d'intervalle sont dépourvus de signification. Ils ne sont indiqués qu'en cas de surexposition massive vraie ou suspectée. Ce sont les effets génétiques qui sont déterminants pour fixer la dose admissible à ce niveau. Ceux-ci, pour la Suisse par exemple, entraîneront un nombre de mutations encore admissible, relativement aux autres dangers auxquels la vie humaine est exposée, tant que moins de 1% de la population est soumis aux radiations. Mais, la dose hebdomadaire admissible pour la fraction de la population exposée doit être complétée par la notion de la dose totale intégrée de la naissance jusqu'à la fin de la période de reproduction, fixée conventionellement à 40 ans. Pour cette dose intégrée maximum, on devrait admettre le seuil des valeurs données pour la dose doublante, soit de 30–50 r.

Zusammenfassung

An Hand einer Literaturübersicht wird gezeigt, welche Bedeutung heute der maximal zulässigen Dosis von 0,3 r pro Woche zugemessen werden muß. Bei diesem Strahlenniveau sind beim exponierten Individuum kaum Wirkungen bemerkbar, und periodische Blutuntersuchungen nach 3, 6 und 12 Monaten Intervall sind unauffällig. Solche Blutkontrollen sind lediglich im Falle einer tatsächlichen oder vermuteten massiven Überdosierung angezeigt. Es sind die genetischen Auswirkungen, die für die Festlegung der maximal zulässigen Dosis bei diesem Niveau bestimmend sind. Für die Schweiz zum Beispiel haben diese, solange weniger als 1% der Bevölkerung der Strahlung ausgesetzt ist, eine noch tragbare Anzahl Mutationen zur Folge, verglichen mit anderen Gefahren, denen das menschliche Leben ausgesetzt ist. Diese für den exponierten Teil der Bevölkerung zulässige Dosis muß eingeschlossen werden in den Begriff der gesamten Totaldosis, die den Zeitraum von der Geburt bis zum Ende des zeugungsfähigen Alters umfaßt, der üblicherweise mit dem 40. Altersjahr abschließt. Für diese umfassende Totaldosis darf man als maximale Wertschwelle höchstens die für die verdoppelnde Dosis gegebenen Werte, d. h. Werte zwischen 30 und 50 r zulassen.

Riassunto

Il significato che va attribuito oggi alla dose d'irradiamento ammissibile di 0,3 r per settimana è discusso sulla base di una rivista sintetica della letteratura. A questa intensità d'irradiamento non è possibile osservare degli effetti sull'individuo esposto ed i periodici controlli del sangue a 3, 6 o 12 mesi di intervallo non hanno alcun significato. Tali controlli sono indicati soltanto in caso di esposizione esagerata vera o sospetta.

Nell'ordine di grandezza sopra citato la dose ammissibile va fissata sulla base degli effetti genetici. Questi comporteranno, ad esempio, per la Svizzera, un numero ancora accettabile di mutazioni, relativamente agli altri pericoli ai quali la vita umana è sottoposta, fin tanto che meno d'1 % della popolazione è sottoposto alle radiazioni. Ma la dose settimanale accettabile per la frazione di popolazione esposta va completata con la nozione di dose totale integrata dalla nascita alla fine del periodo riproduttivo fissato convenzionalmente a 40 anni. Per tale dose massima integrata occorrerebbe ammettere il valore-soglia dei valori comunemente dati quale dose che raddoppia il tasso di mutazioni spontanee, e cioè di 30 a 50 r.

Summary

In conjunction with a review of the appurtenant literature, the author shows what importance may be attached today to the maximum permissible dose of radiation of 0.3 r per week. Hardly any effects can be observed in the individual exposed to this amount of radiation and periodic blood controls at intervals of 3, 6 or 12 months reveal nothing of significance. Such checks are indicated only in cases of real or suspected massive overexposure. The genetic effects are the determinant factor in fixing the permissible dose at this level. These effects, in the case of Switzerland, for example, will, as long as less than one per cent of the population is subjected to radiation, involve a number of mutations which is still permissible in relation to the other dangers to which human life is exposed. But the permissible weekly dose for that fraction of the population which is exposed, should make allowance for the total integral dose received from birth until the end of the reproductive period, fixed conventionally at the age of 40. This maximum integral dose should be fixed at the threshold of the values given for the doubling dose, i.e. from 30 to 50 r.

1. *Lorenz, E.:* Amer. J. Roentgenol. **63,** 176 (1950). – 2. *Lorenz, E.*, cité: *Zirkle, R. E.:* Biological effects of external X and γ-radiation. McGraw-Hill, New York 1954, p. 12. – 3. *Lorenz, E., Jacobsen, L., Heston, W., Shimkin, M., Eschenbrenner, A., Deringer, M., Doniger, J.*, et *Schweisthal, R.*, cité: *Zirkle, R. E.:* l.c. p. 24. – 4. *Eschenbrenner, A.*, et *Miller, E.*, cité: *Zirkle, R. E.:* l.c. p. 169. – 5. *Jacobsen, L.*, et *Marks, E.:* Radiology **49,** 286 (1947). – 6. *Jones, H.:* Symposium on Radiobiology. Wiley and Son, New York 1952, p. 21. – 7. *Chamberlain, A., Turner, F.*, et *William, E.:* Brit. J. Radiol. **25,** 169 (1952). – 8. *Mauderli, W.:* Thèse E.P.F. Zurich (en publication). – 9. *Macht, H.*, et *Lawrence, P.:* Amer. J. Roentgenol. **73,** 442 (1955). – 10. *Penrose, L. S.:* Medical Research Council. The hasards to man of nuclear and allied radiations. London, juin 1956, p. 91. – 11. *Russell, W. L.*, cité: *Hollaender, A.:* Radiat. Biol. I **2,** 825 (1954). – 12. *Muller, H. J.:* Symposium on Radiobiology. Wiley and Son, New York 1952, p. 296. – 13. *Muller, H. J.:* Proc. of the int. Conference, Genève **11,** 387 (1955).