

Les irradiations accidentelles

Information sur le traitement des irradiations accidentelles

suvaPro

Le travail en sécurité

Aberrations chromosomiques consécutives à une irradiation

Dans cette cellule, les chromosomes 2, 3 et 5 sont colorés en vert, les autres en bleu fluorescent. Les centromères (rétrécissements) apparaissent en rouge. On observe une translocation réciproque entre un chromosome bleu et un chromosome vert. On voit aussi un chromosome dicentrique (2 rétrécissements) avec les fragments qui en dépendent.

Cette photo nous a été gracieusement mise à disposition par le D^r D. Lloyd, National Radiological Protection Board (NRPB), Chilton, Didcot, Oxon (Angleterre).

Traitement chirurgical d'une blessure légèrement contaminée

La tenue chirurgicale habituelle est suffisante pour la protection des opérateurs. Les habits, le matériel opératoire et de débridement doivent cependant être recueillis dans un sac de plastique et adressés à un physicien nucléaire pour dosimétrie.

Suva
Caisse nationale suisse en cas d'accidents
Médecine du travail
Case postale, 6002 Lucerne
Tel. 041 419 51 11
Fax 041 419 59 17 (pour les commandes)
Internet www.suva.ch

Les irradiations accidentelles

Information sur le traitement des irradiations accidentelles

Auteurs: D^r med. Ulrich Weickhardt
Suva, division Médecine du travail
Révision du texte par le D^r med. Johannes Meier
Suva, division Médecine du travail

Reproduction autorisée avec indication des sources

1^{ère} édition – juin 1992

2^e édition revue – août 2002 – 12000 à 14000

Référence: 2869/21.f

Nos remerciements vont au D^r E. Stoll, DSN Würenlingen pour sa précieuse collaboration.

Table des matières

1.	Introduction	2
2.	Concepts essentiels	3
3.	Grandeurs et unités	6
4.	Evénements accidentels	8
5.	Définition et classification des irradiations accidentelles	23
6.	Irradiations externes	24
6.1	Irradiation externe globale	25
6.2	Irradiation externe localisée	34
6.3	Lésions combinées	36
7.	Contamination	38
7.1	Externe	38
7.2	Interne (incorporation)	44
7.3	Préservation du matériel contaminé	48
8.	Divers	49
8.1	Prophylaxie par l'iode	49
8.2	Grossesse et irradiation accidentelle	55
8.3	Fertilité	57
9.	Mesures à prendre lors d'une irradiation accidentelle (résumé)	58
	Annexes	
I	Adresses importantes	61
II	Analyse chromosomique	63
III	Radionuclides importants	64
IV	Organisation de l'alarme en cas d'accident nucléaire	66
V	Bibliographie	68

1. Introduction

Les accidents imputables aux radiations sont extrêmement rares. C'est pourquoi très peu de médecins possèdent dans notre pays l'expérience du traitement des irradiations accidentelles.

Malgré cette rareté, il est souhaitable que chaque médecin praticien connaisse les principes de la prise en charge de tels accidents; en effet, lors d'une catastrophe comportant de nombreuses personnes irradiées, le non-spécialiste pourrait également être appelé à prodiguer les premiers secours. En outre, de bonnes connaissances de base dans ce domaine peuvent s'avérer utiles à tout médecin devant conseiller ses patients.

La présente brochure est parue dans sa première édition à la demande de la CPR (Commission fédérale de la protection contre les radiations).

2. Concepts essentiels

Radiation ionisante

Radiation suffisamment riche en énergie pour scinder des atomes en particules électriquement positives ou négatives (ions). On distingue les rayonnements corpusculaires (particules alpha, électrons etc.) et électromagnétiques (rayons X et gamma).

Radioactivité

Propriété d'un nuclide de se transformer en un autre par **désintégration spontanée** en émettant des **radiations ionisantes**. On parle alors de nuclide instable, par opposition aux nuclides stables et par conséquent non radioactifs. Parmi les 1700 nuclides connus, seuls 280 environ sont stables. Exemples de radionuclides naturels: Uranium-238. Radium-226 et Thorium-232.

