

ANNALEN
VAN
DE BELGISCHE VERENIGING
VOOR
STRALINGSBESCHERMING

VOL. 13, N° 2

2e trim. 1988

Driemaandelijkse
periodiek
1050 Brussel 5

Périodique
trimestriel
1050 Bruxelles 5

ANNALES
DE
L'ASSOCIATION BELGE
DE
RADIOPROTECTION

Hoofdredacteur

Dr M.H. FAES
Fazantendreef, 13
2850 Keerbergen.

Rédacteur en chef

Redactiesecretariaat

Mme Cl. STIEVENART
14, rue Juliette Wytsmannstraat,
1050 Bruxelles - Brussel

Secrétaire de rédaction

Publikatie van teksten in de Annalen gebeurt onder volledige verantwoordelijkheid van de auteurs.

Nadruk, zelfs gedeeltelijk uit deze teksten, mag enkel met schriftelijk toestemming van de auteurs en van de Redactie.

Les textes publiés dans les Annales le sont sous l'entière responsabilité des auteurs.

Toute reproduction, même partielle, ne se fera qu'avec l'autorisation écrite des auteurs et de la Rédaction.

INHOUD

SOMMAIRE

- **P. HUBLET**
Aspects médicaux de l'accident de Tchernobyl 95 - 114

- **A. WAMBERSIE, P. SMEESTERS**
Mesures d'urgence en cas d'expositions accidentelles
aux rayonnements ionisants 115 - 156

- **J. GARSOU**
Risques actuels du technicien en radiologie, radio-
thérapie, médecine nucléaire, radioprotection et leur
contexte 157 - 170

Annales de l'Association Belge de Radioprotection, vol. 13, n° 2 (1988).

ASPECTS MEDICAUX DE L'ACCIDENT DE TCHERNOBYL *

Professeur P. HUBLET
Université Libre de Bruxelles

Inspecteur général - Ministère de l'Emploi et du Travail.

RESUME

L'auteur qui était membre de la délégation belge à la conférence que l'A.I.E.A. a organisée à Vienne du 25 au 29 août 1986 pour analyser les données fournies par la délégation soviétique sur l'accident de Tchernobyl expose les caractéristiques et les enseignements qui se dégagent de cet accident nucléaire majeur sur le plan de la santé. C'est ainsi qu'il s'imposera de mettre au point des plans d'évacuation de population à grande échelle et de mettre en place des structures administratives et scientifiques, comprenant des équipes pluridisciplinaires capables d'effectuer des mesures globales de radioactivité, des mesures de composition isotopique de retombées radioactives, des études de contamination de la chaîne alimentaire. Au point de vue thérapeutique, le triage des blessés et contaminés selon des signes cliniques simples et un court interrogatoire approprié s'est révélé être une mesure efficace qui a permis de diriger ceux-ci vers les centres médicaux spécialisés de Moscou et de Kiev. Par contre, la greffe de moelle osseuse n'a pas donné les résultats espérés.

INTRODUCTION

L'accident grave survenu le 26 avril 1986 à 1 heure 23' du matin au réacteur n° 4 du site de Tchernobyl a suscité et suscite encore un émoi considérable tant en Union Soviétique que dans les autres pays.

L'intérêt scientifique ne faiblit pas et on dénombrerait déjà dans le monde à la fin de 1986 environ 80 réunions et colloques internationaux de haut niveau consacrés à l'étude des problèmes soulevés par cette catastrophe.

Rappelons que le réacteur n° 4, comme les autres installés à Tchernobyl, est du type RBMK 1.000 (réacteur à eau bouillante modéré au graphite) d'une puissance de 3.200 MWth (correspondant à une puissance électrique de 1.000 MW). Le combustible nucléaire est du dioxyde d'uranium faiblement enrichi en U235.

Une caractéristique importante de ce type de réacteur est le coefficient de vide positif.

Comme on le sait, l'expression "coefficient de vide" est utilisée pour rendre compte du phénomène physique suivant : dans les réacteurs refroidis et modérés à l'eau, la présence de bulles de vapeur dans l'eau diminue la densité de celle-ci et on dit alors qu'il s'y forme des "vides". Cette diminution de densité de l'eau a une influence sur la vitesse des neutrons et sur le nombre de fissions produites, donc sur la réactivité et la puissance du réacteur.

Un coefficient de vide positif signifie que le phénomène de la formation de bulles de vapeur dans l'eau a pour effet d'augmenter la réactivité du réacteur; dans le cas inverse, on parle de coefficient de vide négatif. D'autres types de réacteur, les PWR et les BWR, ont un coefficient de vide négatif, ce qui représente un facteur de sécurité intrinsèque.

L'accident s'est produit au cours d'un essai effectué avant la mise à l'arrêt du réacteur pour l'entretien annuel.

Un accroissement progressif des vides de vapeur dans les tubes de force a provoqué une brusque augmentation de puissance et un accroissement continu de la réactivité qui n'a plus pu être contrôlé. Il s'en est suivi une explosion de vapeur qui détruisit les tubes de force contenant les éléments combustibles.

La densité de puissance, accrue subitement d'un facteur 10 par seconde, a provoqué l'éclatement des éléments combustibles dans les tubes de force.

Le contact de l'eau de circulation avec les fragments de combustibles surchauffés (de 2.000 à 4.000°C) a provoqué une nouvelle augmentation brutale de la température et de la pression de vapeur.

L'explosion de vapeur a entraîné les conséquences suivantes :

- éclatement d'une majorité des tubes de force et des éléments combustibles;
- fragmentation et projection de la dalle protectrice de béton de 1000 tonnes fermant le sommet du réacteur;
- expulsion dans l'atmosphère de la vapeur d'eau, des fragments de combustibles et des produits de fission.

Une deuxième explosion a été entendue 2 ou 3 secondes après la première; son origine est, soit une nouvelle excursion de puissance du réacteur provoquant une explosion de vapeur selon le mécanisme qui vient d'être expliqué, soit une explosion d'hydrogène.

L'effet cumulé de la température du graphite et de son contact avec l'air a ensuite entraîné l'inflammation de celui-ci.

Des témoins ont vu des gerbes d'étincelles sortir du bâtiment du réacteur 4; il était environ 1 h 24' ce samedi 26 avril 1986.

En résumé, la catastrophe résulte essentiellement de la conjonction et de l'enchaînement des facteurs suivants :

- 1) le coefficient de vide suffisamment positif pour n'être pas compensé par d'autres coefficients de réactivité négatifs :
 - tendance à l'emballlement;

2) la lenteur d'intervention du système d'arrêt d'urgence :

- arrivée tardive des barres de contrôle;

3) la réalisation d'un essai à caractère expérimental :

- situations non anticipées (empoisonnement Xénon);
- programme d'essai insuffisamment préparé et mai réalisé;

4) le non respect de consignes de sûreté :

- volonté de réaliser un essai avant l'arrêt programmé du réacteur
alors que toutes les conditions de sécurité n'étaient plus réunies.

Rejets radioactifs et contamination de l'environnement

Le rejet total des produits de fission (à l'exception des gaz nobles) s'élève à quelques 1850 PBq (50 MCi), soit 3,5 % environ de l'inventaire radioactif du coeur au moment de l'accident, ces activités étant calculées au 6 mai. L'erreur sur ces déterminations a été estimée à 50 %.

En outre, la quantité de gaz nobles rejetés à été évaluée à plus de 1850 PBq (50 MCi), soit l'entièreté du krypton et du xénon.

L'évaluation du rejet est fondée sur les résultats :

- des analyses de la composition radioisotopique d'échantillons d'aérosols prélevés au-dessus du réacteur endommagé à partir du 26 avril 1986;
- d'un relevé aérien du rayonnement gamma dans la région de la centrale;
- de l'analyse d'échantillons des retombées;
- des mesures effectuées par les stations météorologiques sur l'ensemble de l'U.R.S.S., dont la plus proche, celle de Kiev se situait à \pm 130 km de Tchernobyli.

Les rejets se sont déroulés en quatre phases :

- la phase initiale correspond au rejet de combustible dispersé au moment de l'endommagement du réacteur; la composition isotopique du rejet correspond à celle du combustible irradié, enrichie toutefois par des isotopes volatils de l'iode, du tellure et du césium ainsi que par des gaz nobles;
- en deuxième phase (du 26/4 au 2/5/86), du combustible très dispersé a été emporté hors du réacteur, par les courants ascensionnels d'air chaud et de gaz de combustion du graphite; le rejet a décru au cours de cette phase au fur et à mesure que les produits déversés sur le réacteur (plomb, sable, ...) s'accumulaient;
- pendant la troisième phase (du 2 au 6/5/86), bien que la violence de l'incendie du graphite ait décru, le coeur s'est échauffé en raison de la chaleur résiduelle et de la détérioration du transfert thermique due à l'accumulation des matériaux déversés; cet échauffement s'est traduit par des transformations physico-chimiques au sein du combustible conduisant à la libération de produits de fission et à leur rejet sous forme d'aérosols dans les gaz chauds quittant le réacteur;
- la quatrième phase qui débute après le 6 mai se caractérise par une diminution drastique des rejets (facteur 100) due aux mesures qui ont été prises ainsi qu'à la diminution de la température du combustible. L'activité rejetée est de quelques dizaines de GBq (Ci) par jour.

La contamination radioactive de l'environnement consécutive à ces rejets a, non seulement, été influencée par leur dynamique mais aussi par les conditions météorologiques.

Le panache de fumée contaminé, provoquant une traînée de dépôts radioactifs sur le sol, s'est dirigé d'abord vers l'ouest et le nord, puis vers le nord au cours des deux jours qui ont suivi l'accident, et enfin vers le sud à partir du 29 avril, pendant quelques jours; les masses d'air contaminées se sont dispersées sur de grandes étendues.

A la date du 27 avril, la hauteur du panache, mesurée à 30 km du site du réacteur a dépassé 1200 m; les jours suivants, cette hauteur n'a plus dépassé 400 m.

Les quantités de radionucléides relachées sont évaluées dans les tableaux en annexe (I) et (II).

Des émetteurs alpha ont été détectés aussi bien dans le panache d'aérosols que dans les dépôts au sol, en particulier dans la zone en couronne circulaire déterminée par les distances de 1,5 et 30 km du réacteur. Le ^{242}Cm représentait 90 % de l'activité et les isotopes de masse 238, 239 et 240 approximativement 10 %.

Les experts russes indiquent encore l'importance de la remise en mouvement de particules déjà déposées sous l'effet, notamment, du vent ou au cours des travaux de décontamination et, par voie de conséquence, des précautions prises pour limiter l'ampleur de ce phénomène.

Le rapport des experts russes reflète également la crainte d'un rejet de substances radioactives dans les eaux de surface ou souterraines, craintes d'ailleurs vérifiées en ce qui concerne le bassin de refroidissement (22 km²), et souligne les travaux importants en cours de réalisation pour pallier à cette éventualité.

Données sur l'exposition du personnel de la centrale et des services d'urgence. - Traitement médical.

En raison de leur participation aux mesures prises pour maîtriser l'accident au cours des premières heures qui l'ont suivi, certains membres du personnel de la centrale et des services d'urgence ont reçu des doses d'irradiation élevées, plus de 1 Sievert (100 rem) et ont également subi des brûlures lors de leur intervention pour éteindre l'incendie. Des soins médicaux leur ont été donnés immédiatement.

Comme on le sait, les premiers symptômes (temporaires) d'une irradiation importante consistent en céphalées, augmentation de température, nausées et vomissements. Les médecins praticiens soviétiques ont souligné le fait que le délai d'apparition de ces symptômes est en relation avec la dose d'irradiation reçue. Ainsi leur apparition en moins d'une 1/2 heure correspond à une dose de l'ordre de 6 Gy, leur même apparition entre 1/2 heure et 1 heure correspond à une dose comprise entre 4 et 6 Gy, leur apparition entre 1 à 2 heures à une dose de 2 à 4 Gy et leur apparition après plus de 2 heures à une dose d'irradiation de 0,8 à 2 Gy.

Par ailleurs, la vitesse de chute du nombre de lymphocytes sanguins est en relation avec l'irradiation et il a aussi été vérifié, comme dans tous les cas antérieurement décrits dans la littérature médicale, qu'une valeur de moins de 1.000 lymphocytes par mm³ de sang constituait un signe de gravité.

Le 26 avril 1986, à 6 heures, 108 personnes avaient été hospitalisées, et au cours de la journée 24 autres personnes parmi celles que l'on avait examinées ont été admises dans un hôpital. Une personne est morte des suites de graves brûlures à 6 heures, le 26 avril 1986, et une des personnes affectées à la centrale endommagée n'a pas été retrouvée. Il est possible qu'elle travaillait dans la zone où les structures se sont effondrées et où la radioactivité était élevée.

Conformément aux procédures de diagnostic précoce appliquées en Union soviétique, les personnes chez lesquelles l'apparition d'un syndrome d'irradiation aiguë avait été diagnostiqué comme étant très probable ont été recensées dans un délai de 36 heures en vue de leur hospitalisation. Les établissements choisis étaient les cliniques de Kiev les plus proches du lieu de l'accident et un service spécialisé de Moscou; le but recherché étant d'apporter un maximum d'assistance et de faire en sorte que les résultats des examens soient analysés par des spécialistes.

Cent vingt-neuf patients ont été envoyés à Moscou au cours des deux premières journées. Au cours des trois premiers jours, on a diagnostiqué un syndrome d'irradiation aiguë des degrés II-IV chez 84 d'entre eux, et du degré I chez 31 autres. A Kiev, 14 personnes présentaient un syndrome des degrés II-IV. (cf. tableau I, page suivante).

Le nombre total de décès dus à des brûlures et à un syndrome d'irradiation aiguë s'établissait à 31 (fin août 86) compte tenu des 2 victimes mortes immédiatement. Aucun membre de la population n'a reçu des doses élevées qui auraient provoqué un syndrome d'irradiation aiguë.

Les chiffres présentés à la réunion d'analyse de l'accident de Tchernobyl, qui s'est tenue à Vienne, du 25 au 29 août 1986, sont repris dans le tableau ci-dessous :

NOMBRE DE VICTIMES TRAITÉES ET DOSES

Gravité	Dose Gy (x)	Nombre de patients traités à		Décès
		Kiev	Moscou	
I	1 - 2	14	31	0
II	2 - 4	10	43	1
III	4 - 6	2	21	7
IV	6 - 16	2	20	21
TOTAL :		143		29

(x)1 Gy = 1 Gray = 100 rad.

Tableau I

Les statistiques ont été par la suite légèrement corrigées en fonction du devenir des victimes et des quelques personnes recensées plus tard.

Des contre-mesures, pour la population, ont été prises très rapidement après l'accident dans la zone de 30 km la plus exposée aux retombées : des tablettes d'iode stable ont été distribuées aux personnes travaillant et habitant aux environs de Tchernobyl. Cette mesure a permis de réduire l'absorption d'iode radioactif par la thyroïde. Dès que l'on s'est rendu compte que la population vivant dans la zone de 30 km s'étendant autour de la centrale pouvait recevoir des doses de l'ordre de plusieurs centaines de mSv^x, on décida de procéder à l'évacuation de 135.000 personnes, dont de nombreux enfants. Cette évacuation fut effectuée rapidement et efficacement. En conséquence, personne en dehors de la centrale n'a manifesté de syndromes d'irradiation aiguë. Au cours de la discussion qui a suivi la communication de la délégation soviétique à la conférence de l'A.I.E.A., la dose collective reçue par la population dans la zone de 30 km au cours de la première phase de l'accident, a été estimée à 16.000 h-Sv (homme-Sievert) . En se fondant sur l'estimation de l'UNSCEAR (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation) d'une augmentation de 1 % de la fréquence des cancers par Sv reçu, cela correspondrait à un accroissement relatif du nombre de cancers d'environ 0,6 %.

