

Dose de rayonnement admissible et doses reçues dans l'ambiance moderne

Autor(en): **Joyet, G.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin der Schweizerischen Akademie der Medizinischen Wissenschaften = Bulletin de l'Académie Suisse des Sciences Medicales = Bollettino dell' Accademia Svizzera delle Scienze Mediche**

Band (Jahr): **14 (1958)**

Heft 5-6: **Symposium sur les effets nocifs de faibles doses de radiation : éléments physiques et aspects biologiques = Symposium über schädliche Wirkungen schwacher Strahlendosen : physikalische Grundlagen und biologische Aspekte = Symposium on noxious effects of low level radiation : physical elements and biological aspects**

PDF erstellt am: **20.06.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-307380>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Institut Universitaire de Radiologie, Zurich

Dose de rayonnement admissible et doses reçues dans l'ambiance moderne

Par le Prof. G. Joyet, dr ès sci., p.d.

Chef du Laboratoire du Bétatron et des Isotopes

1. Introduction

Pour apprécier correctement l'importance biologique, ou le danger éventuel des doses de rayonnement dissipées chez l'homme et les êtres vivants par les chutes radioactives, qui résultent des essais d'explosions atomiques, il est d'une importance fondamentale d'établir, en même temps, le bilan *total* des doses de rayonnement provenant du milieu physique d'une part, et d'autre part des sources ionisantes en usage dans la civilisation moderne.

L'homme et les êtres vivants sont soumis à une certaine dose de rayonnement issue du milieu physique dans lequel, depuis ses origines, la vie est plongée. Si, comme les généticiens l'affirment (*H. J. Muller* [14]) – sans d'ailleurs le démontrer d'une façon péremptoire – toute élévation notable de la dose de rayonnement reçue par les gonades de l'homme, au-dessus de la dose de rayonnement naturel, risque de compromettre l'avenir de l'espèce humaine, un inventaire, même sommaire, des doses additionnelles, nous montrera où réside le danger potentiel le plus important. Ce sera sans doute la conclusion de ce symposium de nous montrer que pour le moment, ce ne sont pas les chutes radioactives ou la retombée qui présentent le danger potentiel principal.

A côté de la *population générale* considérée dans son ensemble, une fraction, encore petite, de la population est soumise, par ses *occupations professionnelles*, à des doses relativement élevées de radiation. Ce sont les médecins et leurs collaborateurs qui appliquent les rayons X pour le diagnostic ou la thérapie, les employés des usines métallurgiques qui procèdent aux contrôles radiographiques des matériaux avec des rayons X ou des sources radioactives importantes, les ouvrières qui effectuent – souvent à la main – la peinture radioactive des cadrans lumineux, les

employées des magasins de chaussures chargées de contrôler par une radioscopie les chaussures de leur clientèle, les ouvriers ou ouvrières des tissages, des filatures ou de certaines manufactures de papier, dont la machine est chargée d'une source de radium qui ionise l'air ambiant, et enfin, pour terminer, le personnel des centrales atomiques et des laboratoires d'isotopes radioactifs.

Pour cette petite fraction de la population soumise à une *exposition professionnelle*, la Commission Internationale de Protection en Radiologie a fixé à Genève, en 1956, à 5 r par an la dose maximum admissible aux gonades.

Quand on a effectué le bilan des doses de radiation reçues par la *population générale* d'une part, et par la *population professionnellement exposée* d'autre part, on peut, selon la méthode de *H. J. Muller* (14), calculer assez aisément le nombre de nouveaux mutés qui doivent apparaître annuellement ou en une génération, dans la première descendance issue des parents irradiés. Les valeurs que l'on obtient sont alors comparées aux nombres de cas de mortalité, de morbidité grave ou d'invalidité permanente provoqués par la civilisation moderne. La comparaison des différents groupes de valeurs permet, pour la population d'un pays déterminé, une *certaine appréciation* du risque présenté par l'exposition aux radiations. Nous verrons que ce risque est très faible pour la fraction professionnellement exposée, mais que certaines des petites doses de rayonnement réparties habituellement sur l'ensemble de la population, devront sans doute être réduites, si les conclusions actuelles des généticiens sont confirmées.

2. Dose de rayonnement naturel reçue en Suisse par l'ensemble de la population

Les auteurs qui ont effectué ces dernières années le bilan de la dose de rayonnement dissipée dans les gonades par le milieu physique ambiant sont *W. F. Libby* (9) pour les Etats Unis, *F. W. Spiers* (21) pour la Grande Bretagne et *R. M. Sievert* et al. (19, 20) pour la Suède. Pour la Suisse, à notre connaissance, ce bilan n'avait pas encore été fait et des mesures systématiques du rayonnement dû à la radioactivité ambiante dans les régions à grande densité de population nous font encore défaut. Cependant, certaines composantes des rayonnements naturels sont bien connues et peuvent être appliquées à la Suisse (tableau 1).

Le *rayonnement cosmique*, dont on sait qu'il ne dépend que de la latitude et de l'altitude, peut être évalué, à l'aide des nombreuses mesures effectuées antérieurement dans une chambre d'ionisation à paroi de plomb. On trouve, selon une revue, des mesures effectuées par *A. H. Compton* et *R. J. Stephenson* (5), pour une paroi de Pb de 6,0 cm et

pour des pressions de 76, 72 et 52,6 cm correspondant à des altitudes de 0, 450 et 3 000 m, une production de paires d'ions par cm^3 d'air normal et par seconde (I) respectivement de 1,73, 1,92 et 4,22 I . Si, selon *P. R. J. Burch* (3), on transforme ces mesures pour une chambre d'ionisation à paroi d'air, on obtient respectivement les valeurs 1,92, 2,13 et 4,68 I pour les mêmes altitudes. À l'aide de ces valeurs, on trouve une dose-gonades annuelle de 30 millirads en admettant, pour une latitude de 47° (saturation de l'effet géomagnétique) que la population se trouve à une altitude moyenne de 450 m. Cette dose s'élèverait à 66 millirads à une altitude de 3 000 m.