Types de radiations (ionisantes)

Rayons alpha

Noyaux d'hélium à charge positive double. Très riches en énergie, ils n'ont cependant qu'une très faible capacité de pénétration dans les tissus de quelques μm . Une feuille de papier suffit pour s'en protéger.

Exemple de source de rayons alpha: Plutonium-242.

Rayons bêta

Electrons à charge négative simple. Energie variable en fonction de la source. Pénétration dans les tissus: quelques millimètres à quelques centimètres. Protection par une vitre en plexiglas. Exemple de source de rayons bêta: Tritium.

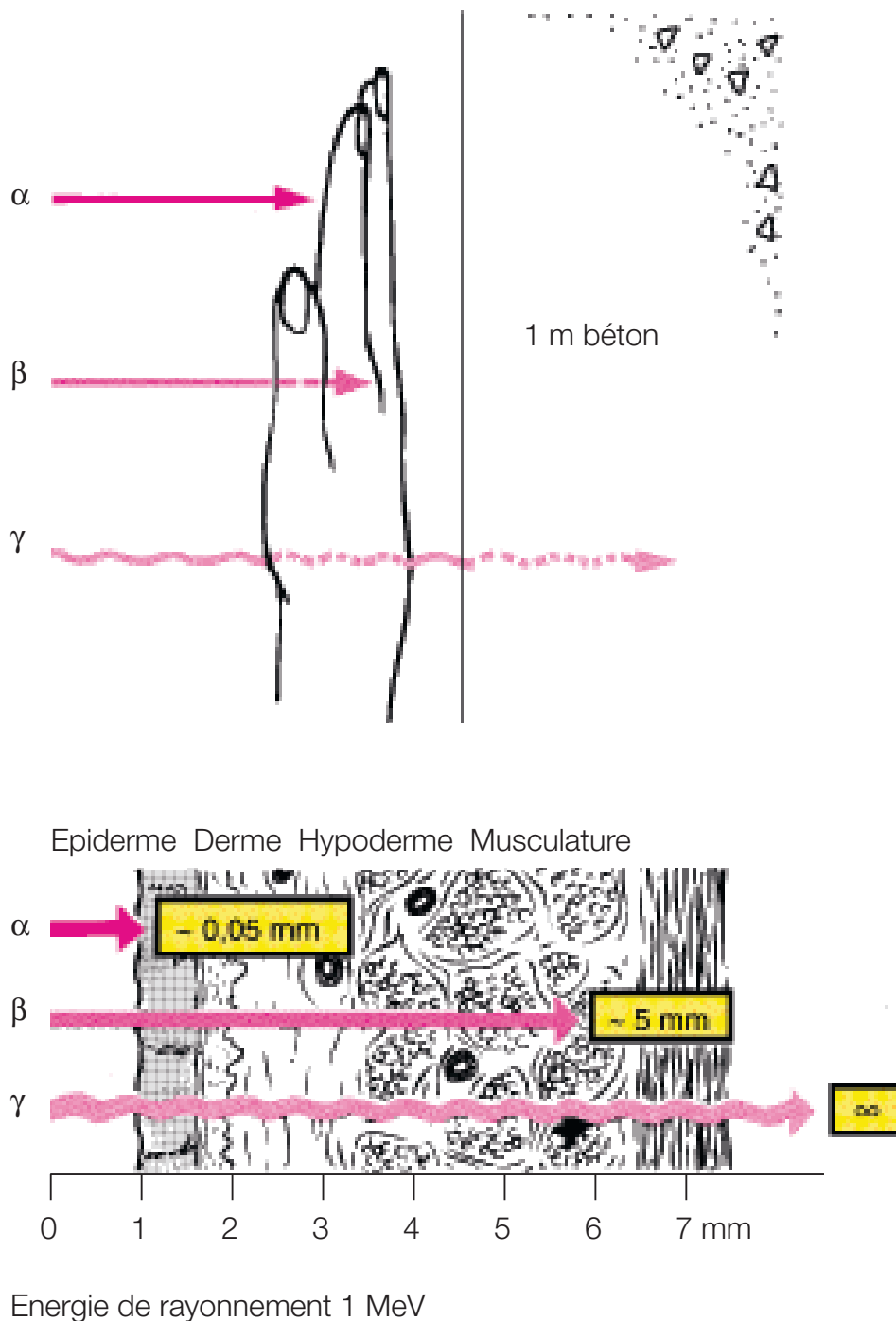


Figure 1: Pouvoir de pénétration de divers types de rayons

Neutrons

Constituants du noyau atomique, électriquement neutres, dont la masse est environ le quart de celle d'un noyau d'hélium (particule alpha). Energie et capacité de pénétration variables en fonction de la source. Le rayonnement par neutrons ne se rencontre pratiquement que dans le domaine de l'énergie nucléaire.

Rayons X

Rayonnement électromagnétique le plus souvent de relativement faible énergie. Il se produit lorsque des électrons frappent de la matière (tubes à rayons X). Portée non définie. Décroissance exponentielle dans les tissus.

Rayons gamma

Rayonnement électromagnétique très riche en énergie. Emis par la désintégration d'atomes radioactifs. Très pénétrants. Portée non définie. Décroissance exponentielle dans les tissus. Exemple de source de rayons gamma: Technetium-99m.



Source radioactive

Appareil ou substance radioactive émettant des radiations ionisantes.

Source radioactive ouverte

Source radioactive dont le contenu peut s'échapper et conduire à une contamination. Exemple: couleur luminescente au tritium dans l'industrie horlogère.

Source radioactive fermée

Source radioactive dont le produit radioactif est enfermé dans une enceinte prévenant toute contamination. Exemple: Unité de radiothérapie par le cobalt.

3. Grandeurs et unités

Grandeur	Unité SI	Définition	Anc. Unité	Symbole	Facteur de conversion