Les doses absorbées par la population soviétique décroissent à mesure que l'on s'éloigne de la centrale. Elles dépendent également des conditions météorologiques locales. On estime à 90.000 h-Sv au cours de la première année et à 290.000 h-Sv pour les 50 années suivantes la dose collective d'origine extérieure qui résultera de l'accident de Tchernobyl pour 75 millions d'habitants de la zone européenne de l'Union Soviétique.

^x 1 Sv = 100 rem.

On estime de façon pessimiste à environ 2×10^6 h-Sv la dose collective due à l'ingestion de radionuclides, dont la plus grande partie sera imputable aux radioisotopes du césium dans les aliments, mais selon d'autres calculs basés sur les premières mesures de radioisotopes retenus par l'organisme, cette dose pourrait être en réalité inférieure d'un facteur 10.

Pour les aspects médicaux on s'est trouvé et on se trouve devant plusieurs types de problèmes :

- 1) les soins aux victimes (les travailleurs);
- 2) les aspects de santé publique (évacuation, décontamination et les problèmes sanitaires qui y sont liés);

Les radionuclides dominants sont l'iode 131, le césium 137 ...

- 3) les effets stochastiques ou aléatoires des radiations ionisantes qui sont de deux types : - l'induction de cancer
- les effets génétiques.

Il est impossible de détailler ici tous les problèmes de sorte que je me bornerai à émettre quelques considérations sur les aspects exclusivement médicaux.

Pour la peau : on a du traiter des brûlures étendues qui étaient contaminées par du rayonnement β . L'évaluation de la surface brûlée a, dans certains cas, été faite par des techniques de thermographie. L'évaluation de la dose reçue aux vaisseaux est, quant à elle, importante pour poser une indication correcte de greffe de peau puisque la prise de la greffe est liée à une bonne vascularisation.

Des prélèvements de peau, suivis de cultures de cellules avec comptage dans celles-ci des aberrations chromosomiques sont à envisager.

Question des transplantations de moelle.

Le Dr. Jammet a rappelé (dans une discussion) que la première transplantation avait été réalisée en 1958 (à la fondation Curie à Paris) et que depuis, l'éventail des possibilités thérapeutiques a fort évolué; la première mesure étant l'isolement du patient dans une chambre stérile.

Le problème des transplantations est très complexe et divers facteurs interviennent tels que : la dose moyenne dans le corps car elle donne une idée de la destruction de la moelle et de ses possibilités de récupération : la distribution de la dose dans le corps car elle permet de savoir s'il existe dans certaines parties de la moelle des possibilités de régénération. Il faut en outre tenir compte des phénomènes de rejet et des différents problèmes d'immunologie.

A cet égard, il est apparu au cours des discussions sur le rapport soviétique à l'A.I.E.A. à Vienne qu'en matière d'indication de greffe osseuse, les praticiens américains (dont le Dr. Gale) étaient plus interventionnistes que leurs collègues soviétiques et français.

Les greffes de moelle hématopoïétiques ont été décevantes puisque sur 7 greffés, six sont morts. Ces mauvais résultats sont attribuables, entre autres, au manque de temps nécessaire pour trouver des donneurs adéquats du point de vue de l'histo-compatibilité.

Il y avait donc au moment de l'accident 166 personnes (travailleurs au sens large) présentes sur tout le site de Tchernobyl (les 4 réacteurs opérationnels + les 2 autres en construction). Les victimes se comptent parmi ce personnel et celui d'intervention après l'accident : équipes diverses de secours envoyées sur place et parmi celles-ci, les pompiers.

Il n'y a pas eu d'irradiation par les neutrons (comme dans les autres accidents nucléaires) mais des contaminés (contamination β) et irradiés qui étaient en plus brûlés. Cette situation a compliqué le traitement des victimes mais néanmoins, 3 jours au maximum après l'accident, chaque victime avait fait l'objet d'une évaluation précise de son état clinique. En d'autres termes, le diagnostic médical était posé et le traitement choisi était appliqué, ce qui était tout à fait remarquable.

Parmi les problèmes (relativement nouveaux) à résoudre relevons l'importance d'évaluer aussi correctement que possible la dose reçue à la peau. Les indications thérapeutiques de greffe de peau sont malaisées à poser sachant que la dose se décompose en dose reçue aux vaisseaux sanguins et en dose reçue à l'épithélium. Il s'agit en fait d'étude cas par cas.

Evoguons à présent les effets stochastiques

Les autorités soviétiques se proposaient (et se proposent) d'étudier le devenir (médical) des 135.000 personnes évacuées suite à la catastrophe de Tchernobyl. Il s'agit là d'une tâche énorme quasi impossible à mener à bien, pour des résultats que l'on peut raisonnablement estimer très faibles. Une discussion importante a eu lieu au sujet de la méthodologie à mettre en oeuvre pour réaliser cette vaste enquête épidémiologique. Sans entrer dans les techniques en usage dans cette discipline, relevons le fait que pour les études à caractère rétrospectif (études dites longitudinales) on fait appel à l'observation de groupes, choisis selon des méthodes statistiques rigoureuses, que l'on compare à des groupes témoins, le groupe étudié ne se différenciant du groupe témoin que par un seul caractère : le facteur de discrimination.

Or dans le cas présent, de nombreuses personnes ont reçu des doses faibles et d'un même ordre de grandeur alors qu'à Hiroshima et à Nagasaki, à partir du lieu de l'explosion de la bombe atomique, on a pu établir, en fonction de la distance, un relevé assez précis des doses. Les 135.000 personnes évacuées dans un rayon de 30 km de la centrale sinistrée ont reçu une dose de quelques centièmes à quelques dixièmes de Gray, selon les estimations avancées.

Les scientifiques présents à la réunion de Vienne ont estimé qu'il convenait de confronter préalablement les expériences acquises avant d'entreprendre les études et le consensus s'est établi pour préconiser l'organisation de groupes de travail, de séminaires internationaux, ce qui a, depuis, été accepté par les divers gouvernements.

Ainsi, avec la collaboration indispensable d'autres instances gouvernementales ou organisations internationales, les conséquences de la catastrophe de Tchernobyl feront l'objet d'études et de rapports spécifiques :

Le B.I.T. s'occupera des questions relatives aux travailleurs;

l'O.M.S. s'occupera des problèmes de santé en général;

l'UNSCEAR des effets stochastiques de l'accident;

l'A.I.E.A. des aspects sûreté des réacteurs (entre autres).

Les Communautés européennes ont aussi leur programme d'action post-Tchernobyl et il est entendu que tout sera entrepris pour éviter la duplication des études, la crise économique imposant de réaliser le meilleur rendement des budgets alloués pour ces recherches.

Leçons à tirer

- Opportunité d'envisager d'autres mesures que la distribution d'iode et le confinement. Par exemple : évacuation de population à grande échelle.
- Nécessité d'avoir des renseignements fiables, entre autres au point de vue dosimétrique. Au début : mesures de radioactivité globale, c'est-à-dire pas de composition isotopique.

Pour les soins aux irradiés et aux contaminés et "triage" des blessés selon les méthodes en usage dans la médecine militaire.

- Intérêt à disposer d'équipes pluridisciplinaires capables de procéder aux évaluations dosimétriques, aux examens biologiques, à l'interprétation de l'évolution des signes cliniques et aux choix des traitements à mettre en oeuvre.

A cet égard : les autorités soviétiques ont reconnu que la décision d'évacuer avait été prise trop tard mais quand elle a été prise l'opération (prise en mains par les militaires) a été rondement menée.

Rappel : 135.000 personnes ont été évacuées au total dont 49.000 de Prypiat évacuées en 2 h 30, 12.000 de Tchernobyl. Les autres personnes sont celles qui habitaient dans un périmètre de 30 km de la centrale sinistrée.

Le chef de la délégation soviétique a expliqué que "Moscou" avait été prévenu tout de suite et que l'évaluation de la situation réelle sur le site sinistré avait été mal faite (estimation des rejets, la marge d'erreur, selon la délégation soviétique elle-même, est de 50 % pour les valeurs fournies, composition isotopique de ceux-ci, etc...).

La décision d'évacuer (qui était nécessaire) a été prise 40 h après la catastrophe.

EN CONCLUSION : Les événements qui se sont déroulés à Tchernobyl, on mis en évidence l'obligation de réexaminer 3 domaines suivants, qui relèvent de la protection de la santé :

- 1) celui des mesures, de l'estimation et de la notification des niveaux d'activité auxquelles les personnes peuvent être exposées en cas d'accident et après des accidents, de la surveillance de la contamination radioactive de la chaîne alimentaire et de la réglementation des exportations dans le domaine agro-alimentaire;
- 2) celui du traitement médical des personnes souffrant d'effets biologiques immédiats résultant de rejets radioactifs accidentels;
- 3) celui de la décontamination des zones d'habitation et de travail ayant été contaminées après un accident.

Une fois de plus a été mise en évidence la pluridisciplinarité et la complémentarité des disciplines qui concourent à réaliser, au sens large du mot, la Radioprotection.

ANNEXE I.

Rejet quotidien (q) de substances radioactives dans l'atmosphère hors de la centrale endommagée (non compris les gaz inertes radioactifs) ^x

Date	Nombre de jours après l'accident	q, 10 ⁹ MBq	(MCi) ^{xx}
26.04	0	444	(12)
27.04	1	148	(4,0)
28.04	2	125,8	(3,4)
29.04	3	96,2	(2,6)
30.04	4	74	(2,0)
01.05	5	74	(2,0)
02.05	6	148	(4,0)
03.05	7	185	(5,0)
04.05	8	259	(7,0)
05.05	9	296	(8,0)
06.05	10	37.10 ⁻¹	(0,1)
09.05	14	37.10 ⁻²	(0,01)
23.05	28	74.10 ⁻⁵	(20,10 ⁻⁶)

^x L'erreur dans l'évaluation du rejet est de $\pm 50\%$. Elle comprend l'erreur imputable aux instruments de dosimétrie, celle qui provient des mesures radiométriques de la composition radioisotopique des échantillons d'air et de sol, et celle qui est due au fait que dans le cas des retombées on a établi des moyennes pour la région.

^{xx} Les valeurs de q ont été calculées le 6 mai 1986 compte tenu de la décroissance radioactive. (Au moment du rejet du 26 avril 1986, l'activité s'élevait à 74010⁹ - 81410⁹ MBq (20 - 22 MCi). Voir annexe 2 pour la composition du rejet.

1 MCi = 3710⁹ MBq.

ANNEXE II.

Evaluation de la composition radioisotopique du rejet hors de la centrale endommagée ^x

Isotope ^{xx}	Activité du rejet.10 ⁹ MBq (MCI)				Axxxx
	26.04.86		06.05.86 ^{xxx}		
133Xe	185	(5)	1665	(45)	[a pu atteindre 100
85 ^m Kr	3,55	(0,15)	-	(-)	
85Kr	-	(-)	33,3	(0,9)	20
131I	166,5	(4,5)	270,1	(7,3)	15
132Te	148	(4)	48,1	(1,3)	10
134Cs	5,55	(0,15)	18,5	(0,5)	13
137Cs	11,1	(0,3)	37	(1,0)	2,3
99Mo	16,65	(0,45)	111	(3,0)	3,2
95Zr	16,65	(0,45)	140,6	(3,8)	2,9
103Ru	22,2	(0,6)	118,4	(3,2)	2,9
106Ru	7,4	(0,2)	59,2	(1,6)	5,6
140Ba	18,5	(0,5)	159,1	(4,3)	2,3
141Ce	14,8	(0,4)	103,6	(2,8)	2,8
144Ce	16,65	(0,45)	88,8	(2,4)	4,0
89Sr	9,25	(0,25)	81,4	(2,2)	4,0
90Sr	5,5510 ⁻¹	(0,015)	8,14	(0,22)	3,0
238Pu	3,710 ⁻³	(0,1.10 ⁻³)	29,610 ⁻³	(0,8.10 ⁻³)	3,0
239Pu	3,710 ⁻³	(0,1.10 ⁻³)	25,910 ⁻³	(0,7.10 ⁻³)	3,0
240Pu	7,410 ⁻³	(0,2.10 ⁻³)	37,10 ⁻³	(1.10 ⁻³)	3,0
241Pu	7,410 ⁻²	(0,02)	5,2	(0,14)	3,0
242Pu	11,110 ⁻⁶	(0,3.10 ⁻⁶)	74,10 ⁻⁶	(2.10 ⁻⁶)	3,0
242Cm	11,110 ⁻²	(0,3.10 ⁻²)	77,710 ⁻²	(2,1.10 ⁻²)	3,0
239Np	99,9	(2,7)	44,4	(1,2)	3,2

^x L'erreur dans l'évaluation est de $\pm 50\%$. A voir l'explication donnée au bas du tableau 1.

^{xx} Donnée concernant l'activité des principaux radioisotopes mesurée lors des analyses radiométriques.

^{xxx} Rejet total le 6 mai 1986.

Axxxx Activité libérée par le réacteur à la date du 06.05.86, %.

Remarque : Au cours des différentes phases les variations de la température du combustible ont entraîné des variations correspondantes de la composition isotopique des rejets.

Références

La rédaction de ce travail se base sur la documentation établie par le comité d'Etat de l'U.R.S.S. sur l'utilisation de l'énergie atomique pour la réunion de l'A.I.E.A., qui s'est tenue à Vienne, du 25 au 29 août 1986, ainsi que sur des renseignements fournis à cette réunion par des experts soviétiques et sur les discussions qui ont suivi.

Korte inhoud

De auteur, die als lid van een Belgische delegatie, deelnam aan de conferentie welke door het A.I.E.A. te Wenen werd georganiseerd van 25 tot 29 augustus 1986 met als doel de gegevens te onderzoeken, die vrijgegeven werden door een Sovjetdelegatie naar aanleiding van het ongeval te Tchernobyl, geeft een uiteenzetting omtrent de voornaamste eigenschappen en lessen, die men kan trekken uit dit nucleair ongeval op het vlak van de gezondheid.

Het is aldus dat de noodzaak zich opdringt om evacuatieplannen voor de bevolking op grote schaal op punt te stellen, om administratieve en wetenschappelijke structuren op te richten, die polyvalente werkgroepen bevatten welke in staat zouden zijn globale metingen van de radioactiviteit, metingen omtrent de isotopensamenstelling van radioactieve neerslag, en studies omtrent de besmetting van de voedselketen, uit te voeren.

Voor wat betreft het therapeutisch aspect, heeft de klassificatie van de gewonden en besmette personen op basis van eenvoudige klinische symptomen en een kort specifiek vraaggesprek, zich opgeworpen als een efficiënt criterium dat toelaat deze personen in medische gespecialiseerde centra van Moskou en Kiev onder te brengen.

Daarentegen, heeft de ruggenmergtransplantatie, de verwachte resultaten niet kunnen waarmaken.

Abstract

The author, a member of the Belgian delegation at the I.A.E.A. conference, held in Vienna on August 25th to 29th 1986 in order to analyse the data provided by the Soviet delegation on the Chernobyl accident, outlines the characteristics and lessons resulting from this major nuclear accident as to its health aspects. Thus, it will be necessary to prepare large-scale evacuation plans and to develop the scientific and administrative structures which will enable multidisciplinary teams to both measure the overall radioactivity levels as well as the isotopic composition of the fall-out and to examine the contamination of the food chain. From a therapeutic point of view the "grading" of wounded and contaminated persons on the basis of simple clinical signs along with a brief interrogation proved to be an effective measure which allowed the transfer of these people to the specialized centres of Moscow and Kiev. However, bone marrow transplants have not turned out as successful as had been expected.