La composante due au *rayonnement gamma ambient* n'est pas connue et ne peut que faire l'objet de spéculations. La plus grande partie de la population se trouve au Nord des Alpes, dans la zone qui va des Préalpes au Jura, en comprenant l'important Bassin molassique du Plateau. *R. Payot* et *A. Jaquerod* (16) ont mesuré la radioactivité de plusieurs centaines de sources dans cette région et ont trouvé, en général, une quantité d'émanation très réduite, inférieure à $5 \cdot 10^{-10}$ C/l. Ce n'est qu'en quelques points, *Romanel*, *Eclépens* et *Cuarny*¹, au sud des lacs jurassiens et en Argovie, le long de l'Aar, que quelques sources, avec une activité supérieure à $5 \cdot 10^{-10}$ C/l, apparaissent. En revanche, dans le massif hercynien du Gotthard et les Alpes calcaires méridionales, des sources renfermant plus de $15 \cdot 10^{-10}$ C d'émanation par litre se rencontrent systématiquement. On sait qu'elles correspondent à des roches (granit, gneiss, pegmatites) dont la teneur en uranium peut varier de 5 à 40 g par tonne (*Th. Hügi* [7]). Mais la fraction de la population située sur ces roches est négligeable. Pour le Bassin molassique, les Préalpes et le Jura, où la majorité de la population se trouve, on ne peut trouver de données directes, car les différents auteurs ont surtout recherché les gisements riches en uranium situés hors de ces régions. Cependant *Erlenmeyer* et coll. (6) ont trouvé 0,3 g d'uranium par tonne dans un sédiment de l'eau du Rhin. Pour les roches sédimentaires, *Libby* (9) admet 1 g d'uranium par tonne, 3 g de thorium et 3 % de potassium. Sur cette base, on trouve une dose de rayonnement à l'air libre de 50 millirads par an que nous avons provisoirement adoptée (tableau 1). Cette dose est augmentée dans les maisons par la présence de parois de briques ou de béton. On ne doit cependant pas s'attendre à une élévation aussi grande que celle constatée par *Sievert* à Stockholm dans des maisons de béton granitique. Notre béton est formé principalement de graviers de moraines glaciaires dont la teneur en uranium est faible. Avec 8 heures de séjour à l'air libre, 16 heures à l'intérieur des maisons et en tenant compte

¹ Voir la carte dressée par ces auteurs.

Tableau I

Source de radiation	Dose annuelle reçue par les gonades en rads		
	Grande Bretagne <i>F. W. Spiers</i>	Suède <i>R. M. Sievert</i>	Suisse
Altitude moyenne	0	0	450 m
<i>Irradiation externe</i>			
Rayonnement cosmique à 3 000 m (<i>Millikan, Pickering, Compton</i>)	0,028	0,025	0,030 (0,066)
Rayonnement gamma ambiant à l'air libre dans les maisons	(Leeds) (0,048) 0,043 (0,078)	(Stockholm) (0,060) 0,050-0,106 (0,093-0,216*)	(0,050) 0,040-0,080 ? (0,085)
Radon dans l'air, avec produits de dés., A, B, C, C', C''	3×10^{-13} C/l 0,001	0,006	3×10^{-13} C/l 0,001 ?
<i>Irradiation interne</i>			
Potassium 40 (Conc. 0,2% K par g de tissu)	0,020		0,017
Carbon 14 (Conc. 12% par g de tissu, 15,3 dés./g min, <i>C. F. Libby</i>)	0,001	0,017	0,001
Radon et produits de dés., 3×10^{-13} C/l	0,002	—	0,002 ?
Dose annuelle totale, rad	0,095	0,098-0,154	0,092-0,132

* Béton à base de schistes aluminifères.

d'une absorption moyenne de 35 % pour atteindre les testicules et les ovaires, on trouve que le rayonnement gamma ambiant doit dissiper aux gonades une dose de 40 à 80 millirads par an.

Pour l'irradiation externe ou interne due au *radon*, à défaut de données plus précises, nous avons admis les valeurs de *Spiers* qui résultent de mesures sur un sol également pauvre en uranium.

Il est possible de déterminer avec beaucoup plus de précision les doses de rayonnement interne dues au K^{40} et au C^{14} . Une concentration de 2⁰/₀₀ par gramme de tissu pour le potassium détermine, avec le spectre de désintégration du K^{40} et sa période, une dose-gonades annuelle de 17 millirads. Pour le C^{14} , une concentration de carbone de 12 % par gramme de tissu et 15,3 désintégrations par minute par gramme de carbone vivant (*W. F. Libby* [10]) dissipent une dose de 1 millirad par an.

Il résulte de ces estimations que la dose-gonades due à l'irradiation naturelle est située en Suisse entre 91 et 131 millirads, soit 110 mr en moyenne avec une précision de $\pm 25\%$.

3. Doses de rayonnement apportées par la civilisation moderne à l'ensemble de la population

Les sources principales de radiations résultant de l'apport de la civilisation sont, par ordre d'importance, les *examens radiologiques médicaux*, les *cadres lumineux radioactifs*, les *radioscopies des chaussures* et enfin, l'objet de ce symposium: les *chutes radioactives* issues d'explosions nucléaires.

La dose de rayonnement appliquée aux testicules et aux ovaires par les *examens radiologiques médicaux* peut être évaluée sur la base de mesures originales effectuées en Angleterre par *R. W. Stanford* et *J. Vance* (22). En disposant des chambres d'ionisation sur les testicules et à la hauteur des ovaires, au cours de plus de 1 500 examens radiologiques de routine, et en tenant compte de la fréquence avec laquelle chaque type d'examen se présente et de l'âge des sujets exposés, ces auteurs ont pu déterminer la *dose pondérée moyenne* reçue par examen. Cette dose est de 36 mr par examen pour l'homme et 60 mr pour la femme. Elle devient 52 millirads en moyenne par examen pour l'homme et pour la femme, si l'on tient compte des mesures complémentaires de *E. Barnett* et *D. Bewley* (1).

Comme les mesures ont été effectuées dans des hôpitaux où des précautions toutes particulières sont prises pour réduire la dose-gonades, les valeurs précédentes sont considérées comme des minima.

Sur la base de cette valeur et en attendant les résultats plus précis d'une enquête statistique officielle qui est en cours, nous avons déterminé,

pour le Canton de Zurich, la dose-gonades due au diagnostic radiologique de la manière qui figure dans le tableau suivant. Les données concernent l'année 1954.

Tableau 2

Estimation de la dose-gonades due au radiodiagnostic dans le Canton de Zurich pour l'année 1954

Population totale, habitants	828 000
Radiographies	
Nombre de radiographies dans les 17 hôpitaux principaux	219 000
Radiographies des radiologistes privés, environ	80 000
Radiographies des médecins privés, 20% des groupes précédents	60 000
Total des radiographies	359 000
Examens	
Total des examens radiographiques (1,9 radiographie par examen)	190 000
Radioscopies hospitalières (0,5 radioscopie par radiographie)	110 000
Radioscopies des médecins privés (??)	100 000
Total des examens	400 000

Soit 0,48 examen annuel par habitant.

Dose-gonades par habitant: 25 millirads +200%
par an - 50%

(Stanford et Vance [22],
Barnett et Bewley [1]).

Examens exclus: radiophotographies, radiographies dentaires.