Dose d'énergie	Gray symbole: Gy 1 Gy = 1 J/kg	Quantité d'énergie délivrée par des rayonnements ionisants à l'unité de masse de la substance irradiée	rad	rad	1 Gy = 100 rad
Equivalent-de dose	Sievert symbole: Sv 1 Sv = 1 J/kg	Dose d'énergie multipliée par le coefficient d'efficacité biologique relative (sans dimension du rayonnement considéré)	Rem	rem	1 Sv = 100 rem
Activité	Becquerel symbole: Bq 1 Bq = 1 s ⁻¹	Nombre de désintégrations par unité de temps	Curie	Ci	1 Ci = 3,7x10 ¹⁰ Bq

Tableau 1: Grandeurs et unités importantes pour le médecin

Remarques sur les doses d'énergie et les équivalents de dose

Il est bien entendu que seule l'énergie absorbée par les tissus produit des lésions. L'unité de l'énergie absorbée par les tissus est le Gray. Malgré une absorption d'énergie identique, les dégâts tissulaires varient en fonction du

type de rayonnement (alpha, bêta, gamma etc.), en raison de leur action spatiotemporelle propre: ainsi, les rayons alpha délivrent leur énergie de façon **concentrée** dans un espace bien délimité, alors que les rayons X agissent de manière **diffuse**, “diluée”. Ce phénomène est avant tout important pour les petites doses sur des durées prolongées (cancérogénicité). Pour tenir compte des particularités propres à chaque rayonnement et pouvoir les comparer, on a introduit un “coefficient d’efficacité” (facteur qualitatif). En multipliant la dose d’énergie (en Gray) par ce facteur, on obtient l’équivalent de dose (en Sievert). Ce coefficient d’efficacité étant sans dimension propre, le Sievert et le Gray ont la même unité de grandeur (J/kg).

Pour l’appréciation d’une irradiation aiguë, c’est la dose d’énergie (en Gray) qui est déterminante.

L’équivalent de dose en Sievert est par contre le facteur de mesure de l’action oncogène (cf. plus haut) et ne joue donc pas de rôle dans l’appréciation des lésions lors d’une irradiation aiguë. Nous utiliserons donc par la suite essentiellement le Gray, unité de dose d’énergie. Nous ne recourons au Sievert que dans le chapitre “Prophylaxie par l’iode” où il sera question de la prophylaxie du cancer de la thyroïde.