Annales de l'Association Belge de Radioprotection, vol. 13, n° 2 (1988).

MESURES D'URGENCE EN CAS D'EXPOSITIONS ACCIDENTELLES

AUX RAYONNEMENTS IONISANTS (1)

WAMBERSIE A.

Laboratoire de Radiobiologie et de Radioprotection
Université Catholique de Louvain, U.C.L. 54-69
Avenue Hippocrate 54
1200 BRUXELLES.

SMEESTERS P.

Service de Protection contre les Radiations Ionisantes
Ministère de la Santé publique et de l'Environnement
Cité Administrative de l'Etat, Quartier Vésale
B - 1010 BRUXELLES.

RESUME

Le présent article a pour but de donner aux médecins et aux pharmaciens les éléments nécessaires pour intervenir efficacement en cas d'exposition aux rayonnements ionisants. A cet effet, il débute par une présentation résumée et pratique des mesures médicales d'urgence en présence d'une personne susceptible d'avoir été exposée aux rayonnements ionisants, que ce soit par voie externe ou par voie interne. Il se poursuit par un rappel et une mise à jour des notions essentielles concernant les effets aigus et les effets à long terme provoqués par les rayonnements ionisants. Il remet enfin en mémoire les principes et les orientations des traitements éventuels.

(1) Document préparé à la demande du Conseil Supérieur d'Hygiène publique (Ministère de la Santé publique et de l'Environnement), IIIème Section, Groupe de travail : Protection contre les Radiations Ionisantes (Président : Dr. A. LAFONTAINE). Ce document a été approuvé en sa séance du 25 novembre 1987, par le Conseil, qui en a demandé la publication.

Les événements en rapport avec les retombées radioactives sur notre pays suite à l'accident de Tchernobyl ont mis en lumière la nécessité d'une information du corps médical et pharmaceutique sur le rôle éventuel qu'il pourrait être amené à jouer en cas d'expositions accidentelles, que celles-ci surviennent isolément ou à la suite d'un accident nucléaire de plus ou moins grande ampleur.

Outre que médecins et pharmaciens pourraient être sollicités dans le but de donner un avis autorisé, les médecins locaux risquent de devoir intervenir au niveau des soins de première urgence.

En pareil cas, les médecins praticiens devraient réaliser une première évaluation clinique, faire d'urgence les prélèvements nécessaires, mettre en route les premiers traitements, puis diriger au besoin les patients vers les centres spécialisés appropriés.

Le but de cette note est dès lors de donner au corps médical et pharmaceutique les éléments pratiques nécessaires pour pouvoir intervenir efficacement en cas d'expositions accidentelles.

Elle comprend deux parties :

1. une présentation résumée des mesures médicales d'urgence en présence d'une personne susceptible d'avoir été irradiée et/ou contaminée ;
2. un rappel des effets aigus et des effets à long terme provoqués par les rayonnements ionisants ainsi que de l'attitude thérapeutique éventuelle.

En annexe, figure un tableau explicitant les principales unités utilisées en radiobiologie ainsi qu'une bibliographie à visée pratique.

PREMIERE PARTIE**MESURES MEDICALES D'URGENCE EN PRESENCE D'UNE PERSONNE SUSCEPTIBLE
D'AVOIR ETE EXPOSEE AUX RAYONNEMENTS IONISANTS : RESUME PRATIQUE.**

1. **Accorder toujours la priorité au traitement des urgences vitales, telles que hémorragie, état de choc, asphyxie, problèmes cardio-vasculaires, fractures, etc.**

2. **Si une contamination radioactive(voir fig. 1) est suspectée :**
 - faire enlever les vêtements et les faire mettre dans un sac en plastique qui sera soigneusement fermé ; la personne prendra ensuite une douche et changera de vêtements;

 - prendre un écouvillon au niveau du nez et de la bouche (pour recherche de contamination radioactive);

 - procéder ensuite aux mesures décrites au point 3 ci-dessous;

 - plus tard : adresser à un centre spécialisé, notamment pour réaliser une anthropogammamétrie *

* L'anthropogammamètre, ou compteur total humain, est une installation qui permet de mesurer des contaminations radioactives, même très faibles.

3. Le plus vite possible :

- se renseigner sur le type d'installation et d'accident en cause;
- noter l'existence et l'heure précise d'apparition des symptômes cliniques éventuels, particulièrement les nausées, **les vomissements**, les signes de choc, l'érythème cutané et les signes neurologiques (prostration, hyperexcitabilité, ataxie, tremblements,...);
- prendre du sang pour examen hématologique complet et surtout **numération des lymphocytes** : un échantillon toutes les 3 heures le premier jour, 3 échantillons par jour les jours suivants;
- récolter les urines et les selles (totales si possible) et les conserver au frigo (pour analyse et recherche de contamination).

4. En cas de vomissements :

- injecter :
 - a) 1 à 2 ampoules I.M. ou I.V. de domperidone (p.ex. Motilium) ou de métoclopramide (p.ex. Primpéran);
 - b) 1 à 2 mg de lorazepam (p. ex. Téresta) en I.V. lente ou 10 mg I.M. de diazepam (p.ex. Valium) ou autre dérivé de benzodiazépine;
- assurer repos et calme, tranquilliser.

5. Si le contexte l'indique, suivre l'information qui pourrait être donnée par la voie de la radio ou de la télévision (cas d'accident nucléaire majeur par exemple).

6. Estimation clinique et biologique de la dose :

- 6.1. En cas d'irradiation accidentelle, le médecin amené à intervenir en urgence dispose rarement des données dosimétriques qui devraient "idéalement" lui permettre de faire un pronostic et éventuellement d'instaurer le traitement adéquat. Il est donc souvent réduit à se baser sur la symptomatologie clinique et sur des examens biologiques pour estimer la dose reçue.
- 6.2. On estime que la DL 50 (dose létale dans 50 % des cas) chez l'homme se situe autour de 3,5 Gy (350 rad) ; les décès sont rares en-dessous de 2 Gy (200 rad) ; la mortalité est quasi totale au-delà de 6 à 7 Gy (600-700 rad). La DL 50 peut être abaissée dans différentes circonstances, en particulier si l'irradiation est accompagnée de brûlures graves. La symptomatologie décrite ci-après se rapporte à une irradiation totale.
- 6.3. Estimation de la dose d'après l'existence et la vitesse d'apparition des nausées et des vomissements : se baser sur le tableau I tout en n'oubliant pas la possibilité de troubles digestifs d'origine psychologique.
- 6.4. Estimation de la dose d'après l'importance et la rapidité de la chute du taux sanguin de lymphocytes : se baser sur le tableau II et la figure 2 en se rappelant que le taux normal moyen des lymphocytes dans le sang est d'environ 2.500 par mm^3 , mais peut varier de 1500 à 4000 par mm^3 .

6.5. Estimation de la dose d'après l'existence de l'érythème cutané : celui-ci est transitoire et n'apparaît que pour des doses de l'ordre de 5 Gy (500 rad).

6.6. Estimation de la dose d'après l'existence de signes neurologiques (prostration, hyperexcitabilité, ataxie, tremblements) : ceux-ci font craindre des doses très élevées (plus de 10 Gy c'est-à-dire 1.000 rad).

7. Attitude thérapeutique :

- **Si les signes cliniques ou les résultats de la numération des lymphocytes font suspecter une dose supérieure à 1 Gy (100 rad), il faut adresser le malade à un centre spécialisé.**

- Dans le cas contraire, rassurer et continuer à surveiller la clinique et le taux de lymphocytes ; s'informer d'un éventuel état de grossesse

8. Cas particuliers :

8.1. **Suspicion de contamination interne par de l'iode radioactif : donner de l'iode stable dès que possible, afin de saturer la glande thyroïde.** La posologie est de 100 mg d'iode par jour pendant une dizaine, voire une quinzaine de jours ; la dose est réduite de moitié chez les enfants de moins d'un an.

On utilisera des gélules d'iodure ou d'iodate de potassium, contenant chacune 100 mg d'iode, c'est-à-dire 130 mg d'iodure de potassium ou 160 mg d'iodate de potassium.

A défaut, on emploiera du Lugol ou de la teinture d'iode, en gouttes diluées dans un verre de lait 1 ml de Lugol (solution aqueuse), soit 20 gouttes au compte-gouttes officinal, contient environ 100 mg d'iode total (iode et iodure de potassium). 1 ml de teinture d'iode (solution alcoolique), soit 60 gouttes au compte-gouttes officinal, contient également environ 100 mg d'iode total (iode et iodure de potassium).

Dans le contexte d'une contamination accidentelle, l'iode peut être donné aux femmes enceintes, ainsi qu'aux personnes présentant un goût.

La prudence s'impose en cas d'idiosyncrasie à l'iode et dans certaines maladies systémiques (vasculites à complément abaissé).

En cas d'accident nucléaire, on se conformera aux indications données par les autorités publiques, notamment en ce qui concerne la durée pendant laquelle la prophylaxie iodée doit être maintenue.

En cas de contamination accidentelle isolée, on adressera le patient à un centre spécialisé pour l'évaluation de la contamination thyroïdienne et la suite du traitement.

8.2. Suspicion de contamination interne importante par un radionucléide autre que l'iode radioactif :

Ce cas est rare en dehors des personnes professionnellement exposées ; ne pas essayer de traiter mais envoyer d'urgence dans un centre spécialisé pour l'évaluation de la contamination et le traitement.

8.3. Suspicion d'irradiation par neutrons :

Très rare (travailleurs au voisinage d'un cyclotron par exemple).

Enlever tous les objets métalliques (montre par exemple) ; noter par écrit l'endroit du corps précis où ceux-ci se trouvaient (en vue de calculs dosimétriques futurs) et adresser à un centre spécialisé.

8.4. Irradiation de la face :

Adresser à un centre spécialisé après avoir, vu le risque d'apparition retardée (plusieurs jours) d'une conjonctivite très douloureuse, traité préventivement les yeux à l'aide d'un collyre contenant un dérivé cortisoné associé à un antibiotique (par exemple Maxitrol, Deicol)

8.5. Irradiation partielle :

Survient souvent au niveau des mains. Le patient risque de ne pas s'en apercevoir au moment même car l'effet de l'irradiation se manifeste tardivement. Ainsi, après quelques semaines, la symptomatologie clinique peut comprendre, selon la dose, une desquamation (aspect eczémateux), des phlyctènes, de l'épilation ou des ulcérations (radionécrose).

L'anamnèse permet parfois de mettre en évidence l'existence d'un érythème cutané transitoire.

Adresser à un centre spécialisé.

DEUXIEME PARTIE.**RAPPELS DE NOTIONS DE PATHOLOGIE APRES
EXPOSITION AUX RAYONNEMENTS IONISANTS.****ORIENTATIONS THERAPEUTIQUES.****I. GENERALITES**

Il existe plusieurs types d'accidents d'irradiation.

Il s'agit le plus souvent d'accidents du travail concernant les travailleurs des industries nucléaires ou le personnel occupé dans des installations où l'on manipule des substances radioactives ou des appareillages pouvant être à la source d'irradiation ou de contamination accidentelle (hôpitaux, laboratoires, radiographie industrielle,...).

Il pourra s'agir également d'accidents nucléaires plus ou moins importants touchant des territoires plus ou moins étendus d'un ou de plusieurs pays, comme cela s'est produit à Tchernobyl.

Dans tous les cas, il faudra distinguer les irradiations externes, localisées ou étendues à toute la surface corporelle, par rayons X, bêta, gamma ou neutrons et les contaminations externes ou internes.

Les contaminations externes surviennent au niveau de la peau et des éventuelles blessures.

Les contaminations internes résultent de l'inhalation, de l'ingestion ou de l'injection de substances radioactives (voir figure 1).

La gravité d'un accident entraînant une irradiation externe dépend essentiellement de la dose reçue et de la région irradiée.

Le danger des contaminations externes et internes dépend également de la dose et de la région irradiée, lesquels résultent eux-mêmes de la nature et de la quantité des radionucléides en jeu (radiotoxicité, durée de la demi-vie, type d'émission, devenir métabolique).

II. EFFETS D'UNE IRRADIATION ACCIDENTELLE

Les effets produits par les rayonnements ionisants peuvent être classés selon différents critères : effets aigus ou effets tardifs, selon qu'ils surviennent dans les jours/semaines qui suivent l'exposition, ou après des mois ou des années, effets somatiques ou génétiques selon qu'ils frappent la personne irradiée elle-même ou sa descendance, effets aléatoires et non aléatoires.

A. Effets précoces après dose élevée

Il s'agit des effets qui surviennent en général dans les heures, les jours ou les semaines après l'irradiation, avec un décalage qui varie selon le type d'effet.

Tous les individus irradiés en sont affectés dès qu'un certain seuil de dose est dépassé : ce seuil est variable selon les individus et le type d'effet

La fréquence et l'intensité de ces effets croissent avec l'importance de la dose.

Nous distinguons successivement, dans un but de clarté, différents tableaux : d'abord la maladie aigüe des rayons, puis les brûlures par radiations et enfin le cas particulier des contaminations.

Dans la pratique, ces tableaux sont souvent associés.

1. Les syndromes aigus

Ces syndromes sont la conséquence d'une irradiation sévère du corps entier à des doses importantes.

Ils traduisent une atteinte massive des tissus les plus radiosensibles du corps.

Pour une dose de 50 gray (5.000 rad) et plus, le système nerveux central des patients est atteint.

Ils se plaignent de sensations de brûlure généralisée avec paresthésies. Après un état d'excitation transitoire qui peut culminer en convulsions, ils sombrent rapidement dans le coma et la mort suit dans les 48 ou 72 heures.

Ce syndrome peut déjà apparaître après une dose de 10 Gy (1.000 rad) au niveau du cerveau.

Il évoque une encéphalite fulgurante.

Pour des irradiations moins sévères, le tableau est provoqué essentiellement par l'atteinte du tissu hématopoiétique et de la muqueuse intestinale.

Un syndrome prodromal se manifeste dans les quelques heures qui suivent l'irradiation par une sensation de malaise généralisé, de l'anorexie, des nausées et des vomissements.

A noter que le "stress" à lui seul peut parfois simuler cette symptomatologie.

Cette première phase est suivie d'une rémission apparente qui peut durer quelques jours et qui est d'autant plus courte que la dose initiale est plus importante.

La phase suivante, qui ne survient que pour des doses supérieures à environ 6 Gy (600 rad), est liée à la destruction de la muqueuse intestinale, provoquant d'une part une perte de liquide et de sang, et d'autre part une résorption de bactéries et de toxines présentes dans l'intestin.

Ceci est désigné sous le nom de syndrome intestinal.

Ce syndrome est grevé d'une importante mortalité, avec une période critique qui va du 5ème au 14ème jour après l'exposition.

Les manifestations gastro-intestinales sont bientôt suivies d'un nouveau syndrome d'apparition plus tardive : le syndrome médullaire, qui se traduit par des infections et des hémorragies.

En effet, si l'irradiation est pratiquement sans effet sur les éléments figurés du sang (à l'exception des lymphocytes) et sur leurs précurseurs immédiats, elle atteint les cellules souches hématopoïétiques qui sont parmi les plus radiosensibles de l'organisme.

Les organes lymphoïdes sont également gravement lésés, diminuant les défenses immunitaires.

Le délai d'apparition du syndrome médullaire s'explique par la durée de vie des leucocytes et des plaquettes ainsi que de leurs précurseurs immédiats en voie de maturation dans la moëlle.

L'atteinte du système hématopoïétique est d'autant plus sévère que la dose reçue est élevée.