Les radiographies des radiologistes privés ont été déterminées à l'aide des indications fournies par deux d'entre eux. Le rapport du nombre des radiographies au nombre des radioscopies est égal à 0,63 en moyenne pour 15 établissements où les deux numérations sont effectuées. La valeur la plus hypothétique est celle des radioscopies des médecins privés.

Le résultat de cette rapide estimation peut être comparé aux valeurs obtenues dans d'autres pays:

Tableau 3
Dose annuelle aux gonades par le diagnostic radiologique (8)

Pays	Auteurs	Dose-gonades en millirads
Grande Bretagne. . .	Medical Research Council	> 22
Danemark	Hammer-Jacobson, 1957	28
Suède	Lars-Eric Larsson, 1957	40
U.S.A.	Laughlin et Pullmann, 1957	
	Val. probable	135 ± 100
	Val. minimum	50 ± 30

La valeur que nous avons établie s'accorde, en ordre de grandeur, avec les déterminations européennes.

Dans les quatre pays où ces estimations ont été faites, on s'accorde pour souligner le fait que les 85 % environ de la dose-gonades sont apportés par des examens où le faisceau de rayons X frappe directement les gonades ou leur voisinage immédiat. Ces examens, qui dissipent chacun de quelques dizaines à quelques milliers de millirads, ne forment que le 5 % environ de la totalité des examens radiologiques. Ce sont les radiographies lombaires et de l'abdomen, les radiographies de la hanche et du fémur, les pyélogrammes, l'uréthrocystographie, la pelvimétrie, la salpingographie et la cholécystographie chez la femme, et enfin les transits barytés. Si l'on s'accordait sur le fait, que les doses de rayonnement dissipées aux gonades par ces examens, représentent un danger potentiel réel, comme ils sont peu nombreux, il serait facile de les contrôler et d'en réduire le nombre en les soumettant à l'obligation de les annoncer, au-dessous de l'âge de 40 ans, à un service ou une organisation centrale¹.

Pour déterminer la dose-gonades dissipée par les *cadrons lumineux radioactifs*, nous avons commencé à Zurich, en 1957, une enquête et des mesures, dont nous pouvons donner les premiers résultats. La charge radioactive des montres-bracelet a été mesurée au compteur de Geiger, le rayonnement étant filtré par l'équivalent de 0,5 mm de platine et comparé à un étalon de radium. Les valeurs obtenues figurent dans le tableau 4.

Il résulte de ces premières mesures une charge moyenne de 0,36 μC pour les montres d'homme et de 0,13 μC pour les montres de dame. Les montres d'homme, dont le cadran est marqué par des points lumineux seulement, portent une charge moyenne plus faible égale à 0,21 μC (trois des montres du tableau 4 portent un radioélément différent du radium, et pour deux d'entre elles, l'intensité du rayonnement bêta à la surface est dangereusement élevée).

Selon des renseignements qui nous ont été fournis par l'industrie horlogère, à partir de l'âge de 15 ans, en Suisse, une femme sur 5 et 3 hommes sur 5 portent une montre-bracelet à cadran lumineux². En admettant une distance moyenne de la montre aux gonades de 40 cm le jour avec 16 heures d'exposition, et de 20 cm la nuit avec 8 heures d'exposition, et d'une absorption de 20 % dans les tissus traversés pour atteindre les

¹ La fiche d'annonce, rédigée simplement, porterait l'âge, le sexe, le diagnostic du patient, les conditions d'exposition, et la justification rapide, signée par le médecin de cette forme de diagnostic radiologique.

² Nous sommes en train de contrôler cette affirmation par un sondage de la population effectué à l'aide d'un questionnaire.

Tableau 4
Activité des cadrans lumineux des montres-bracelets

Marque et diamètre	Type du cadran	Activité en microcuries de radium
Montres d'hommes		
Et. 27 mm	Ch.	0,81
Et. 27 mm	P.	0,35
Et. 25 mm	Ch.	0,26
Ti. 25 mm	Ch.	0,56
Cy. 26 mm	Ch.	0,39
Ce. —	Ch.	0,11
Or. 27 mm	P.	0,065
Roe. 27 mm	P.	0,07
Roe. 27 mm	Ch.	0,34
Om. 30 mm	P.	0,22
Om. 30 mm	Ch.	0,18
Mi. 28 mm	P.	0,33
He. 32 mm	Ch.	0,19
Ae. 28 mm	0	0,06 ?
Montres de dames		
Et. 18 mm	P.	0,12
Et. 18 mm	Ch.	0,24
Or. 18 mm	P.	0,06
Ti. —	Ch.	0,14
Ti. 20 mm	Ch.	0,08
Mi. 18 mm	P.	} > 8 mr/h pas de Ra
Mi. 18 mm	Ch.	

Ch. = chiffres lumineux; P. = points lumineux.

ovaires, on détermine ainsi une dose aux gonades répartie sur toute la population de *10 mr environ par an*. Comme cette estimation des distances aux gonades risque d'être très imprécise, nous avons commencé à contrôler *expérimentalement* la valeur de la dose-gonades en faisant porter à un certain nombre de sujets une *montre-bracelet fictive*, portant une charge relativement élevée de 100 μ C de radium (fig. 1). Le sujet porte, à la hauteur des ovaires ou contre les testicules, deux chambres d'ionisation, croisées à angle droit, pour tenir compte d'un effet directionnel éventuel sur la mesure. Ces chambres reçoivent en 24 heures une dose de rayonnement dont l'ordre de grandeur est celui de la dose annuelle. Les lectures sont effectuées le matin au lever, et le soir avant le coucher, pour déterminer les doses diurnes et nocturnes. Cette montre fictive à forte charge radioactive est portée sans aucun danger durant 3 jours, le poignet recevant ainsi une dose totale de 15 r environ. Une seconde paire de chambres, disposée sur l'épaule, donne à peu près la

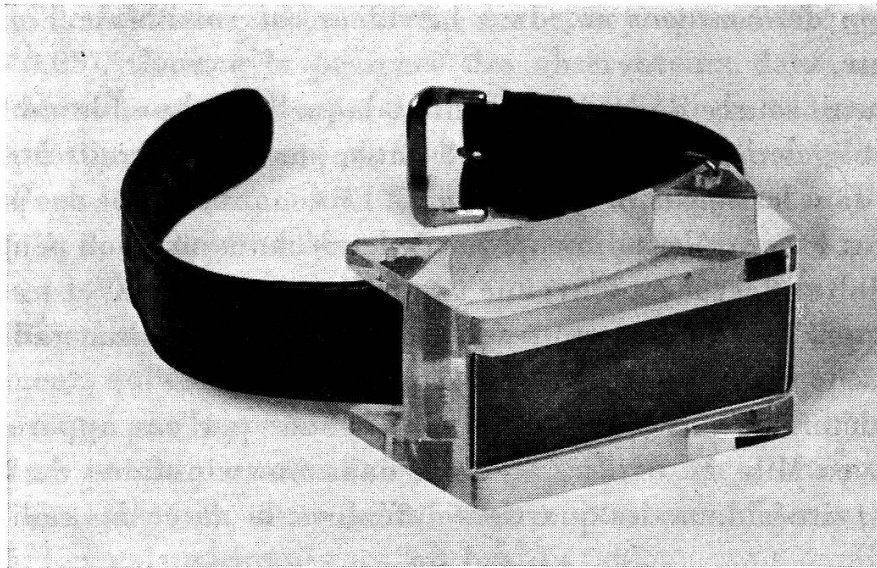


Fig. 1.