! En outre, dans la pratique, la situation est relativement simple: la plupart des irradiations accidentelles sont dues aux rayons bêta, gamma et X, dont le coefficient d’efficacité est égal à 1. Il en résulte que la dose d’énergie exprimée en Gray est égale à l’équivalent de dose exprimé en Sievert!

Remarque sur l’activité

L’activité à elle seule ne donne encore aucune indication sur le danger d’une substance radioactive! L’élément important est le type de rayonnement produit par la désintégration nucléaire (alpha, bêta, gamma etc.), l’énergie et la portée de celui-ci.

4. Événements accidentels

Des sources radioactives ouvertes ou fermées sont aujourd'hui couramment utilisées dans de nombreux domaines industriels, techniques, médicaux et dans la production d'énergie.

Dans l'industrie, la recherche et en médecine, le risque potentiel des sources radioactives est limité. Citons par exemple les appareils à rayons X et les accélérateurs linéaires; le traitement des tumeurs par le télécobalt; la gammagraphie à l'Iridium-192 pour le contrôle des soudures; les couleurs lumineuses au tritium dans l'industrie horlogère. Malgré ces utilisations fréquentes, les accidents restent rares et ne touchent que des personnes isolées ou de petits groupes.

En comparaison, les sources radioactives utilisées dans la production d'énergie nucléaire recèlent un énorme danger potentiel. Les accidents sont cependant significativement plus rares encore que dans les domaines cités plus haut. En cas d'accident majeur, des conséquences catastrophiques impliquant de nombreuses victimes des rayons seraient à craindre.

Quelles sont les irradiations accidentelles effectivement survenues à ce jour?

Les irradiations accidentelles publiées sont répertoriées dans le rapport des Nations Unies “Sources and Effects of Ionising Radiations”, vol. I (UN 2000). Cette énumération ne prétend pas être exhaustive, les relevés les plus complets provenant des USA et couvrant les années 1944–1999. Les chiffres suivants sont énoncés:

Type d'accident	Nombre d'accidents
Accidents de criticalité (assemblages critiques, réacteurs et traitement de régénération chimique)	22
Accidents impliquant des appareils d'irradiation (sources primaires scellées, appareils à rayons X, accélérateurs)	305
Accidents avec des radioisotopes (Industrie, recherche et médecine)	84
Total	411

Tableau 2: Nombre d'événements

Le nombre de personnes impliquées n'est pas mentionné. L'accident le plus important est certainement celui de Tchernobyl. Pour la période de 1975– 1994, 98 accidents de travail ont été annoncés (sans Tchernobyl), concernant 144 personnes dont 8 sont décédées.

Voici, brièvement résumés, quelques exemples typiques:

Accidents n'impliquant qu'une personne

① Le 20 février 1999, un soudeur effectuait des réparations dans la conduite forcée d'une centrale hydraulique à Yanango/Pérou. Comme la réparation était très urgente, l'unité de contrôle des soudures contenant une source d'iridium protégée avait été préparée et laissée sur place sans surveillance. Pour une cause non éclaircie, la source radioactive se retrouva

plus tard sur le sol et fut récupérée vers 16h00 par le soudeur qui la mit dans sa poche revolver droite. Tard dans la soirée, il constata une légère rougeur de sa fesse droite qu'il attribua à une piqûre d'insecte. A minuit, l'équipe chargée des contrôles des soudures constata l'absence de la source radioactive que l'on retrouva une heure plus tard au domicile du soudeur. Les jours suivants, on nota l'apparition de vésicules sur la fesse droite, s'étendant à la cuisse. Des ulcérations et des nécroses profondes nécessitèrent 6 mois plus tard l'amputation de la cuisse. La reconstitution de l'accident et les calculs de doses ont donné une irradiation estimée à 10 Gy sur le fémur, 12 Gy sur l'artère fémorale et 25 Gy sur le nerf sciatique.