La mort survient par infection ou hémorragie avec une période critique qui va de la 4ème à la 6ème semaine après l'exposition (voir figure 3).

En l'absence de traitement et sans autre lésion, la dose qui entraîne le décès de 50 % des sujets irradiés (DL50) se situe autour de 3,5 Gy (350 rad).

Bien que des troubles sanguins nets apparaissent déjà pour une dose de 1 Gy (100 rad), les décès sont rares en-dessous de 2 Gy (200 rad) : il s'agit dans ce cas de sujets plus sensibles que la moyenne (âge, maladie intercurrente, brûlures graves, prédisposition héréditaire,...).

La limite supérieure de tolérance chez l'homme est de l'ordre de 7 Gy en l'absence d'intervention médicale.

Grâce à une greffe de moëlle osseuse et un traitement intensif, certaines personnes pourraient survivre à une irradiation totale de 12 Gy.

2. Radiodermites ("Brûlures cutanées") produites par l'irradiation.

Lors d'un accident nucléaire, tel que celui qui s'est produit à Tchernobyl, il peut y avoir libération d'une quantité importante de radio-nucléides émetteurs bêta.

Les particules bêta (ou électrons) sont caractérisées par un faible pouvoir de pénétration dans les tissus (quelques millimètres) ; ils irradient donc sélectivement la peau et les tissus sous-cutanés (voir figure 4). Le risque de radiodermite est dès lors très important, comme l'a montré la gravité des brûlures observées chez les membres des services d'intervention à Tchernobyl.

Des radiodermites peuvent également être produites par des rayons X (quelques dizaines de kV) ou des faisceaux d'électrons (accélérateurs linéaires) qui sont peu pénétrants comme les rayons bêta et qui, comme eux, irradient donc la peau de manière sélective.

Par contre, les rayons gamma plus pénétrants atteignent les organes profonds et l'irradiation cutanée à dès lors moins d'importance clinique.

Après une irradiation de la peau à une dose supérieure à quelques Gy, on peut observer après 2-3 heures un érythème avec sensation de chaleur dans la zone irradiée : cet érythème est transitoire (quelques heures) ; il peut passer inaperçu.

Après une période de latence d'une dizaine de jours, apparaît un érythème permanent qui a l'apparence d'une brûlure thermique.

La radiodermite ne dépasse pas le stade de l'érythème si la dose n'a pas dépassé quelques Gy.

Au-delà, pour des doses de 10-15 Gy, on observe l'ulcération de la région irradiée après 2-3 semaines. Ce délai s'explique par le fait que seules les cellules basales sont détruites par l'irradiation et ne peuvent donc plus renouveler l'épiderme ; le temps de transit des kératinocytes est de 2 à 3 semaines.

L'irradiation peut également léser les follicules pileux et les glandes sudoripares.

Une épilation temporaire s'observe au-delà de 3 à 4 Gy ; elle apparaît après 2-3 semaines. Au delà de 7 Gy, l'épilation est définitive.

L'irradiation des tissus conjonctifs sous-cutanés (endothélium capillaire, fibroblastes) peut entraîner de la sclérose sous-cutanée après quelques mois et à l'extrême une radionécrose tardive (mois, années).

L'observation des équipes d'intervention de Tchernobyl a montré que les radiodermites produites par le rayonnement bêta peuvent présenter une gravité particulière chez des personnes dont les défenses (leucocytes, immunologie) ont été diminuées par une irradiation gamma associée.

Les radiodermites qui apparaissent et évoluent selon une chronologie caractéristique doivent être distingués des brûlures thermiques qui se manifestent immédiatement.

3. Cas particuliers : contaminations

Outre l'irradiation totale ou localisée, il peut y avoir contamination externe ou interne par des substances radioactives (voir fig. 1).

La peau peut être contaminée superficiellement par des poussières, des liquides ou des gaz radioactifs.

Si la peau est lésée, il peut y avoir contamination interne par pénétration en profondeur plus ou moins importante et résorption.

L'effet sur la peau d'un contaminant radioactif dépendra du type d'émission du radionucléide en cause.

Les particules alpha n'ont pas de pouvoir de pénétration dans les couches profondes de la peau.

Il faudra éviter en conséquence leur transfert aux organes profonds ainsi que leur pénétration accidentelle en profondeur.

Les particules bêta ont un pouvoir de pénétration jusqu'aux couches profondes de la peau et sont susceptibles de causer des dégâts en rapport avec leur énergie.

Une contamination importante de la peau entraîne évidemment une irradiation de la zone cutanée contaminée et les lésions décrites au paragraphe précédent.

Les contaminations internes résultent de l'inhalation ou de l'ingestion de substances radioactives ou encore de leur pénétration dans l'organisme à travers la peau lésée ou non (tritium, composés iodés).

Il n'est pas courant de rencontrer une contamination interne suffisamment importante pour entraîner une "maladie aiguë des rayons".

Une contamination interne importante des poumons peut conduire à une pneumonie radioinduite suivie de fibrose pulmonaire ; le risque de cancer pulmonaire radioinduit est dans ce cas significativement augmenté.

Vu l'accumulation sélective de l'iode, la thyroïde est un organe particulièrement menacé en cas d'accident.

Des effets tels que l'hypothyroïdie ne se montrent cependant que pour des doses à la thyroïde supérieures à 10 Gy (1.000 rad) ; 300 Gy (30.000 rad) sont nécessaires pour entraîner la destruction de la glande.

Dans le cas d'une contamination interne, il faut considérer l'activité et l'organe d'accumulation du radionucléide, sa demi-vie physique et biologique, son type d'émission et l'énergie des rayonnements émis ainsi que son métabolisme dans l'organisme.

Il faut donc rechercher sa voie d'entrée (peau, muqueuse, système digestif, respiratoire, plaies), ses possibilités de mobilisation par le sang et la lymphe, l'organe où il est susceptible de se déposer et de s'accumuler et enfin, les phénomènes d'épuration et de clearance qui le concernent.

4. Tableaux cliniques combinés

D'après les informations obtenues des experts soviétiques, il semble que l'on ait pu identifier chez les victimes de Tchernobyl deux vagues de décès : six morts au cours de la deuxième semaine, puis une deuxième vague après environ un mois. Ceci correspondrait respectivement aux syndromes intestinal et médullaire décrits plus haut. Toutefois, un certain nombre de décès serait également attribué à des brûlures graves et étendues.

Il serait trop schématique, en réalité, de considérer isolément chaque syndrome.

Ainsi, la gravité d'un syndrome intestinal est accrue par un début de syndrome médullaire.

D'autre part, comme nous l'avons vu, les brûlures cutanées dues aux émetteurs bêta guérissent assez facilement mais, dans le cas des accidentés de Tchernobyl, plusieurs ont succombé à des brûlures thermiques et à des radiodermites, dont le pronostic était aggravé par la leucopénie et la dépression immunitaire dues à l'irradiation gamma associée.

B. Effets à long terme

Les principaux effets à long terme résultant d'une irradiation sont, d'une part, une augmentation de la fréquence "spontanée" des cancers et, d'autre part, une augmentation de la fréquence des affections héréditaires (risque génétique)*.

B.1. Cancérogenèse

Il faut distinguer, d'une part, les observations après irradiation à dose élevée et, d'autre part, les hypothèses impliquées dans leur extrapolation aux faibles doses.

B.1.1. Domaine des doses élevées.

On sait qu'à dose élevée (quelques dixièmes de sievert ou quelques dizaines de rems), une irradiation augmente le taux "spontané" de cancers.

Des cancers radio-induits ont été observés pratiquement au niveau de tous les organes, mais avec une fréquence et pour des gammes de doses différentes. De même les temps de latence peuvent être très différents.

Alors que les leucémies radio-induites apparaissent 3 à 15 ans après l'exposition, certains cancers radio-induits peuvent encore apparaître après 30 - 40 ans (p. ex. rectum, pancréas).

* Le risque de cancérogenèse et le risque génétique sont des effets "aléatoires" (voir tableau III).

Ils sont à distinguer des effets "non aléatoires" étudiés plus haut (p. ex. syndrome médullaire, syndrome intestinal, brûlures cutanées,...).

Dans le domaine des doses élevées, le débat ne porte donc pas sur l'existence de l'effet cancérigène des radiations ionisantes qui est établi, mais sur l'évaluation quantitative des coefficients de risques, c'est-à-dire du taux de cancers radio-induits par unité de dose (par sievert ou centaine de rems).

Des évaluations ont été réalisées par différents organismes internationaux ou nationaux : l'International Commission on Radiological Protection (ICRP), l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), l'Agence Internationale de l'Energie Atomique (AIEA), l'United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR) etc... Ces organismes s'accordent pour dire que, par millier de personnes irradiées à la dose de 1 sievert (100 rems), à la totalité du corps, il faudrait craindre :

- deux leucémies radio-induites,
- une dizaine d'autres cancers ("tumeurs solides") radio-induits,
- soit au total une douzaine de cancers radio-induits.

Ces coefficients de risque constituent des ordres de grandeur et des variations atteignant un facteur 2 pourraient être observées selon les conditions (modalités de l'irradiation, population irradiée,...).

Par ailleurs, ces évaluations se rapportent à la létalité par cancer : au total, il y aurait environ deux fois plus de cancers radio-induits. Au niveau de la thyroïde, le nombre de cancers radio-induits serait dix fois plus important : les cancers thyroïdiens radio-induits sont en effet curables (chirurgie) dans 90 % des cas.

Ces chiffres doivent être comparés avec l'incidence naturelle des cancers : on atteint, par millier de personnes, 200 à 250 cancers "spontanés".

B.1.2. Domaine des faibles doses.

L'effet cancérigène des petites doses de rayonnements ionisants (quelques centièmes de sievert ou quelques rems) n'a jamais été démontré de manière absolue. Certaines études épidémiologiques ont suggéré un effet cancérigène pour certains types de cancers (sein, thyroïde, leucémie après irradiation in utero...), mais leurs résultats ne permettent pas de tirer des conclusions définitives. La raison en est que les taux de cancers radio-induits que l'on cherche à mettre en évidence, sont très petits devant les taux de cancers "spontanés". Dans ces conditions, on est réduit à extrapoler au domaine des faibles doses, les données observées aux doses élevées.

L'extrapolation peut se faire de plusieurs manières. L'extrapolation linéaire sans seuil est l'hypothèse la plus simple mais elle conduit aux conclusions les plus pessimistes. Elle admet que le risque est proportionnel à la dose. Ainsi, le risque de cancérogénèse, pour une dose de 0,01 Sv (1 rem), est supposé 100 fois plus petit que pour une dose de 1 Sv (100 rem) ; ou encore, le nombre de cancers radio-induits dans un groupe d'un million de personnes irradiées à la dose de 0,01 Sv (1 rem), serait égal à celui attendu dans un groupe de 10 millions de personnes irradiées à la dose de 1 mSv (0,1 rem). Cette hypothèse donne donc la limite supérieure du risque.

D'autres hypothèses admettent l'existence d'un seuil en dessous duquel le risque est quasi nul. La relation "linéaire - quadratique" qui admet que le risque est faible aux faibles doses sans être absolument nul, mais croît ensuite avec la dose, est celle qui est le plus fréquemment retenue. La relation dose-effet pourrait suivre des courbes différentes selon le type de rayonnement et le type de cancer.

B.2. Risque génétique *

Tout comme le risque d'induction de cancer, le risque génétique doit être comparé à l'incidence "spontanée" des anomalies congénitales. L'UNSCEAR estime leur fréquence à 6 % (8) (les différents chiffres cités dans la littérature reflètent, en partie, les types et gravités des anomalies qui sont prises en compte : malformations visibles, affections héréditaires,...).

Le risque génétique est habituellement estimé égal à un tiers du risque de cancérogénèse (une anomalie congénitale pour trois cancers radio-induits). Une autre manière d'estimer le risque est l'indication de la dose doublante, qui est celle qui double la prévalence "spontanée". La dose doublante est estimée à 1 Gy (irradiation continue des parents).

Il est rassurant de constater qu'on n'a pas observé d'augmentation d'anomalies congénitales dans la descendance des populations japonaises irradiées à Hiroshima et Nagasaki (les deux premières générations ont déjà pu être observées).

C. Irradiation in utero.

Le risque d'une irradiation in utero dépend, dans une large mesure, du moment de l'exposition.

Durant la période de pré-implantation (0-2 semaines après la conception), l'effet principal d'une irradiation est la mort de l'embryon, dès que la dose dépasse quelques dixièmes de Sv (quelques dizaines de rems).

Aucune malformation congénitale n'a été observée en dessous de 0,2 Sv (20 rems) et on peut admettre que le risque est quasi nul en dessous de 0,1 Sv (10 rems).

* Le risque génétique est défini comme le risque d'augmentation d'anomalies congénitales résultant de l'irradiation des parents. Il doit être distingué du risque de l'irradiation de l'embryon in utero qui peut également provoquer des malformations congénitales (voir plus loin).

Par contre, parmi les irradiés d'Hiroshima et Nagasaki, des retards mentaux graves ont été observés pour des embryons irradiés entre la 8ème et la 15ème semaines après la conception. Le risque correspondant peut être évalué à 40 % par sievert (100 rems) avec une relation incidence/dose apparemment linéaire sans seuil. Cette période correspond à un moment où la prolifération et la migration des neurones dans le cortex est la plus active.

L'incidence du retard mental est 4 fois moindre entre les 16-25èmes semaines, à un moment où les tissus de soutien se développent dans le cerveau et où les connexions entre les neurones s'établissent. Il est possible qu'à côté de ces retards mentaux graves (incapacité d'apprendre à lire ou à écrire), d'autres altérations cérébrales fonctionnelles, moins nettes, soient à craindre.

Le risque de cancérogénèse (*) après irradiation in utero (cancers apparaissant durant le jeune âge) est du même ordre que celui de l'irradiation du jeune enfant ; on peut l'évaluer approximativement au double du risque chez l'adulte.

Une estimation du risque global de l'irradiation in utero (malformations congénitales, retard mental, induction de cancers et leucémie) a été proposée récemment par l'UNSCEAR. Le risque global serait inférieur à 0,2 % pour une dose de 0,01 Sv (1 rem) chez un enfant né-vivant. Ce chiffre est à comparer au taux "spontané" de malformations congénitales qui est de 6 % (voir plus haut).

III. EVALUATION DE LA DOSE RECUE - DOSIMETRIE BIOLOGIQUE.

L'évaluation de la dose reçue est le maillon essentiel dans l'appréciation de la gravité d'un accident sur le plan de la santé.

Elle conditionne la mise en oeuvre des mesures de protection et des traitements médicaux.

(*) La cancérogénèse est un effet aléatoire. Comme autre effet aléatoire, des mutations somatiques ont également été décrites chez l'embryon (p.ex. mosaïques pigmentaires).

A côté des mesures dosimétriques réalisées sur le lieu de l'accident, mesures qui peuvent être imprécises et sont en tout cas toujours délicates et souvent tardives, ce sont la symptomatologie clinique d'une part, et les examens de laboratoire d'autre part, qui permettront d'évaluer la dose reçue.

A. Symptômes cliniques.

Le délai d'apparition, l'intensité et la durée des symptômes (nausées, vomissements, érythème cutané, signes neurologiques,...) permettent une approximation de la gravité de l'irradiation.

Des indications pratiques sont fournies dans la première partie de ce document.

B. Biologie clinique.

Le système hématopoïétique étant le plus sensible à l'irradiation on peut observer par ailleurs très rapidement des modifications du sang périphérique.

B.1. Chute des lymphocytes.