Montre-bracelet fictive, en plexiglas, portant une charge de $100 \mu\text{C}$ de radium.

dose de rayonnement reçue par les yeux lorsque la main est portée au visage. Les résultats des premières mesures figurent dans le tableau suivant :

Selon le tableau 5, le sujet porteur d'une montre-bracelet à cadran lumineux, avec une charge radioactive moyenne, reçoit sur les gonades une dose de rayonnement de 10 à 30 mr par an. Malgré le nombre encore peu élevé des sujets mesurés, la dispersion des mesures n'est pas considérable. Les épaules – ou les yeux – reçoivent une dose de même ordre de grandeur que celle des gonades.

Cette expérience, qui ne présente donc aucun danger, détermine, pour les montres-bracelet, une dose-gonades pondérée pour l'ensemble de la

Tableau 5

Détermination de la dose-gonades par une montre fictive chargée à $100 \mu\text{C}$ de radium

Sujet	Dose journalière pour $100 \mu\text{C}$ en mr			Rapport Epaule/ Gonades	Dose-gonades annuelle pour une montre moyenne mr
	Diurne	Nocturne	Par jour		
J. G. ♂	8,3	8,2	16,5	1,59	21,0
G. D. ♂	9,0	4,3	13,3	1,88	17,0
C. G. ♂	10,8	4,5	15,3	3,89	19,6
Z. P. ♂	10,7	5,3	16,0	1,64	20,4
R. H. ♂	17,3	6,8	24,1	1,58	30,9
M. M. ♀	16,9	8,0	24,9	1,15	10,7
J. M. ♀	20,0	13,7	33,7	0,90	14,7

Charge d'une montre moyenne: homme $0,35 \mu\text{C}$, dame $0,15 \mu\text{C}$.

Dose-gonades annuelle pondérée, pour l'ensemble de la population: 7,8 mr

population de 8 mr par an, dont la valeur est voisine de l'estimation précédente.

Une autre source de rayonnement, à laquelle l'ensemble de la population est également exposé, est présentée par les *appareils à rayons X* installés dans les *magasins de chaussures*. En tenant compte des personnes qui évitent le contrôle radioscopique de leurs chaussures, on peut estimer qu'un adulte effectue en moyenne *une* radioscopie par an, et les enfants, pour lesquels ce contrôle est presque toujours de règle, *deux* radioscopies annuelles.

Pour déterminer la dose-gonades distribuée par ces appareils, nous avons, avec Mlle *M. Miller*, observé, dans une vingtaine de magasins zurichoïses, situés dans des quartiers différents, la *durée* des radioscopies.

Tableau 6
Appareils de radioscopie des chaussures

Appareil No.	Type	Intensités du rayonnement X à la hauteur des gonades	
		Client mr/h	Personnel mr/h
1	Sch.	11 ± 4	10 ± 4
2	Sch.	20 ± 8	12 ± 1
3	Sch.	33 ± 3	8 ± 3
4	R. R.	1 400 ± 400	16 ± 6
5	R. R.	1 750 ± 250	70 ± 30
6	R. R.	1 200 ± 800	80 ± 70
7	Ped.	33 ± 28	14 ± 12
8	Ped.	175 ± 125	130 ± 120
9	X-Ray	150 ± 100	52 ± 48
10	Ped.	28 ± 23	27 ± 24
11	Ped.	1 500 ± 1 000	6 ± 6
12	R. R.	300 ± 200	30 ± 20
13	R. R.	405 ± 395	20 ± 10
14	Ped.	450 ± 250	3 ± 2
15	Ebe.	7 ± 3	5 ± 2
16	Ebe.	32 ± 28	3 ± 1
17	Ped.	125 ± 50	50 ± 30
18	Ped.	1 625 ± 1 375	21 ± 9
19	Ped.	1 650 ± 850	18 ± 8
20	Ped.	1 600 ± 900	58 ± 43
21	Orth.	1 275 ± 1 225	70 ± 50
22	Ped.	440 ± 360	13 ± 8
23	Ped.	115 ± 85	1 ± 1
24	Ped.	270 ± 230	90 ± 65
Valeurs moyennes:			
	Adultes	610 ± 140	34 ± 7
	Enfants	970 ± 210	

Cinquante-deux mesures donnent une durée moyenne de $11,6 \pm 2$ secondes ($P = 0,05$). Comme la présence des observateurs dans un certain nombre de cas a visiblement raccourci la durée de la radioscopie, on peut adopter une *durée moyenne de 15 secondes* par radioscopie pour les adultes. Pour les enfants, où la radioscopie est de règle et où l'on effectue jusqu'à 2 et 3 contrôles par achat, on peut prendre une durée moyenne de 20 secondes¹.

Dans les mêmes établissements, nous avons mesuré les intensités de rayonnement, qui émanent des appareils, à la hauteur des gonades, dans l'espace occupé par le *personnel* d'une part (à 70 à 90 cm de hauteur), et d'autre part par la *personne examinée* (à 35 à 90 cm de hauteur). Les résultats des mesures, avec leurs valeurs extrêmes, figurent dans le tableau 6. Les valeurs moyennes, au bas du tableau, sont données avec leurs écarts-types. Pour les enfants, dont les gonades sont plus basses, il convient de prendre la valeur moyenne des intensités de rayonnement maxima, situées proche de l'ouverture d'introduction du pied.