② Le 22 juillet 1985, une employée d'une fabrique suisse de tubes fluorescents était occupée à remplir des capillaires en verre avec du tritium gazeux. Après avoir fait le vide, le capillaire était rempli de gaz, puis fermé au bec Bunsen (fig. 8, 9).

Soudain, les tubes ne se laissèrent plus fermer, mais explosèrent parfois dans la zone de fermeture.

On décela ultérieurement qu'une lecture erronée du manomètre avait induit une surpression du tritium gazeux. Normalement, l'opération aurait dû se dérouler en légère dépression.

L'employée en cause et un travailleur proche inhalèrent ainsi de grandes quantités de tritium. Les déterminations parallèles d'élimination urinaire et les analyses chromosomiques des cultures de lymphocytes permirent d'estimer à 0,4 Gy l'irradiation totale de l'ouvrière et à quelques cGy celle de son voisin.

Le traitement consista en diurèse forcée avec perfusion intraveineuse et Lasix durant 5 jours en milieu hospitalier. Aucun symptôme ni altération de la formule sanguine ne s'ensuivit.

③ En mars/avril 1974, l'accident suivant survint aux USA: Une réparation devait être effectuée sur un spectromètre à fluorescence (source de rayons X). En raison d'une panne de la lampe témoin, le réparateur effectua divers travaux dans le champ de rayonnement, l'appareil étant sous tension (!), durant quelques heures réparties sur plusieurs jours (21 et 29 mars, 2 et 4 avril).

Dès le 4 avril survinrent un érythème, puis des phlyctènes et des nécroses cutanées des deux mains. En raison de douleurs persistantes très violentes et d'un ulcère chronique, on dut procéder à l'amputation de la phalangette de l'index gauche.