Dans les quelques heures après l'accident, le nombre des lymphocytes diminue et le niveau de déplétion lymphocytaire est proportionnel à la dose.

Une valeur à moins de 1.000 lymphocytes par mm^3 atteinte en 24 heures est un signe de gravité (voir première partie du document).

Il faudra donc suivre le nombre des lymphocytes par des examens répétés toutes les 3 heures au début.

Compte tenu des variations existant d'une personne à l'autre, il est important de pratiquer le premier examen le plus vite possible après l'irradiation (établissement de la valeur de référence).

B.2. Aberrations chromosomiques.

Les radiations ionisantes provoquent par ailleurs également des aberrations chromosomiques.

On recherche principalement les chromosomes dicentriques (deux centromètres) dans des lymphocytes fixés sur lame après culture à 37° pendant 48 heures et blocage en division.

La limite inférieure de détection de ce test est de 0,1 à 0,2 Gy (10 à 20 rad) mais l'évaluation ne devient précise que pour des doses supérieures à 0,5 Gy (50 rad). Son interprétation est par ailleurs plus difficile en cas d'irradiation partielle ou inhomogène.

Ce test nécessite des laboratoires équipés et entraînés.

La recherche des aberrations chromosomiques se fait à partir de 5 à 10 ml de sang stérile hépariné.

IV. PRINCIPES DU TRAITEMENT.

A. Irradiation externe :

A1. Dose inférieure à 2 Gy.

Pour des irradiations externes inférieures à 2 Gy (200 rad), il suffit de surveiller le sujet par des numérations et formules sanguines et de traiter les éventuelles (rares) complications. Cette surveillance est ambulatoire pour une dose inférieure à 1 Gy (100 rad) ; au-delà, elle se fera en milieu spécialisé.

Dose entre 2 et 5 Gy :

Entre 2 et 5 Gy (200 - 500 rad), après une période cliniquement silencieuse (à part le syndrome prodromal, cfr p.10), une aplasie médullaire avec granulopénie et thrombopénie survient entre le 15ème et le 30ème jour après l'irradiation. Il faut donc protéger contre le risque d'infection, hospitaliser le malade en chambre stérile et effectuer, au besoin, des transfusions de dérivés sanguins.

Il est utile d'étudier la flore bactérienne buccale et intestinale et, s'il existe des germes pathogènes, de profiter de la période précédant l'aplasie pour éliminer ceux-ci par une antibiothérapie spécifique.

La décision de pratiquer - ou non - la greffe de moelle osseuse est souvent compliquée par le fait que la dose de rayonnement est généralement mal connue. Pour des doses supérieures à 5 Gy, la greffe est recommandée. Pour des doses plus faibles (3,5 - 5 Gy), son indication est plus discutable, car d'une part, l'immunodépression peut n'être pas assez marquée pour permettre la prise de la greffe et d'autre part, la moelle de la personne irradiée peut proliférer. On se basera sur la réponse individuelle à l'irradiation (chute des lymphocytes, reprise éventuelle de l'activité médullaire) durant le temps (souvent plusieurs semaines) qui est généralement nécessaire pour préparer la greffe. Dans cette optique, il faut faire un typage HLA d'urgence avant la lymphopénie et chercher, dans la famille, le sujet dont le groupe HLA se rapproche le plus de celui du malade.

Les transplantations médullaires ne peuvent avoir lieu que dans des établissements de soins spécialisés en cette matière.

Dose de 6 Gy et plus :

Pour des doses supérieures à 6 Gy (600 rad), rappelons l'existence concomittante d'un syndrome intestinal sévère, ce qui impliquera la correction de la déshydratation et des désordres électrolytiques, une alimentation parentérale et une couverture par antibiotiques et antimycosiques. La greffe de moëlle est la seule chance de sauver le malade. S'il existe des brûlures ou des plaies, l'agranulocytose arrête la cicatrisation et favorise l'infection. Dans ce cas, les actes chirurgicaux doivent être effectués précocement et les indications de la greffe de moelle peuvent être étendues.

Aux très fortes doses (plus de 20 Gy c.à.d. 2000 rad), l'atteinte du système nerveux central est manifeste ; la mort suivra très probablement dans les 72 heures, en dépit de tous les traitements.

B. Contaminations.

Le traitement des contaminations externes et internes suppose en premier lieu que les dites contaminations soient reconnues et que le radionucléide responsable soit identifié.

Le type d'accident et l'installation nucléaire en cause peuvent orienter le diagnostic.

Les examens physiques le confirmeront : anthropogammamétrie en cas de contamination interne, la spectrométrie gamma et toute autre technique de mesure pour les contaminations externes.

B1. Contamination externe.

L'identification et la mesure de la contamination externe nécessitant des installations et du personnel spécialisé, ce dernier prendra en charge la décontamination. Néanmoins, les informations suivantes peuvent être utiles.

Procéder à une décontamination suppose l'application d'une procédure précise et de strictes précautions visant à empêcher la dissémination du contaminant.

Suivant l'importance de la zone à traiter, il faut porter gants, masque ou survêtement spécial complet.

On prévoiera des locaux où se trouvera tout le matériel nécessaire : eau, savon, agents complexants, détergent non irritant, brosses, linges, écouvillons, etc...

Les vêtements contaminés sont recueillis dans des sacs en matière plastique pouvant être scellés.

Il faudra ensuite procéder à un examen général et localiser les zones contaminées.

Les mains et la face sont le plus souvent atteintes.

On décontamine en premier lieu les cavités (nez) et orifices, ensuite les différentes surfaces cutanées. Il faut éviter de blesser la peau si elle est intacte.

Les parties lésées doivent être soigneusement répertoriées et protégées par des bandes plastiques adhésives à l'épreuve de l'eau car ce sont des portes d'entrée pour la contamination interne.

Pour décontaminer la peau, il faut faire disparaître la couche sébacée par le savon et les détergents. Parfois, il sera nécessaire d'aller jusqu'à la couche cornée superficielle qu'il faudra attaquer par des produits plus efficaces.

En cas de contamination persistante après plusieurs lavages, on pourra avoir recours à une solution saturée (exempté de cristaux non dissous) de permanganate de potasse ou à tout autre agent de blanchissement à usage domestique. Le temps de contact doit être bref. Il faut rincer la peau soigneusement.

On peut enlever la coloration due au permanganate de potasse par une solution de métabisulfite de sodium à 10 %.

Les rougeurs et sensibilités de la peau résultant de ces traitements sont traitées par l'application de crèmes adoucissantes à base de lanoline.

Les manipulations décrites ci-dessus sont parmi les méthodes les plus simples, les plus courantes et aussi les plus efficaces. Elles suffisent dans la plupart des cas pour enlever de la peau la plus grande partie des contaminants radioactifs.

Les plaies et brûlures contaminées seront décontaminées par irrigation d'eau physiologique stérile.

Le processus de décontamination fait partie du traitement chirurgical de la lésion.

Il faudra en tenir compte en ce qui concerne la décontamination du matériel de nursing.

B2. Contamination interne.

Le traitement des contaminations internes sera conduit en fonction du radioisotope en cause et de l'organe cible.

Il y a évidemment avantage à agir préventivement.

Ainsi, la prise préventive d'iode stable sature la thyroïde, organe cible de l'iode radioactif, et bloque la captation d'iode ¹³¹.

De même, l'administration d'un excès de liquide accélère l'élimination du tritium par l'organisme.

Malheureusement, dans la plupart des cas, il n'est pas possible, comme on le souhaiterait, de bloquer l'organe cible ni même d'empêcher la dissémination à partir de la porte d'entrée, par le sang et la circulation.

Le système gastro-intestinal peut être contaminé par l'ingestion ou même l'inhalation de contaminants radioactifs.

Les traitements devront être adaptés selon les circonstances.

L'estomac sera éventuellement vidé par lavage ou par vomissements provoqués.

Si le radioélément en question est soluble, c'est-à-dire absorbable au niveau du tractus digestif (Sr 90, Ca 47 et Cs 137,...), on pourra, s'il en est encore temps, tenter de l'insolubiliser.

L'on pourra également utiliser la méthode dite de dilution isotopique qui consiste à faire absorber de grandes quantités de l'ion non radioactif destinées à entrer en compétition avec la forme radioactive.

Si le contaminant est insoluble, il irradie la paroi intestinale jusqu'à ce qu'il soit excrété.

Il faudra dans ce cas accélérer le transit intestinal.

Les agents chélateurs et autres thérapeutiques spécifiques telles que résines échangeuses d'ions, produits insolubilisants, gels et antiacides ne peuvent être utilisés que par des spécialistes pour éviter certains risques inhérents à leur action.

Le système respiratoire constitue la porte d'entrée la plus probable en cas d'accident entraînant une contamination radioactive de l'environnement.

Pour déterminer l'organe critique, il faut considérer la nature du contaminant en cause, sa solubilité et le diamètre des particules.

Il y a possibilité de passage dans le sang pour les particules solubles de moins de 5 microns.

Si ces mêmes particules sont insolubles, elles se déposent dans le parenchyme pulmonaire.

Les particules de grandes dimensions se déposent dans les grosses bronches d'où les cils vibratiles du mécanisme d'épuration naturel peuvent les expulser vers le pharynx et le tractus gastro-intestinal.

Si le matériel radioactif inhalé est soluble et susceptible de passer plus ou moins rapidement dans le sang, on peut tenter d'empêcher sa dissémination à ce niveau par l'une ou l'autre thérapeutique spécifique.

Pour le matériel insoluble déposé dans le parenchyme pulmonaire et les bronchioles, les résultats des traitements par expectorants et lavages in loco sont aléatoires.

Les thérapeutiques spécifiques sont réservées aux spécialistes.

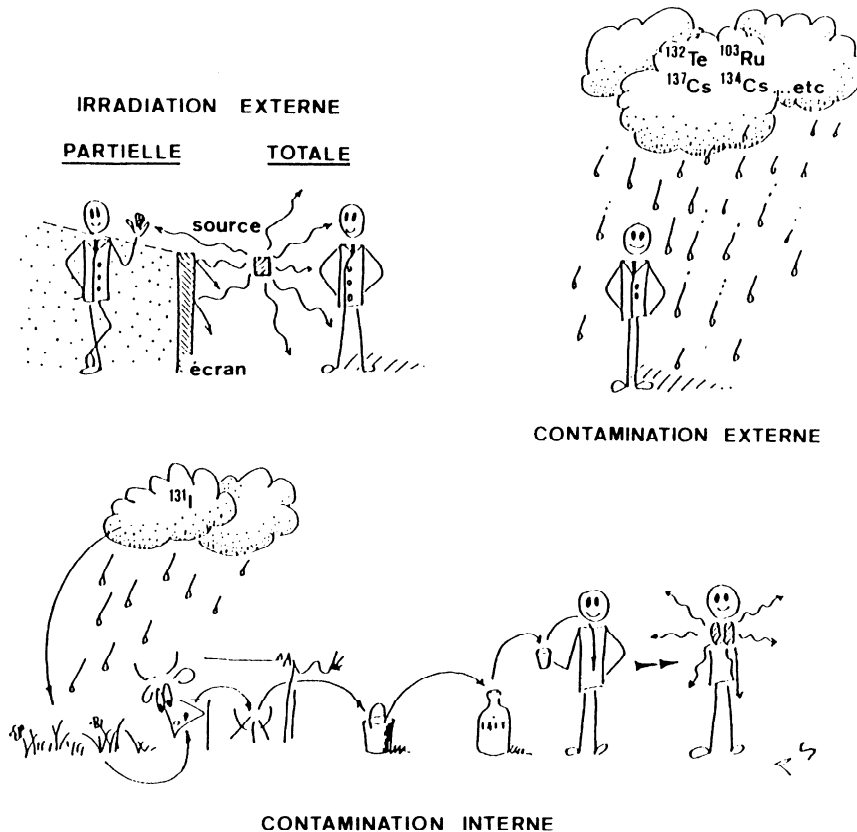


Figure 1

Irradiation externe : la source de rayonnement est extérieure par rapport à l'organisme. Il s'agit habituellement d'un tube à rayons X, d'une source de cobalt-60, ou d'un autre radioélément. Le faisceau de rayonnement incident, émis par la source, peut provoquer une irradiation partielle ou totale selon qu'une partie du corps est - ou n'est pas - protégée par un écran (en haut à gauche sur la figure, seules la tête et la main sont irradiées, le reste du corps étant protégé par l'écran).

La contamination radioactive est définie comme la présence accidentelle de radioéléments au niveau de la peau (contamination externe) ou à l'intérieur de l'organisme (contamination interne). Celle-ci peut résulter de l'inhalation ou de l'ingestion d'un radioélément ou, plus rarement, de son incorporation par une plaie ouverte. Dans l'exemple présenté sur la partie inférieure de la figure, l'iode-131, présent dans les retombées, se retrouve dans l'herbe, puis finalement dans le lait. Une fois ingéré, il est capté par la thyroïde (l'iode radioactif suit la même voie métabolique que l'iode stable). La désintégration des atomes d'iode radioactifs, au niveau de la thyroïde, y provoque un dépôt d'énergie (irradiation interne) d'autant plus important que l'activité accumulée dans la glande est plus élevée. [25]

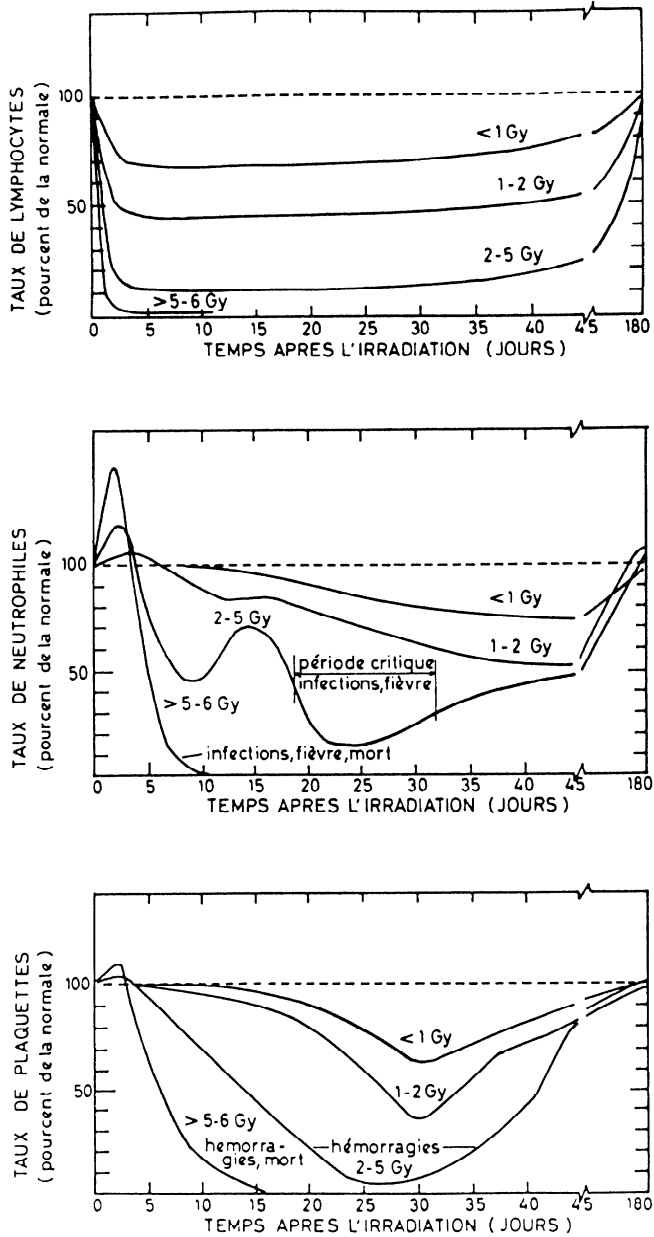


Figure 2

Evolution moyenne dans le temps des taux de cellules sanguines pour différentes doses de rayonnements (d'après International Atomic Energy Agency, [11]).