On voit que ces intensités sont généralement considérables et que certains de ces appareils ne sont tout simplement pas protégés. Heureusement, les dégâts qu'ils pourraient entraîner sont limités par les durées réduites des expositions. Sur la base d'une radioscopie annuelle de 15 secondes pour l'adulte et de deux radioscopies de 20 secondes pour l'enfant, on trouve, pour les doses-gonades annuelles de l'ensemble de la population, les valeurs suivantes :

	Radioscopies annuelles	Coefficient de transmission moyen	Dose-gonades annuelle mr	Dose-gonades annuelle pondérée jusqu'à 30 ans
Adulte	1 × 15 sec	0,40	1,0	3,5 mr
Enfant jusqu'à 15 ans	2 × 20 sec	0,55	5,9	

Le personnel, qui manipule ces appareils et qui effectue jusqu'à 50 radioscopies par jour, reçoit une dose de rayonnement importante, qui constitue une fraction notable de la dose de rayonnement hebdomadaire admissible (environ 40 mr par semaine pour 200 radioscopies). Mais ce personnel appartient à la petite fraction de la population, exposée pour raisons professionnelles, que nous examinerons plus loin².

¹ Dans les départements réservés aux enfants, on observe que des bébés d'un an déjà sont radioscopés, entourés, le mercredi après-midi, de leurs frères et sœurs qui à tour de rôle lui succèdent, parfois sans nécessité, sur l'appareil.

² Remarquons que les doses de rayonnement émises à l'extérieur pourraient être aisément réduites à 1/100e des valeurs du tableau 6 par une protection intérieure de

A l'aide des doses-gonades des différentes sources que nous venons d'évaluer, il est maintenant possible d'établir une récapitulation des doses de radiation reçues par l'ensemble de la population non-professionnellement exposée. Ces valeurs figurent dans le tableau 7¹.

Pour alléger notre conscience, nous indiquons pour chaque valeur la marge d'erreur parfois considérable qu'elle comporte. Dans le même tableau, nous indiquons la dose intégrée depuis la naissance jusqu'à l'âge de 30 ans. Cet âge est choisi par les généticiens comme étant l'âge moyen de l'homme et de la femme auquel le 50 % des enfants ont été procréés. Les enfants nés 5 ans plus tôt, par exemple, sont issus de gonades un peu moins irradiées, ceux qui sont nés 5 ans plus tard de gonades un peu plus irradiées². On remarquera que les doses dues aux cadrans lumineux et à la radioscopie des chaussures – issues de nos mesures – sont nettement plus élevées que celles qui figurent au rapport du Medical Research Council (13), p. 59.

Tableau 7

Sources	Doses-gonades en mr		Erreur possible
	Par année	En une génération de 30 ans	
Rayonnements pénétrants naturels	110	3 300	± 25%
Diagnostic radiologique	26	780	+ 200% - 50%
Montres à cadrans lumineux (de 15 à 30 ans)	8	120	± 50%
Radioscopie des chaussures	3,5	105	+ 100% - 50%
Essais d'explosions atomiques jusqu'à fin 1956	≈ 1	≈ 30	× 10 ? : 10 ?

plomb de 0,5 à 1 mm d'épaisseur et par la réduction systématique des dimensions de l'ouverture d'accès à un rectangle de 25 cm de largeur sur 12 cm de hauteur, cette ouverture étant protégée par un rideau à lamelles plombées. Il convient de signaler qu'un appareil de construction récente, mesuré dans un nouveau magasin de vente de l'une des grandes firmes suisses et destiné aux enfants, émet à la surface des intensités de rayonnement limitées à 3 à 10 mr/heure seulement.

¹ Nous ne mentionnons pas les doses de rayonnement dues aux écrans de télévision et aux parcours à haute altitude qui sont parfois mentionnées. Celles-ci, réparties sur l'ensemble de la population, sont tout-à-fait négligeables.

² Pour la femme suisse, selon la statistique de 1954, à 28 ans le 50%, à 34 ans le 84,1% et à 39 ans le 95,8% des enfants ont été procréés. Ces valeurs pour l'homme ne sont pas connues, mais les âges correspondants aux mêmes proportions de naissances sont certainement plus élevés de quelques années.

J'ai porté, au bas de ce tableau, la dose-gonades qui résulte des chutes radioactives. La valeur indiquée résulte non d'observations personnelles, mais des travaux publiés jusqu'à la fin de 1956 par différents auteurs *W. F. Libby* (9), *J. Cockroft* (4), *I. H. Blifford* et *H. B. Rosenstock* (2), et le rapport anglais du Medical Research Council (13). Ceux-ci ne tenaient alors que partiellement compte de l'irradiation interne. Je n'avais naturellement pas connaissance des documents présentés dans ce symposium¹.

Si nous considérons les doses-gonades du tableau 7, on sait aujourd'hui clairement, à l'aide de l'expérience de ces 10 dernières années, que ces faibles doses ne produisent aucun effet biologique *observable* sur l'individu actuellement exposé. Les remarquables expériences effectuées à Bethesda par *Egon Lorenz* et coll. (11) ont montré, sur l'animal, que c'est à partir de doses annuelles réparties de l'ordre de 100 r que des effets biologiques tels que réduction de la vie, augmentation du poids, chute de poids des testicules, réductions significatives des globules blancs et des globules rouges, peuvent être observées. (*G. Joyet* 23).

Il en est de même pour le sang chez l'homme. Les injections de P^{32} d'une part, et la mesure de la dose de radiation reçue par les travailleurs exposés aux radiations d'autre part, ont permis de déterminer le taux de diminution des globules blancs ou des globules rouges, en fonction de la dose de rayonnement. Il faut appliquer quelques dizaines de röntgens en irradiation totale, pour produire une dépression observable.

*Ainsi, les doses de rayonnement reçues par l'homme, dans son ambiance et son milieu physique, sont de 100 à 1 000 fois plus faibles que le seuil à partir duquel des effets biologiques sont nettement observables sur le sujet exposé*². Aussi, si l'on se préoccupe aujourd'hui de l'action des faibles doses de radiation, ce n'est pas en raison de leurs effets sur la génération actuellement exposée, mais en raison des effets génétiques exercés sur les générations descendantes de la nôtre.

Ayant établi les doses de rayonnement reçues dans l'ambiance en une génération de 30 ans, nous avons eu la curiosité de calculer, pour la population suisse, le nombre de mutations nouvelles apparues à la première génération descendante, issue de la génération irradiée. Nous

¹ A propos de l'irradiation interne, remarquons que le rayonnement bêta du groupe Sr^{90} - Y^{90} logé dans les os, ne peut atteindre ni les ovaires, ni les testicules de l'homme. Par ailleurs, nous possédons déjà une longue expérience, vieille d'un demi-siècle environ, de l'irradiation des os. Le porteur d'une montre-bracelet lumineuse reçoit à 1 cm de profondeur sur les têtes du radius et du cubitus une dose accumulée en 40 ans de 500 r environ.