206390



Figure 2: Brûlure par irradiation d'une source de Cs-137
1 mois après l'accident

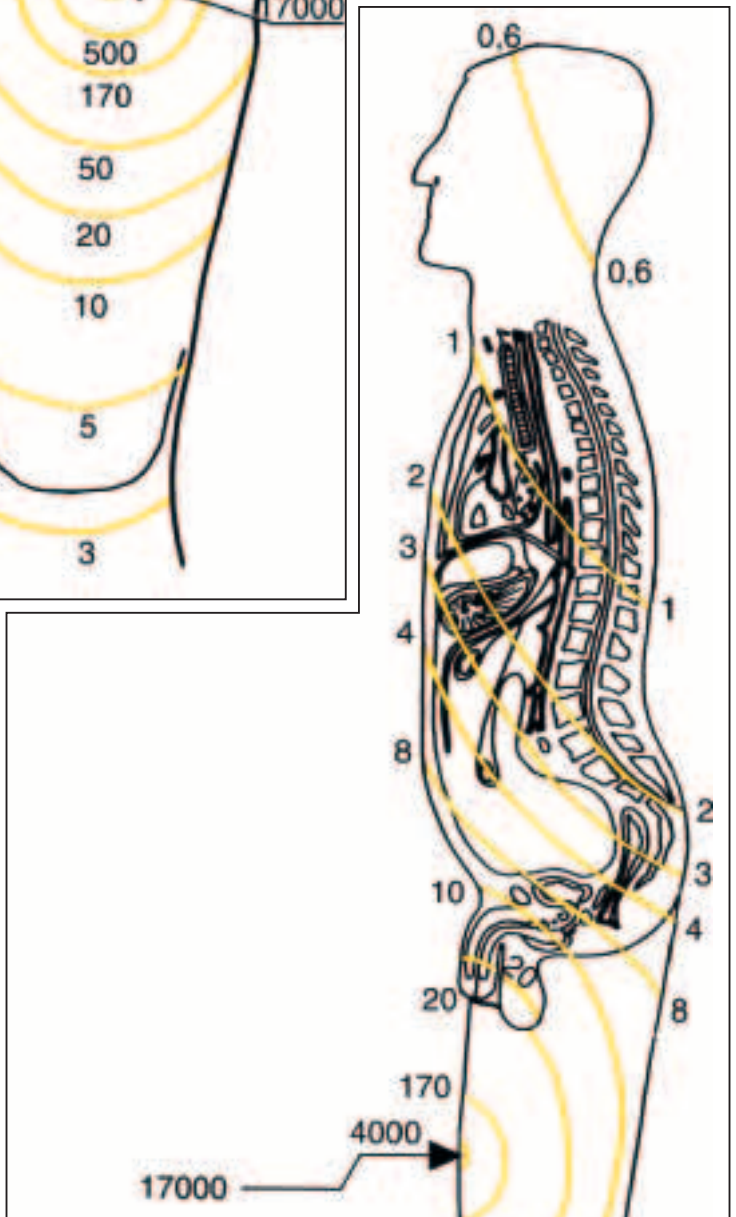
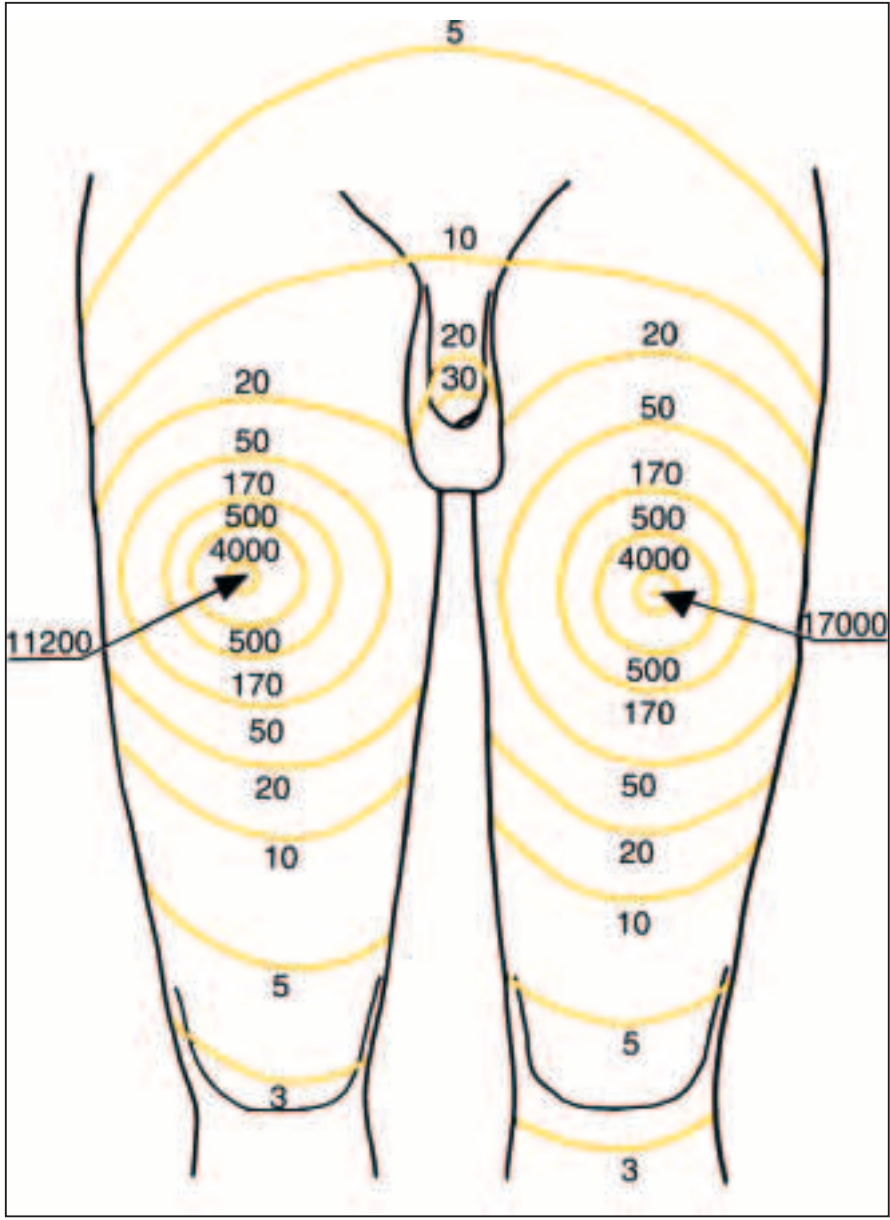
206391