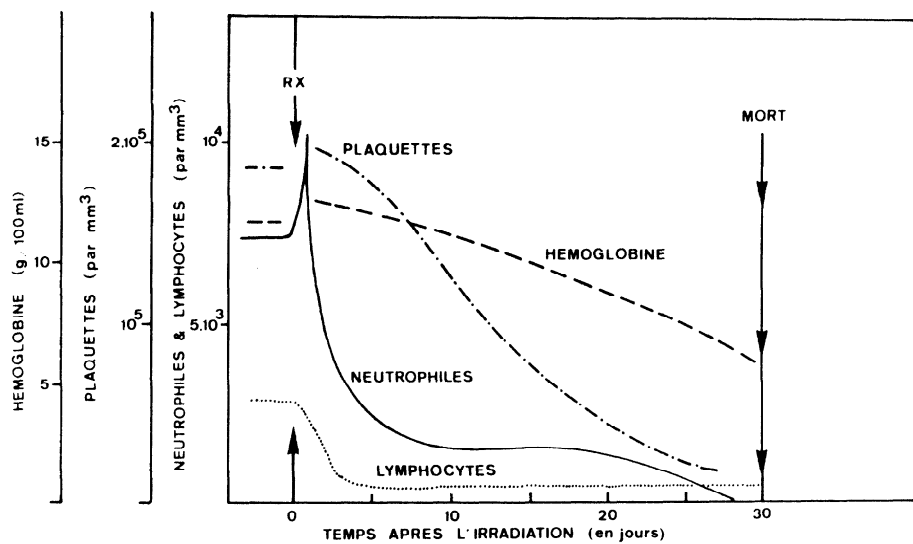


Figure 3.

Variation, en fonction du temps, du taux de plaquettes sanguines, neutrophiles, lymphocytes et d'hémoglobine, après une irradiation du corps entier à dose létale. La chute rapide (heures) du taux de lymphocytes peut être utilisée comme "dosimètre biologique" [25]

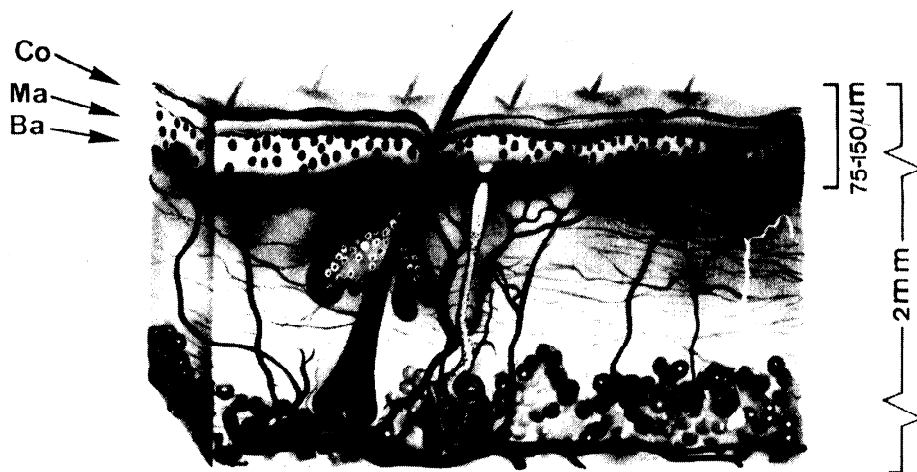


Figure 4 a.

Coupe schématique de la peau. L'épiderme est indiqué avec la couche cornée (Co), la couche de Malpighi (Ma) et la couche de cellules basales (Ba). Son épaisseur est comprise entre 75 et 150 μm (sauf à la paume des mains et à la plante des pieds, où elle peut atteindre 400 à 600 μm). L'épaisseur de la peau (épiderme et derme) ne dépasse pas, en général, 2 mm, jusqu'aux lobules graisseux les plus superficiels de l'hypoderme). Les cellules basales (Ba) qui sont les cellules souches, radiosensibles, dont la prolifération assure le renouvellement de l'épiderme, se trouvent donc à une profondeur de 0,075 à 0,15 mm. (document du Service du Prof. Lachapelle, UCL, réalisation de Michèle Lemaire).

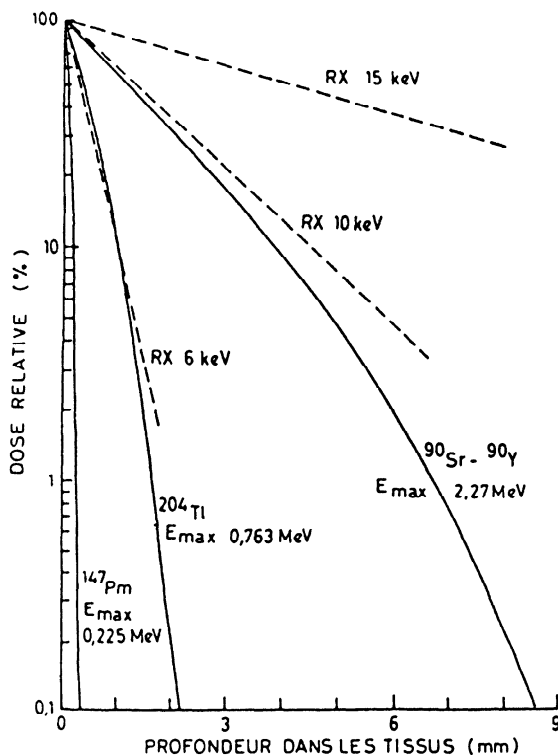


Figure 4 b.

Pénétration des rayonnements bêta dans les tissus. La dose relative, en profondeur, est donnée pour 3 radionucléides :

- le mélange strontium-90/yttrium-90, énergie maximale 2,27 MeV;
- le thallium-204, énergie maximale 0,763 MeV;
- le promethium-147, énergie maximale 0,225 MeV.

La décroissance de la dose en profondeur est rapide; elle est d'autant plus rapide que l'énergie est faible. De toute manière, les particules bêta ne pénètrent pas au-delà de quelques millimètres en profondeur dans les tissus.

Les courbes de pénétration pour des rayons X de 6, 10 et 15 keV sont indiquées pour comparaison.

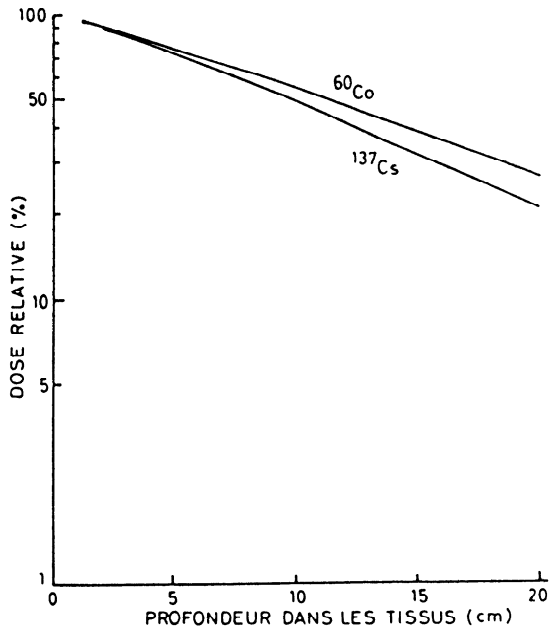


Figure 4 c.

Le pouvoir de pénétration beaucoup plus important des rayons gamma du cobalt-60 et du césium-137 contraste avec ceux des rayons bêta et des rayons X de faible énergie. Les courbes de la figure correspondent à des faisceaux de 20 x 20 cm de section et une DSP=50 cm. La dose dans les tissus est réduite de moitié à environ 11 en profondeur pour le cobalt-60 (1,25 MeV) et à environ 20 cm en profondeur pour le césium-137 (0,66 MeV).

[25]

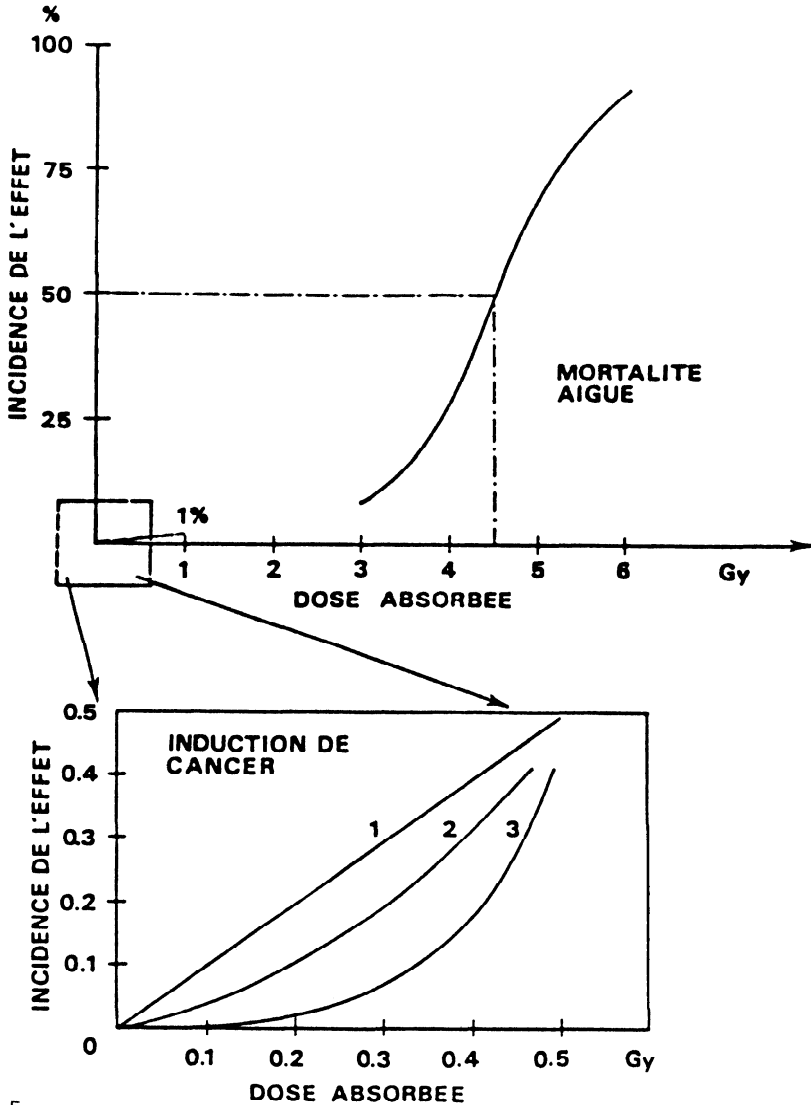


Figure 5.

La partie supérieure de la figure 5 présente un exemple de relation effet-dose pour un effet non-aléatoire. Il s'agit de la létalité aiguë par syndrome médullaire après irradiation totale à dose massive. La dose létale à 50 % est de 3,7 Gy (voir texte). La relation effet-dose est une sigmoïde et présente un seuil.

La partie inférieure de la figure correspond aux petites doses pour lesquelles on craint essentiellement des effets aléatoires comme l'induction de cancers (exemple de la figure) ou des effets génétiques. Pour les effets aléatoires, les coefficients de risque (incidence des effets) sont assez bien connus aux "doses élevées" (par exemple, 1 sievert, voir texte). Par contre, leur extrapolation au domaine des "faibles doses" (quelques centi-sievert ou moins) nécessite le recours à des hypothèses sur la forme de la relation effet-dose. Les courbes 1, 2 et 3 correspondent à différentes hypothèses respectivement : l'extrapolation linéaire sans seuil, la relation avec seuil et la relation linéaire-quadratique. [25]

TABLEAU I.

Nausées et vomissements après une exposition aiguë aux rayonnements ionisants.

Sources : d'après International Commission on Radiological Protection (2,4).

<u>dose</u>	<u>fréquence des nausées et vomissements</u>	<u>temps de latence</u>
moins de 0,5 Gy (50 rad)	0 % cas	-
1 Gy (100 rad)	5 % cas	3 heures
2 Gy (200 rad)	50 % cas	3 heures
3-6 Gy (300-600 rad)	100 % cas	2 heures
6-10 Gy (600-1000 rad)	100 % cas	1 heure
plus de 10 Gy (1000 rad)	100 % cas	30 minutes

TABLEAU II.**Evolution du taux de lymphocytes après exposition aiguë
aux rayonnements ionisants.**

Calculé d'après : International Atomic Energy Agency (12)

- moins de 1 Gy (100 rad) : diminution légère du taux de lymphocytes qui **ne diminue pas de plus de 50 %** par rapport à la valeur initiale et qui reste donc généralement supérieur à 1500/mm³.

- 1-2 Gy (100-200 rad) : diminution de plus de 50 % du taux de lymphocytes qui tombe donc généralement aux alentours de 1000/mm³, et ce en 24 à 48 heures.

- plus de 2 Gy (200 rad) : diminution nette du taux de lymphocytes (bien en dessous de 50 %) qui passent généralement à moins de 1000/mm³, et ce, dans les 24 heures.

TABLEAU IIIEffets aléatoires et non aléatoires

Les effets aléatoires présentent les caractéristiques suivantes (voir figure 5).

- ils sont à prendre en considération, non seulement pour des doses élevées, mais également pour les faibles doses;
- leur probabilité augmente avec la dose mais pas leur gravité. La gravité d'un cancer radio-induit n'est pas différente de celle d'un cancer "spontané"; elle n'est pas nécessairement plus grande quand la dose a été plus élevée;
- l'effet (cancer, mutation) apparaît chez certains sujets irradiés mais pas chez d'autres (alors que le même effet peut apparaître "spontanément" chez des sujets non irradiés);
- la relation dose-effet est mal connue aux faibles doses (en particulier, on ne peut conclure à l'existence d'un seuil);

Les effets non-aléatoires présentent les caractéristiques suivantes :

- l'existence d'un seuil. Aucun effet somatique précoce n'apparaît pour des doses inférieures à 0,5 Gy (50 rads);
- la gravité de l'effet biologique augmente avec la dose (voir figure 2). Ainsi, par exemple, alors que la DL 50 est de 3,5 Gy à 4 Gy (350-400 rads) par atteinte médullaire (syndrome hématologique), une dépression médullaire modérée est déjà observée à 1 Gy (100 rads);
- L'effet apparaît chez toutes les personnes irradiées (cependant, de petites différences d'intensité peuvent être observées en raison des différences de radiosensibilité individuelle).