² J'exclus de cette conclusion les intéressants travaux de *H. Marcovich* (12) qui obtient des effets biologiques observables sur des bactéries avec des doses de l'ordre de un röntgen. Des observations aussi sensibles ne peuvent encore être étendues à l'homme.

l'avons fait selon la méthode de *J. H. Muller* (14, 15) en admettant 20 000 gènes par gonade (les généticiens nous disent que cette valeur est connue à $\pm 30\%$ près), et la valeur du taux d'induction b_x d'une mutation par gène et par röntgen. Pour ce taux, on adopte universellement aujourd'hui la valeur de $25 \cdot 10^{-8}$ mutation par gène et par röntgen établie à Oak Ridge par *W. L. Russell* (18) sur la souris; les valeurs 10 à 15 fois plus réduites obtenues précédemment sur la *Drosophile*, étant considérées comme inapplicables à l'homme.

Pour ce calcul, nous avons été aidé par M. le Dr *Wiesler* de l'Office statistique du Canton de Zurich qui nous a communiqué les données indispensables. On peut évaluer qu'en Suisse, une population de 5 000 000 d'habitants en 1954 donnera en une génération de 30 ans approximativement 2 800 000 descendants. C'est sur ces premiers descendants que nous avons calculé le nombre de porteurs de mutations nouvelles en supposant que les deux parents ont reçu en 30 ans les doses de rayonnement qui figuraient au tableau précédent.

Avant de donner les résultats du calcul, nous voulons considérer, non plus la population totale, irradiée dans son milieu ambiant, mais la fraction, beaucoup plus restreinte, de la population exposée pour des *raisons professionnelles* aux radiations ionisantes. Pour cette *exposition professionnelle*, la Commission Internationale de Protection a fixé à 5 r par an la dose-gonades admissible. Comme c'est une dose qui est environ 50 fois plus élevée que celle due au rayonnement naturel, nous voulons montrer, pour la Suisse également, avec quelles restrictions elle se justifie.

Nous considérons une classe de population formée des femmes mariées, à partir de l'âge de 18 ans (début de l'occupation professionnelle) jusqu'à 44 ans (fin de la période de reproduction). En 30 ans, cette classe de femmes, au nombre de 570 000 en 1954, engendrera 2 540 000 descendants environ. Nous considérerons qu'une fraction de ces femmes, le 1/10e, le 1/100e ou le 1/1 000e, soit elles-mêmes, soit leurs maris (c'est l'un ou l'autre) sont exposés pour raisons professionnelles à une dose de rayonnement de 40 r jusqu'à l'âge moyen de 30 ans. On peut, comme précédemment, calculer le nombre de nouveaux mutés, issus de cette fraction de population irradiée pour raisons professionnelles.

Les résultats des calculs des mutations apparues pour l'ensemble de la population et pour la fraction de cette population professionnellement irradiée figurent dans le tableau 8.

Il ne m'appartient pas de discuter ces valeurs, mais seulement de les présenter en un tableau cohérent qui permet de juger de leur importance relative. C'est aux spécialistes de la génétique humaine à en tirer les conclusions définitives.

Tableau 8

Mutations nouvelles apparues dans une population de 5 000 000 d'habitants à la première génération issue de la population irradiée

Ensemble de la population

Sources	Dose en une génération de 30 ans r	Descendants porteurs d'une mutation nouvelle	
		En une génération de 30 ans	En une année
A. Rayonnements naturels	3,30	92 000	3 040
B. Rayonnements modernes			
Diagnostic radiologique	0,78	21 000	710
Montres à cadrans lumineux (de 15 à 30 ans)	0,12	3 300	110
Radioscopie des chaussures	0,105	2 900	100
Essais d'explosions atomiques	0,03 ?	800 ?	30 ?
(Totaux des rayonnements modernes)	(1,04)		(950)

Irradiation professionnelle

Fraction de la population reproductive	Nombre de personnes irradiées	Dose en une génération de 30 ans r	Descendants porteurs d'une mutation nouvelle	
			En une génération de 30 ans	En une année
1/1 000e:	570	40	250	9
1/100e:	5 700	40	2 500	85
1/10e:	57 000	40	25 000	850

Aux nombres de mutés de ce tableau, il convient d'ajouter une valeur encore plus élevée qui est celle des *mutés spontanés*. On peut le calculer sur la base de la valeur de la probabilité de mutation spontanée d'un gène par génération. Une revue récente, effectuée par *L. S. Penrose* (17), donne la valeur moyenne $a = 2,6 \cdot 10^{-5}$ pour 15 mutations spontanées dominantes et récessives chez l'homme. (Les auteurs *H. J. Muller*, *C. Stern* et *R. D. Evans* dans leurs calculs, adoptent pour a des valeurs de même ordre de grandeur comprises entre 10^{-5} et $3 \cdot 10^{-5}$.) Sur la base de cette valeur, et en admettant encore 20 000 gènes par gonade, les 2 800 000 descendants issus en une génération de 30 ans de la population de 5 000 000 d'habitants considérée plus haut comporteront environ 1 450 000 mutations spontanées nouvelles. Il en apparaîtra donc, en

moyenne, 48 000 par an. Soit à peu près une mutation spontanée nouvelle pour 2 naissances.

C'est donc relativement à la somme des mutés spontanés et des mutés induits par les radiations naturelles que le nombre supplémentaire des mutés dus aux radiations modernes qui figure au tableau 9 doit être considéré. On voit que ce nombre est encore très faible, et qu'il n'atteint pas encore les 2 % des mutés naturels. Par ailleurs, on voit que le nombre de mutés apparus sous l'effet de l'irradiation professionnelle est faible et même négligeable, tant que la fraction de la population exposée professionnellement aux radiations ne dépasse pas les 5 % de la partie de la population susceptible de se reproduire, c'est-à-dire environ 30 000 personnes pour la Suisse.

Tableau 9

Comparaison des mutations induites et des types de mortalité, de morbidité ou d'invalidité occasionnées par la vie civilisée pour la Suisse en 1954

Mutations annuelles spontanées	environ 48 000
Mutations annuelles induites	
Rayonnements naturels	3 040
Rayonnements modernes	1 020
Irradiation professionnelle, 5% de la population en période de reproduction	425
Types de mortalité, de morbidité ou d'invalidité en 1954	
Mortalité par véhicules à moteur	840
Mortalité par courant électrique	23
Mortalité par cancer des bronches et du poumon (tabac)	842
Cas de poliomyélites aiguës	1 628
Accidents d'employés	
Invalidités de 20 à 49% (SUVA)	2 177 × 2*
Invalidités de 50 à 100% (SUVA)	477 × 2*

* Ces valeurs sont multipliées par un facteur 2, car selon les indications qui nous ont été obligeamment fournies par la Caisse nationale suisse d'assurance en cas d'accident, cette Caisse n'assure que la moitié environ des accidents qui se produisent chez les employés.