Figure 3: Brûlure par irradiation d'une source de Cs-137
4 mois après l'accident



Figure 4: Brûlure par irradiation d'une source de Cs-137
9 mois après l'accident



Figures 5 + 6: Estimation des doses reçues (en Gy)

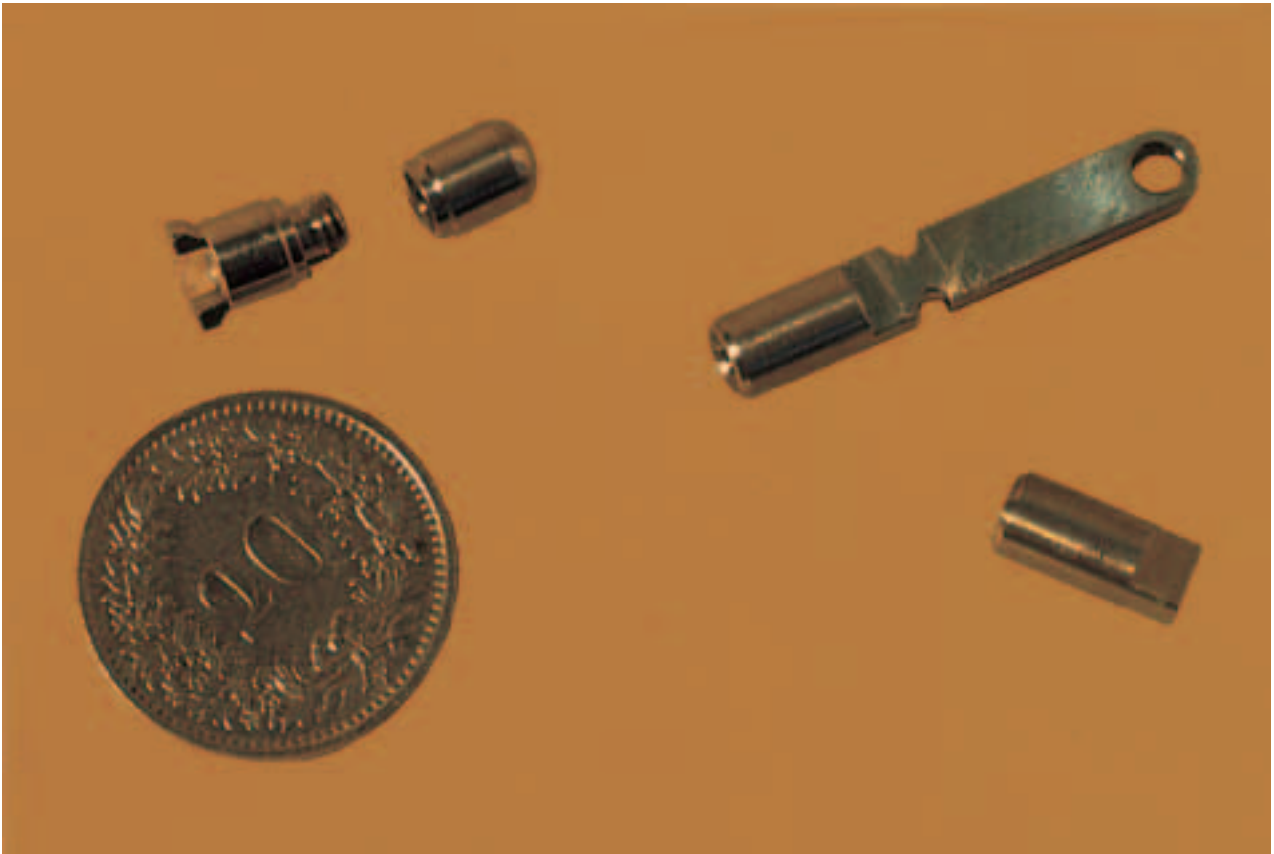


Figure 7: Sources radioactives pour le contrôle des matériaux

206396



206397



Figures 8 + 9: Fermeture de capillaires remplis de tritium

Accidents collectifs

① Le 6 décembre 1983 à Ciudad Juarez au Mexique, un appareil de radiothérapie au cobalt-60 fut volé dans un dépôt. Au cours du transport sur un camion, l'enveloppe de protection fut endommagée, libérant des petites billes métalliques contenant du cobalt-60. Le camion resta stationné durant plusieurs semaines dans une zone habitée de la ville. L'appareil fut ensuite vendu à la ferraille. Au cours de ces manipulations, une partie des billes de cobalt-60 s'échappèrent. L'appareil désaffecté fut fondu et parvint dans le commerce sous forme d'acier contaminé!

On admet qu'environ 200 personnes reçurent des doses de 0,01 à 0,5 Gy. Deux personnes furent si fortement irradiées au niveau des mains et des pieds qu'elles présentèrent des lésions cutanées aiguës. 4 personnes reçurent une dose corporelle totale de plus de 3 Gy.

② Le 26 avril 1986, à Tchernobyl en Ukraine, lors d'une expérience sur un réacteur, en raison de plusieurs inobservations grossières des prescriptions de service, une "excursion critique" se produisit, avec explosion du combustible. Le réacteur fut détruit et un incendie de graphite ne put être maîtrisé qu'à grand'peine. Le réacteur de conception russe ne comportait pas d'enceinte de confinement!

On estime qu'en gros $5-8 \times 10^{18}$ Bq de matériel fissile furent libérés. 30 personnes perdirent la vie lors de l'accident, dont 28 des suites de l'irradiation. 134 personnes furent hospitalisées pour le traitement d'un syndrome d'irradiation aigu. Il s'agissait avant tout de personnes ayant participé à la lutte contre l'incendie.