LES PRINCIPALES GRANDEURS ET UNITES UTILISEES EN RADIOPROTECTION

GRANDEURS	UNITES	
	système international	ancien système
ACTIVITE ^(a) D	Bq (becquerel) 1 désintégration par seconde	Ci (curie) $3,7 \times 10^{10} \text{ Bq} = 1 \text{ Ci}$
DOSE ABSORBÉE ^(b) D	Gy (gray) 1 joule par kilogramme	rad $1 \text{ Gy} = 100 \text{ rad}$
EQUIVALENT DE DOSE ^(c) H = D x Q	Sv (sievert) 1 joule par kilogramme pour Q = 1	rem $1 \text{ Sv} = 100 \text{ rem}$

Légende de l'annexe I

- (a) L'activité A d'une quantité de radionucléide est définie comme le nombre de désintégrations dN survenant dans cette quantité dans l'intervalle de temps dt :

$$A = \frac{dN}{dt}$$

- (b) La dose absorbée D est définie par le quotient de l'énergie moyenne \bar{dE} cédée par le rayonnement ionisant à la matière dans un élément de volume dV, par la masse dm contenue dans cet élément :

$$D = \frac{\bar{dE}}{dm}$$

- (c) L'équivalent de dose H est le produit de la dose absorbée D par le facteur de qualité Q qui dépend de la nature du rayonnement. On admet Q = 1 pour les rayons X et gamma, Q = 10 pour les neutrons, et Q = 20 pour les alpha et noyaux lourds de recul. Le facteur de qualité (et donc l'équivalent de dose) n'est défini que pour les faibles doses et ne peut donc être utilisé en cas d'irradiation accidentelle à dose élevée.

$$H = D \times Q$$

ANNEE II = RELATION ENTRE LES GRANDEURS UTILISEES EN RADIOPROTECTION

<p>ACTIVITE</p> <p>nombre de désintégrations par seconde</p>	<p align="center">Activité dans l'environnement (dans l'air et dans le sol)</p> <p align="center">↓</p>	<p align="center">Activité dans la chaîne alimentaire</p> <p align="center">↓ ← Voies métaboliques</p> <p align="center">Activité dans les organes</p>
<p>DOSE ABSORBEE D</p> <p>énergie déposée par unité de masse</p>	<p align="center">Irradiation externe</p> <p align="center">↓</p> <p align="center">Dose absorbée "externe" + dose absorbée "interne"</p> <p align="center">= dose absorbée totale</p>	<p align="center">Irradiation interne</p> <p align="center">↓</p>
<p>EQUIVALENT DE DOSE H</p> <p>dose absorbée pondérée biologiquement (évaluation du risque).</p>	<p align="center">↓ ← pondération biologique facteur Q</p> <p align="center">Equivalent de dose ($H = D \times Q$)</p>	

(d'après [15] [23])

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.* Publications des organisations internationales.- Commission Internationale de Protection Radiologique :

- (1) "Recommandations of the International Commission on Radiological Protection", I.C.R.P. Publication 26, 1977.
- (2) "The Principles in General Procedures for Handling Emergency and Accidental Exposures of Workers", I.C.R.P. Publication 28, 1978.
- (3) "Biological Effects of inhaled Radionuclides", I.C.R.P. Publication 31, 1979.
- (4) "Protection of the public in the Event of Major Radiation Accident : Principles for Planning", I.C.R.P. Publication 40, 1984.
- (5) "Non - Stochastic Effects of Ionizing Radiation", I.C.R.P. Publication 41, 1984.

- Nations-Unies :

- (6) "Ionizing Radiation : Sources and Biological Effects", United Nations Scientific Committee on the Effect of Atomic Radiation, UNSCEAR, 1982.
- (7) "Sources and Effects of Ionizing Radiation", UNSCEAR 1977.
- (8) "Genetic and Somatic Effects of Ionizing Radiation", UNSCEAR 1986.

- Agence Internationale pour l'Energie Atomique :

- (9) "Handling of Radiation Accidents", I.A.E.A., Symposium, Vienna 1976.
- (10) "Manual on the Early Treatment of Possible Radiation Injury", Safety Series N°47, I.A.E.A., Vienna (1978).

- (11) "What the general practitioner (MD) should know about medical handling of overexposed individuals". I.A.E.A. - T.E.C.D.O.C. - 366, Vienna 1986.
- (12) "Manual on Radiation Haematology", I.A.E.A., Technical Reports Series N°123, Vienna, 1971.

* Ouvrages généraux :

- (13) "The Effects on Populations of Exposure To Low Levels of Ionizing Radiation", Committee on the Biological Effect of Ionizing Radiations, National Academy of Sciences, 1980.
- (14) "Management of Persons Accidentally Contaminated With Radionuclides", National Council on Radiation Protection and measurements, N.C.R.P. Report N°65, 1980.
- (15) DUTREIX A., MARINELLO G., WAMBERSIE A. - Dosimétrie en curiethérapie, Masson, Paris, 1982.
- (16) HALL E.J. - Acute effects of whole body irradiation. In : Radiobiology for the Radiologist. pp. 203 - 215, Harper & Row, 1978.
- (17) METTLER F.A., MOSELEY, R.D. - Direct effects of radiations. In : Medical effects of ionizing radiations. pp. 126 - 191. Grüne & Stratton, 1985.
- (18) TUBIANA M., DUTREIX J., WAMBERSIE A. - Radiobiologie, Hermann, Paris, 1986.

* Articles

- (19) ADAMS G.E. - Lethality from acute and protracted radiation exposure in man. An account for a forum organized by the Medical Research Council's Committee on effect of ionizing radiations. Int J. Radiation Biology 46 : 209 - 217, 1984.

- (20) ERRERA M. - Les effets des radiations nucléaires à faibles doses.
La recherche, vol. 16 : 959 - 968, 1985.
- (21) HAUT H., WAMBERSIE A. - Les contaminations internes en radioprotection ; risques et détections. Louvain Medical 103 : 121 - 133, 1984.
- (22) LLOYD, D.C., DOLPHIN, G.W., "Radiation - induced chromosome damage in human lymphocytes", British Journal of Industrial Medecine, 34, 261 - 273, 1977.
- (23) SCALLIET P., VYNCKIER S., LEJEUNE P. et WAMBERSIE A. - A propos de Tchernobyl : 1. Les effets d'une irradiation accidentelle chez l'homme. Louvain Médical 106 : 5 - 18, 1987.
- (24) THOMA G.E., WALD N. - The diagnosis and management of accidental radiation injury. J. Occupationn Medicine 1 : 421 - 447, 1959.
- (25) WAMBERSIE A., SCALLIET P. - A propos de Tchernobyl : II. Un an après : leçons et conséquences sanitaires et économiques. Bilan pour la population belge. Louvain Médical, 107 : 111-130, 1988..

SAMENVATTING.

Dit artikel heeft tot doel geneesheren en apothekers de nodige informatie te verschaffen om doeltreffend in te grijpen in geval van blootstelling aan ioniserende stralen. Het begint met een bondige en praktische voorstelling van de medische urgentie-maatregelen bij aanwezigheid van een mogelijk, zowel langs inwendige als uitwendige weg, aan ioniserende stralen blootgesteld persoon. Verder geeft het een herhaling en oppuntstelling van de essentiële begrippen betreffende de acute en uitgestelde effecten van ioniserende stralen. Het herhaalt tenslotte de beginselen en orientatie van mogelijke behandelingswijzen.

ABSTRACT.

The purpose of this article is to give physicians and pharmacists the essential information required for efficient intervention in case of exposure to ionizing radiation. It starts with a short and practical presentation of the medical emergency measures in presence of a person possibly exposed to ionizing radiation, either by external or internal way. Essential notions concerning acute and delayed effects of ionizing radiation are recalled and updated. Principles and orientations of treatment possibilities are reminded.

**RISQUES ACTUELS DU TECHNICIEN EN RADIOLOGIE
RADIOTHERAPIE, MEDECINE NUCLEAIRE, RADIOPROTECTION
ET LEUR CONTEXTE**

GARSOU J.

Université de Liège - Liège

Sept. 1988

Résumé

Dans les domaines du travail du MRT, on remarque une évolution des techniques de base et des techniques auxiliaires ainsi qu'une évolution de la mentalité. Si, d'une façon générale, les risques relatifs aux techniques de base ont tendance à diminuer, les risques issus de l'application de techniques interférentes vont plutôt se multiplier, les limites de danger n'étant pas toujours cohérentes; parmi ces risques, celui lié au développement des tubes cathodiques apparaît minime.

Parmi les accidents survenus lors des quarante dernières années avec du matériel médical, se dénombrent 24 expositions globales (ayant entraîné 17 décès) 156 expositions localisées, 33 personnes contaminées.

La radioprotection a pris son rythme de croisière avec des réactions humaines bien classifiées sur lesquelles l'information régulière semble ne plus pouvoir porter de modifications. Les concepts et les références évoluent aussi, se précisant. Le problème de la femme enceinte se modifie; la philosophie du risque prend forme dans un contexte élargi.

**1. DIVERSIFICATION ET EVOLUTION DES TECHNIQUES ET
DE LEUR CONTEXTE**

Les domaines de travail du technicien médical, à savoir radiothérapie, radiologie, médecine nucléaire et radioprotection, évoluent insensiblement en fonction du développement des techniques de base propres à ces domaines et, par suite de l'interférence d'autres techniques en fonction du

développement de celles-ci, mais aussi parallèlement avec une modification de la mentalité de l'application générale de ces techniques nouvelles.

C'est ainsi que, en radiologie, tend à se préciser le grand ensemble de l'imagerie médicale qui regrouperait toutes les techniques d'imagerie de diagnostic par rayons X, ultrasons, par radioisotopes, par résonance magnétique nucléaire.

Si les techniques se sont particulièrement diversifiées ces dix dernières années, l'environnement de leur développement a vu apparaître souvent des applications auxiliaires d'autres techniques. Le technicien doit dès lors être attentif autant aux risques des unes qu'à ceux des autres.

En radiothérapie, le remplacement du Ra par le ^{137}Cs et l'application de l'afterloading, le remplacement de la sonde de Crowe au Ra par l'applicateur nasopharyngien au ^{90}Sr ont permis de réduire considérablement les doses au personnel, dans le premier cas, par un facteur 3, dans le second, par un facteur 15.

Mais, l'hyperthermie qui se développe progressivement depuis quelques années, appelle le plus souvent une application locale de microondes. Sans doute celles-ci sont-elles d'utilisation courante en médecine physique. Les techniciens en radiologie, radiothérapie, médecine nucléaire et radioprotection doivent désormais envisager un risque davantage précisé des microondes et, en même temps, si l'attention des radiologues et de leurs techniciens est attirée sur ce risque, elle se reporte sur les kinésithérapeutes et leurs techniciens de médecine physique déjà soumis à ce risque mais de façon régulière. Des limites d'exposition sont précisées mais elles restent différentes pour l'American National Standards Institute et pour l'International Radiation Protection Association (Fig. 1).

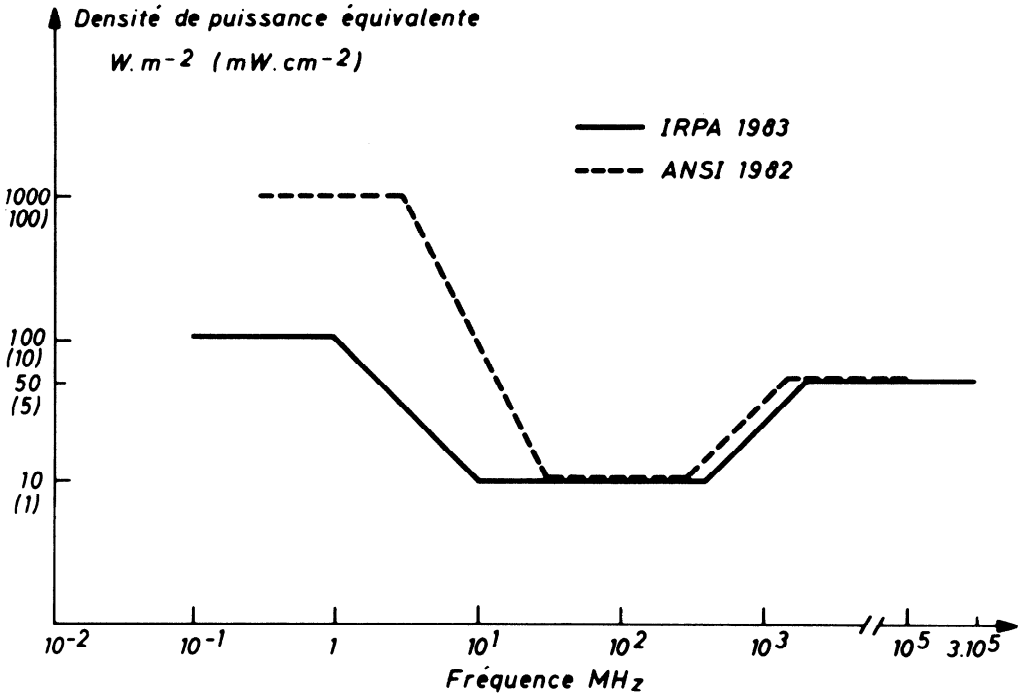


Figure 1 : Variation en fonction de la fréquence du seuil de nocivité des microondes, exprimé en densité de puissance, selon l'American National Standards Institute (ANSI 1982) et l'International Radiation Protection Association (IRAP 1983).

Le positionnement du patient en vue de son irradiation s'effectue de plus en plus par faisceaux laser dont la finesse permet d'accroître la précision du centrage. Ces faisceaux sont de faible densité de puissance, mais le risque d'exposition de l'oeil dans le faisceau à proximité de la source peut ne pas être négligeable. La normalisation

des limites d'exposition tend à se réaliser; en ce qui regarde l'American National Standards Institute, ces limites de densité de puissance en fonction du temps d'exposition et pour diverses longueurs d'onde se situent sur le graphique représenté par la figure 2.

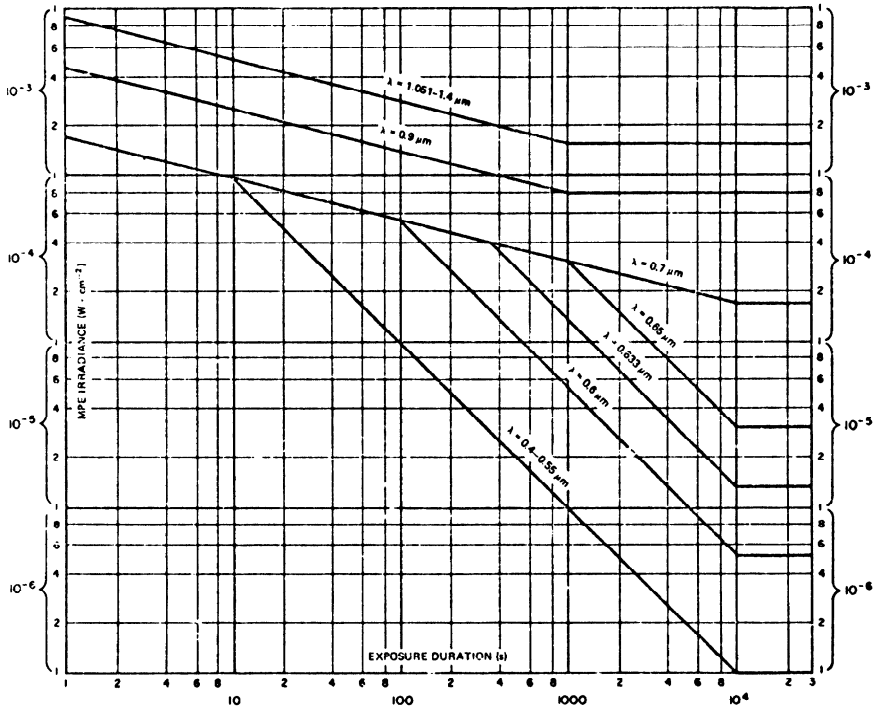


Figure 2 : Variation, pour diverses longueurs d'onde λ (μm) de laser, en fonction de la durée totale de l'exposition (s), de l'irradiance maximale admissible ($\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$).

Le risque pratique de rayons X en radiologie n'est pas tellement dû au faisceau principal qui peut être bien délimité visuellement et dont on se méfie tout particulièrement; le risque insidieux est essentiellement lié au rayonnement diffusé, assez subreptice, fonction directe de la dose au

patient. La télécommande des tables, la production d'images radiologiques avec le minimum optimal de rayonnement et leur mise en mémoire, l'introduction et le développement de la tomодensitométrie entraînant la régression de la tomographie conventionnelle, l'utilisation des écrans renforçateurs à terres rares à haut facteur d'intensification ont contribué très sérieusement à la diminution de la dose au patient et, ainsi réduit considérablement la dose au personnel à activité supposée constante.