La règle des 5 röntgens-gonades par an, proposée par la Commission internationale, apparaît donc comme raisonnable. L'expérience montre que dans les services où la dose de rayonnement reçue est contrôlée par des mesures, cette règle est parfaitement applicable, et le personnel reçoit une dose-gonades totale très inférieure à cette limite maximum.

Mais pour rendre plus significatives encore ces valeurs de mutations induites, nous les comparons, pour terminer, aux types de *mortalité*, de *morbidité* ou d'*invalidité* graves provoquées annuellement par notre civilisation actuelle.

On rassemble ainsi sans doute des choses très différentes, et il y a un

certain arbitraire à comparer des mortalités accidentelles ou cancéreuses, ou des invalidités partielles, à des mutations apparues chez des individus dont beaucoup ne seront guère apparentes, parce qu'elles ne se manifesteront pas à cette génération. Ces chiffres fixent toutefois, je crois, l'ordre de grandeur du danger potentiel à évaluer. Les mutations nouvelles provoquées ne doivent pas présenter un danger considérable tant qu'elles ne dépassent pas sensiblement en nombre les mutations provoquées par les radiations naturelles. Mais ce point ne sera parfaitement élucidé que lorsque nous connaîtrons plus clairement les mutations induites par les radiations naturelles et les mutations spontanées. Lorsque nous saurons les désigner en quelque sorte au sein de la population. Parmi les 48 000 mutés spontanés et les 3 000 mutés induits naturellement apparus annuellement en Suisse, il est certain qu'une fraction de l'ordre du % seulement est pourvue d'une transparence suffisante pour être perçue par nos observations.

Les valeurs de ce tableau nous montrent aussi quelles sources de radiation nous devons mieux contrôler. Comme l'exposition professionnelle n'atteint sans doute pas encore les 5 % de la fraction de population située en période de reproduction, c'est l'irradiation générale de la population qu'il convient de contrôler et de réduire tout d'abord. Pour le diagnostic radiologique, nous avons vu qu'on pourrait le faire aisément en soumettant à l'obligation de les annoncer, 6 ou 7 examens du bassin, qui entraînent des doses de radiation très élevées. Pour les cadrans lumineux des montres, on pourrait réduire systématiquement leur charge à 0,1 μC pour les montres d'homme, à 0,05 μC pour les montres de dames en les marquant par points lumineux seulement. On supprimerait ainsi le dangereux travail du dessin à la main des chiffres lumineux. Pour les appareils de radioscopie des chaussures, il convient de les soumettre à un contrôle – actuellement inexistant – et de réduire par des mesures techniques simples, à 2 à 5 mr par heure, les intensités de rayonnement résiduelles à la surface.

En appliquant ces mesures de précaution peu compliquées d'une part, et d'autre part en continuant à contrôler les doses de rayonnement reçues dans l'exposition professionnelle à l'aide de petites chambres d'ionisation correctement construites, il paraît tout-à-fait possible de maintenir la dose-gonades, pour l'ensemble de la population, à un niveau inférieur à celui de l'irradiation naturelle.

Résumé

Pour juger correctement l'importance biologique des chutes radioactives, il convient tout d'abord d'établir le bilan des doses de rayonnement auxquelles l'homme est habituellement soumis dans l'ambiance

moderne. En Suisse, les gonades de l'homme reçoivent annuellement environ 110 mr par l'irradiation naturelle interne (radon, K⁴⁰, C¹⁴) et par l'irradiation externe du milieu physique ambiant pour une altitude moyenne de 450 m, 26 mr au minimum par les examens radiologiques médicaux, 8 mr environ par les cadrans lumineux des montres, 3 mr environ par le contrôle radioscopique des chaussures, et jusqu'en 1956 moins de 1 mr par les essais d'armes nucléaires.

Pour l'irradiation professionnelle, la Commission Internationale de Protection contre les Radiations limite à 5 r par an ou 50 r jusqu'à l'âge de 30 ans (milieu de la période de reproduction) la dose intégrée aux gonades.

Sur la base de la valeur de la probabilité d'induction d'une mutation par gène et par röntgen établie par *W. L. Russell* chez la souris, on peut calculer, à la première génération issue de la population irradiée par les sources du milieu ambiant ou pour des raisons professionnelles, le nombre de mutations qui doivent apparaître annuellement en Suisse. Pour juger ces valeurs, il convient de les comparer aux cas d'invalidité, de mortalité ou de morbidité grave provoqués par la civilisation moderne: accidents industriels, accidents par véhicules à moteur, cancers du poumon, poliomyélites aiguës etc. Il convient également de les comparer aux nombres des mutations spontanées et des mutations apparues sous l'effet des rayonnements naturels ambiants. On constate alors que la dose admissible de 5 r par an pour l'*irradiation professionnelle* engendre un nombre de mutés négligeable tant que la fraction de la population professionnellement exposée est inférieure à 5% de la population totale.

En revanche, la *population totale* est soumise, par l'emploi des méthodes modernes de diagnostic, à une dose moyenne de radiation qui atteint une fraction importante du rayonnement naturel et qui probablement produit annuellement un nombre supplémentaire de mutés, de même ordre de grandeur que celui des mortalités, des invalidités ou des morbidités graves provoquées par la civilisation moderne.

Des mesures doivent être prises pour réduire cette dose de radiation; et il en est de même pour les doses de rayonnement dissipées par les cadrans lumineux radioactifs et le contrôle radioscopique des chaussures si l'on s'accorde pour affirmer que toute augmentation du nombre de mutés au-dessus des taux naturels est vraiment préjudiciable à l'avenir de l'espèce humaine.

Zusammenfassung

Um den biologischen Einfluß des radioaktiven Niederschlages richtig beurteilen zu können, ist es notwendig, zuerst diejenige Dosis zu be-

stimmen, die der Mensch in der heutigen Zeit schon normalerweise aufnimmt. In der Schweiz erhalten die Gonaden des Menschen jährlich etwa 110 mr durch innere natürliche Strahlung (Radon, K^{40} , C^{14}), und äußere Strahlungen für eine mittlere Höhe von 450 m, mindestens 26 mr durch radiologische Untersuchungen medizinischer Art, ca. 8 mr durch die Leuchtzifferblätter der Uhren, ca. 3 mr durch die Röntgenkontrolle der Schuhe und durch Kernwaffenversuche bis 1956 weniger als 1 mr.

Für Bestrahlungen durch berufliche Tätigkeit beschränkt die Internationale Kommission für den Schutz gegen Strahlungen die gesamte Gonadendosis auf 5 r pro Jahr oder 50 r bis zum 30. Lebensjahr (Mitte der Fortpflanzungsperiode).