Mais, si le risque de rayons X a notablement diminué, l'arrivée des ultrasons et de la résonance magnétique nucléaire amène des radiations ou des techniques qui, si elles présentent jusqu'à ce jour une nocivité reconnue comme relativement faible, ne doivent pas être pour autant auréolées d'une parfaite innocuité. Ultrasons, champs magnétiques intenses (de 0,3 à 5 Tesla), statiques ou variables, radiofréquences doivent faire leurs preuves d'absence de risques; l'établissement du bilan requiert de longues années.

La médecine nucléaire conserve ses marquages de molécules organiques par ^{125}I ou ^{131}I entraînant un risque non négligeable pour la thyroïde. Les radioéléments à courte vie, $^{99\text{m}}\text{Tc}$, dont le nombre s'est accru des radionuclides préparés par cyclotron, sont de plus en plus largement utilisés mais si leur décroissance rapide entraîne des doses plus faibles pour le patient, par contre le personnel est amené à manipuler des activités nominales nécessairement plus élevées, susceptibles d'engendrer des doses également plus élevées.

Le développement de l'informatique dans tous les domaines a multiplié les écrans cathodiques. Avec une console de visualisation polychrome, pour un débit de dose de

de 0,2 $\mu\text{Sv/h}$ (20 $\mu\text{rem/h}$) à 5 cm de l'écran, les équivalents de dose annuelle vont de 0,058 mSv (5,8 mrem) au cristallin à 0,012 mSv (1,2 mrem) aux seins et 0,011 mSv à la moëlle osseuse (Wolberg G., 1984) pour la position habituelle de l'opérateur, représentant une contribution très faible à l'irradiation externe.

2. LES ACCIDENTS D'IRRADIATION CONNUS

Un événement fortuit est habituellement considéré comme accident s'il entraîne le dépassement d'une limite de dose, comme incident dans le cas contraire.

Les événements accidentels dont les sujets ont requis des soins attentifs, survenus dans le cours des quarante dernières années avec du matériel médical sont (Jammet H. et Dousset M., 1984) :

- a. Fin 1983, dissémination des grains d'une source de 60 Co vendue à un ferrailleur de Ciudad Juarez (Mexique) entraînant des doses de 1 à 5 Gy (100 à 500 rads) étalées sur plusieurs semaines pour 5 ouvriers et des doses diverses pour 200 personnes de la ville et des environs.
- b. Les expositions globales graves avec expositions localisées à très fortes doses s'élèvent à 24 dont 2 en France, avec 11 accidents dus à 192 Ir et 9 dus au 60 Co. Ces 24 accidents ont entraîné 17 décès.

Les cas les plus fréquents sont le ramassage d'une source perdue, l'entrée dans les salles d'irradiation par suite de défaillance des systèmes de sécurité, inadvertance ou transgression des consignes.

Tel fut également le contexte pour la réception de doses au niveau de la poitrine et au niveau de l'abdomen respectivement de 5,56/1,64 et 10,76/1,75 mSv par deux manipulatrices d'un appareil de télécobaltthérapie par suite de la rupture du ressort de rappel de la source

de 60 Co et de l'usure des roulements du barillet porte-source.

Il est important de signaler qu'une rupture du ressort de rappel d'une source de 60 Co est considéré comme un événement normal par le fabricant d'autant plus que la dose qu'une personne avertie peut recevoir par une remise manuelle de la source en position de repos n'ex-cède pas quelque 0,02 mSv.

Le blocage de l'axe de la minuterie d'un appareil de radiographie dentaire jusqu'à sa détérioration complète est un événement rare que nous avons pu observer une fois en vingt ans.

- c. Les expositions localisées (partielles) qui ont requis une intervention chirurgicale ont été de 1945 à 1984 de 156 environ (dont 38 en France).

Soit avec les :

rayons X	: 69 (20 en France)
192 Ir	: 39 (7 en France)
60 Co	: 25 (4 en France)
émetteurs β	: 11
accélérateurs	: 8 (4 en France)

Pour les rayons X, les travaux de recherche en physique et l'analyse par fluorescence sont les plus dangereux; les accidents avec 192 Ir se dénombrent surtout en gammagraphie industrielle.

- d. Les contaminations internes sérieuses paraissent être moins nombreuses que les irradiations externes.

Un registre général tenu à Oak Ridge (DOE-REAC/TS) signale une vingtaine d'accidents avec 33 personnes sérieusement contaminées parmi lesquelles on compte 4 décès (2 en Allemagne par incorporation de 3 H et 2 aux Etats-Unis par surdosage au cours d'un traitement par 198 Au.

La plupart des cas concernent le Pu et l'Am. Il faut encore citer un accident de surdosage en ^{90}Y produit à Houston en 1980 avec mort de 5 malades (Jammet H. et Dousset M., 1984).

Il est important de retenir de ce bilan que l'entrée intempestive dans un local d'irradiation de haute intensité, l'inadvertance et la transgression des consignes ont été des causes reconnues d'accident sans qu'il soit précisé que les responsables soient des techniciens en radiologie, radiothérapie, médecine nucléaire ou radioprotection.

3. SITUATION ACTUELLE DE LA RADIOPROTECTION

a. Dans notre pays, 22 ans après la publication de l'Arrêté Royal portant réglementation de la radioprotection, les règles jugées au début particulièrement draconiennes jouissent d'une application qui a pris son rythme de croisière. Les réactions humaines à cette application montrent des pourcentages paraissant immuables de membres de personnel motivés ou attentifs d'une part, non motivés ou négligents d'autre part.

Sans doute faut-il informer et continuer l'information, voire la renforcer d'une formation devenue désormais légale, mais celle-ci ne motive pas nécessairement le personnel sur lequel influe l'exemple des supérieurs ou des collègues.

Prend forme actuellement le danger de la monotonie des habitudes prises et une probabilité marquée de désintéressement vis-à-vis des informations annuelles imposées par la loi alors que les techniques de diagnostic faisant appel à des sources radioactives se diversifient tout en devenant plus nombreuses.

Un nouvel effort en profondeur doit désormais se développer : la déclaration.

b. Quant à la discipline-même de la radioprotection, elle s'écarte de la radiobiologie et définit des facteurs nouveaux (équivalent de dose au lieu de dose - biologique -, facteur de qualité au lieu d'efficacité biologique relative, par exemple).

Par ailleurs, ses références de dose changent.

La référence de la dose d'irradiation totale passe de la dose reçue par les cristallins, les organes hématopoïétiques et les gonades à une dose efficace résultant d'une pondération des équivalents de dose reçus par gonades, sein, moelle rouge des os, poumons, thyroïde, surfaces osseuses et restant moyennant les facteurs w_T respectifs, 0,25; 0,15; 0,12; 0,12; 0,03; 0,03 et 0,30. La femme enceinte ou en période d'allaitement voit son statut de radioprotection quelque peu modifié.

Alors que la directive du Conseil des Communautés Européennes du 15 juillet 1980 (J.O. des C.E., 17.9.1980) l'autorise à recevoir au maximum 10 mSv (1 rem) au niveau du fœtus, entre le moment de la déclaration de la grossesse et celui de l'accouchement, l'A. R. du 16.1.1987 (M.B. 12.3.1987) requiert qu'à partir de sa déclaration de grossesse, elle ne peut être affectée à un poste de travail qui ferait d'elle une personne professionnellement exposée (art. 20.1.3.)

C'est désormais l'apprentie ou étudiant enceinte ou en période d'allaitement, qui, selon ce nouvel Arrêté Royal, ne peut être exposée, du fait de sa formation ou de ses études, au risque des radiations ionisantes (art. 20.1.4.).

Quant aux fondements de la limite des 50 mSv (5 rems) pouvant être reçue par les personnes professionnellement exposées de catégorie A, elle est désormais étayée par une large philosophie du risque dans les diverses professions. La référence est le taux annuel moyen de mortalité d'une industrie à haut niveau de sécurité, taux situé à 10^{-4} (soit 100 décès par 10^6 travailleurs).

La Commission Internationale de Radioprotection prend comme critère provisoire acceptable pour l'exposition professionnelle 50 décès/an par 10^6 travailleurs ou 5×10^{-5} . Pour une vie professionnelle de 40 ans, le risque total serait de 200×10^{-5} ou 2×10^{-3} .

L'expérience montre que dans l'ensemble des doses d'irradiation totale reçues, si la limite fixée est de 50 mSv (5 rems), la distribution est en gros log-normale et la moyenne arithmétique est en général égale au 1/10 de la limite soit 5 mSv (0,5 rem).

A quel risque correspond cette moyenne ? A la somme des risques encourus par chacun des tissus :

1. gonades	$40 \times 10^{-4}/\text{Sv}$ (ou $4 \times 10^{-5}/\text{rem}$)
2. sein	25
3. moelle rouge	20
des os	
4. poumons	20
5. thyroïde	5
6. os	5
7. autres tissus	50

$$165 \times 10^{-4}/\text{sv} = 1,65 \times 10^{-2}/\text{sv} =$$

$$(1,65 \times 10^{-4}/\text{rem})$$

$$16,5 \times 10^{-5}/\text{rem})$$

Donc si le risque total est de $1,7 \times 10^{-2}/\text{Sv}$, le risque annuel moyen relatif à l'exposition professionnelle moyenne de 5 mSv est de $1,7 \times 10^{-2}/\text{Sv} \times 5 \times 10^{-3} \text{ Sv/an} = 0,85 \times 10^{-4}/\text{an}$, soit de l'ordre du risque moyen de décès dans les autres industries réputées sûres. Par conséquent, la limite de (5 rems) 50 mSv/an pour les personnes professionnellement exposées repose sur une base raisonnable alors que pour la limite annuelle de dose au public

il se dessine déjà au sein de la Commission Internationale de Radioprotection une tendance à la réduire de 5 mSv à 1 mSv (ICRP publication 45).

La dose individuelle du travailleur garde toute son importance quelle que soit la complexité de la pondération des doses aux divers organes de référence, encore convient-il d'estimer son influence dans la production des mutations. La dose génétiquement significative tend à être de plus en plus calculée à titre d'indice de l'impact génétique présumé de l'irradiation sur la population globale; c'est la dose qui, si elle était reçue par chaque individu de la population, pourrait donner le même dommage génétique total que les doses aux gonades effectivement reçues par les seules personnes exposées. Ces dernières sont ainsi pondérées non seulement pour le nombre total des individus de la population en cause, mais aussi pour leur descendance probable.

Les chiffres tiennent compte évidemment des doses reçues par les gens en tant que patients bien plus qu'en tant que travailleurs exposés. La comparaison des résultats n'en est que plus significative : si le fond naturel des radiations est responsable d'une dose moyenne annuelle génétiquement significative de 90 mrems, l'évaluation de celle-ci pour les applications médicales du radiodiagnostic, de la radiothérapie et de la médecine nucléaire conduit respectivement à 20 (pour 1970), 3 et 0,2 (Report of the BEIR Committee, 1972).

Une approche différente de la dose moyenne pondérée résultant de l'utilisation médicale des rayonnements ionisants pendant les 25 dernières années évalue celle-ci à 20 % de la dose provenant des sources naturelles (Jammet H., 1985).

La Directive du Conseil des Communautés Européennes du 3 septembre 1984 (J.O. des C.E., 5 octobre 1984) arrête que toute utilisation de rayonnements ionisants dans un acte médical soit fait sous la responsabilité de médecins, de praticiens de l'art dentaire ou d'autres praticiens habilités à effectuer un tel acte médical conformément à la législation nationale et ayant acquis au cours de leur formation une compétence en radioprotection. L'exigence d'une compétence en radioprotection et pas seulement de simples notions doit renforcer la sécurité des conditions de travail, si les règles de radioprotection reçoivent malgré tout toute la considération et l'importance nécessaires.

4. CONCLUSION

En fait, la législation publiée en 1963, aussi drastique et draconienne qu'elle apparaissait est entrée progressivement dans les moeurs et a ainsi atteint le stade d'application de routine.

Les risques de radiations font partie de la vie professionnelle courante du technicien en radiologie, radiothérapie, médecine nucléaire et radioprotection dans un contexte où se font jour des incidences de rayonnements non ionisants se révélant loin d'être entièrement inoffensifs.

En face de cette situation, continue à se dresser l'homme avec la nécessité de sa motivation vis-à-vis de l'application des règles de radioprotection.

Plus que jamais donc des hommes valablement formés s'avèrent indispensables pour imprégner le climat de travail au bénéfice bien compris et avec la confiance nécessaire de tous, d'une radioprotection correcte.

REFERENCES

AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE : Safety levels with respect to human exposure to electromagnetic fields (300 kHz to 100 GHz). Institute of Electrical and Electronics Engineers, New-York, 1982.

AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE : Standard for the use of lasers. Z136.1, 1980. American National Standards Institute, New-York 1981.

WOLBER G. : Irradiation des personnes par les tubes cathodiques de télévision. Radioprotection 19/2, 1984, 129-144.

FRY S.A. : DOE REAC/TS, Oak Ridge, 1984. Communication personnelle citée dans Jammet H. et Dousset M., 1984.

JAMMET H., DOUSSET M. : Le point sur les expositions accidentelles connues. Radioprotection, 19/4, 1984, 269-274.

BEIR COMMITTEE REPORT : The effects on populations of exposure to low levels of ionizing radiations. National Academy of Science/National Research Council, Washington D.C., 1972.

JAMMET H. : Importance relative de l'irradiation naturelle dans l'ensemble des expositions humaines. Radioprotection, 20/1, 1985, 7-10.

INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION : Statement from the 1985 Paris meeting of the International Commission on Radiological Protection. ICRP publication 45; annals of the ICRP 15/3, i-ii. 1985.

SAMENVATTING.

In de taak van de MRT (Medical Radiological Technicians) wordt een evolutie van de eigen en van de aanverwante technieken, alsmede een evolutie in de mentaliteit waargenomen. Daar waar de risico's gebonden aan de specifieke technieken een neiging tot minderen vertonen, hebben diegene gebonden aan de aanverwante technieken eerder een neiging tot stijgen met risico-limieten die niet altijd als coherent voorkomen. Het gevaar veroorzaakt door de katodestraalbuizen komt hiervoor als miniem.

Onder de ongevallen die in de laatste 40 jaar veroorzaakt werden door medische apparatuur vindt men 24 globale blootstellingen (17 overlijdens), 156 lokale blootstellingen en 33 besmettingen.

De radioprotectie heeft nu haar kruissnelheid bereikt met menselijke reacties die wel geklassificeerd zijn en waarop de regelmatige informatie weinig aan verandert. Opvattingen en referenties evolueren eveneens naar meer precisie. Het probleem van de zwangere vrouwen wordt anders opgevat, de filosofie van de stralingsbescherming ontwikkelt zich verder.

ABSTRACT.

In the working field of the MRT (Medical Radiological Technicians) appears an evolution in the specific and in the auxiliary techniques. Generally speaking the risks involved in the specific techniques show a tendency to decrease whereas the risks presented by auxiliary techniques are increasing, with not always coherent risk-limits. Among these risks the development of the cathode ray tubes appears as minimal.

Among the accidents caused by medical appliances in the past 40 years, we find 24 global exposures (17 fatalities), 156 local exposures and 33 contaminations.

Radioprotection has attained its cruising speed with well classified human reactions not to be changed by regular information. Concepts and references get more precised. The problem of the pregnant woman shows a modified approach. The philosophy of risk undergoes further developments.