Auf Grund des Wertes für die Mutationswahrscheinlichkeit pro Gen und pro Röntgen, der von *W. L. Russell* an Mäusen festgestellt wurde, kann man in der ersten Generation, hervorgegangen aus der den Strahlungen aus der physikalischen Umgebung und der beruflichen Tätigkeit ausgesetzten Bevölkerung, die Anzahl Mutationen berechnen, die jährlich in der Schweiz vorkommen müssen. Um diese Werte zu beurteilen, soll man sie mit den Invaliditäts-, Todes- und schweren Krankheitsfällen vergleichen, wie sie durch die moderne Zivilisation hervorgerufen werden: Arbeitsunfälle, Autounfälle, Lungenkrebs, schwere Kinderlähmung usw. Ebenfalls soll ein Vergleich mit derjenigen Anzahl Mutationen angestellt werden, die durch die natürlichen Strahlenquellen hervorgerufen werden. Man stellt dann fest, daß die erlaubte Dosis von 5 r pro Jahr für *berufliche Bestrahlung* eine vernachlässigbare Anzahl von Mutationen bewirkt, solange der Bruchteil der beruflicherweise Bestrahlten unterhalb 5% der gesamten Bevölkerung bleibt. Dagegen wird die *gesamte Bevölkerung* durch die modernen Methoden der Diagnose einer mittleren Strahlungsdosis unterworfen, die einen wesentlichen Bruchteil der natürlichen Bestrahlung ausmacht und die wahrscheinlich jährlich eine zusätzliche Anzahl von Mutationen erzeugt. Diese liegt in der gleichen Größenordnung wie diejenige der Fälle von Invalidität, Mortalität oder schwerer Krankheit, wie sie durch die moderne Zivilisation bedingt sind.

Es müssen Maßnahmen ergriffen werden, um diese Strahlungsdosis zu vermindern; dasselbe gilt für die Strahlungen der radioaktiven Leuchtziffern und der Schuhkontrolle, wenn die Auffassung vertreten wird, daß jede Vergrößerung der Mutationsfälle über das natürliche Maß hinaus für die Zukunft der Menschheit untragbar ist.

Summary

To judge correctly the biological importance of radioactive fallout, it is necessary first of all to establish the level of radiation dose to which

man is actually submitted under modern conditions. In Switzerland, the gonads of man receive annually about 110 mr from natural internal irradiation (Radon, K^{40} , C^{14}) and from external irradiation of a physical milieu corresponding to an average altitude of 450 meters, 26 mr at least from medical radiological examinations, about 8 mr from the luminous hands of watches, about 3 mr from radiosopic shoe-fitting machines, and up to 1956 less than 1 mr from nuclear weapon tests.

For occupational irradiation, the International Commission for the Protection against Radiation sets a limit of 5 r per annum or 50 r up to the age of 30 (middle of the reproduction period) for the integrated total dose to the gonads.

On the basis of the probability value of induction of a mutation by the genes and by roentgen established by *W. L. Russell* in the mouse, one can calculate, to the first generation of the population irradiated by the sources of natural conditions or for occupational exposure, the number of mutations which should appear annually in Switzerland. To judge these values, it is necessary to compare them with cases of invalidity, mortality or morbidity caused by modern civilisation: industrial accidents, motor accidents, cancers of the lung, acute poliomyelitis, etc. It is also necessary to compare them with the number of mutations which appeared under the influence of natural radiations. One then comes to the conclusion that the permissible dose of 5 r per annum for *occupational irradiation* produces a negligible number of mutations, since the fraction of the population with occupational exposure is less than 5% of the total population.

On the other hand, the *total population* is submitted, by the use of modern methods of diagnosis, to an average dose of radiation which is an important fraction of the natural radiation and which probably produces annually a supplementary number of mutations of the same order of magnitude as those of mortalities, invalidities or morbidities caused by modern civilisation.

Some measures ought to be taken to reduce this dose of radiation, and the same is true for the doses of radiation dissipated by luminous hands of watches and radiosopic shoe-fitting machines, if it is agreed that any augmentation of the number of mutations above the natural rate is truly prejudicial to the future of the human race.

1. *Barnett, E., et Bewley, D. K.*: J. Fac. Radiol. London **6**, 186 (1955).
2. *Blifford, I. H., et Rosenstock, H. B.*: Science **123**, 619 (1956).
3. *Burch, P. R. J.*: Proc. Phys. Soc. Lond. A **67**, 421 (1954).
4. *Cockroft, J.*: Nature **175**, 873 (1955).

5. *Compton, A. H., et Stephenson, R. J.*: Phys. Rev. **45**, 441 (1934).
6. *Erlenmeyer, H., Oppliger, W., Stier, K., et Blumer, M.*: Helv. Chem. Acta **33**, 25 (1950).
7. *Hügi, Th.*: Techn. Rundschau, 27. Jan. 1956.
8. Int. Com. on Rad. Protection: Exposure of Man to Ionizing Radiation arising from Medical Procedures. London 1957.
9. *Libby, W. F.*: Science **122**, 57 (1955).
10. *Libby, W. F.*: Radiocarbon Dating. Chicago 1952.
11. *Lorenz, E.*: in *Zirkle, R. E.*: Biological Effects of External X- and γ -Radiation. McGraw Hill, New York 1954.
12. *Marcovich, H.*: Conf. Int. Util. Pac. En. Atomique **11**, P/371.
13. Medical Research Council: The Hazards to Man of Nuclear and Allied Radiations. London 1956.
14. *Muller, H. J.*: Proc. Int. Conf. Geneva **11**, 387 (1955); Scientific American, p. 58, nov. 1955.
15. *Muller, H. J.*: in *Hollaender, A.*: Radiation Biology **1**, 371 et 475 (1954).
16. *Payot, R., et Jaquerod, A.*: Mém. Sec. de Phys. et d'Hist. Nat. Genève **42**, fasc. 3 (1953).
17. *Penrose, L. S.*: in Medical Research Council, loc. cit., p. 91.
18. *Russell, W. L.*: in *Hollaender, A.*: loc. cit. I, 2, p. 825 (1954) and Proc. Int. Conf. Geneva **11**, 382 (1955).
19. *Sievert, R. M.*: in Effets génétiques des radiations chez l'homme, Rapport de l'O.M.S., Genève 1957, p. 71.
20. *Sievert, R. M., et Hultqvist, B.*: Acta Radiol. **37**, 388.
21. *Spiers, F. W.*: in Medical Research Council: The Hazards to Man of Nuclear and Allied Radiations. London 1956, p. 107-114.
22. *Stanford, R. W., et Vance, J.*: Brit. J. Radiol. **28**, 266 (1955).
23. *Joyet G.*: Z. Isotopenforsch., **2**, 135-160 (1957).