116 000 personnes vivant à proximité du réacteur furent évacuées en 1986. La dose moyenne de rayonnement encouru par celles-ci est estimée à 0,06 Sv. Des évacuations ultérieures ont encore suivi. De nombreuses personnes ont quitté la zone sinistrée de leur propre chef. D'importantes surfaces sont considérées actuellement encore comme fortement contaminées. Les conséquences sur la population ont été catastrophiques. De nombreuses personnes exposées à l'âge enfantin lors de l'accident ont été atteintes depuis d'un cancer de la thyroïde. On n'a par contre pas constaté à ce jour d'augmentation des leucémies. L'avenir seul dira si une augmentation significative d'autres cancers peut encore survenir.

③ Le 13 septembre 1987, des brocanteurs découvrirent dans une ancienne clinique désaffectée à Goiânia au Brésil un appareil de radiothérapie au césium-137 abandonné sur place. Ils retirèrent la source de son enveloppe de protection et ouvrirent les capsules contenant le césium-137 en poudre. Ils

revendirent certaines parties métalliques de la source. La poudre de césium-137, émettant une fluorescence bleue dans l'obscurité, devint une attraction dans le quartier. Elle fut distribuée en petites quantités à leurs parents et connaissances par les brocanteurs. Ces personnes se frictionnèrent fréquemment la peau avec cette poudre, ce qui occasionna ultérieurement des brûlures locales. Le contact des mains souillées avec la nourriture entraîna des incorporations. Ce n'est que lorsqu'apparurent des troubles gastro-intestinaux qu'un médecin fut consulté. Lorsque des parties de l'appareil de radiothérapie volé furent apportées au cabinet du médecin, l'explication correcte des troubles présentés devint évidente et on put prendre les mesures nécessaires (fig. 12, 13).

L'épisode de Goiânia constitue la plus importante irradiation accidentelle jamais publiée, à l'exception de Tchernobyl. Des contrôles dosimétriques furent effectués chez plus de 112 000 personnes. 249 d'entre elles avaient été contaminées par voie externe ou interne (fig. 14). Une bonne partie fut d'abord hébergée dans des tentes sur un terrain de football. 20 personnes furent hospitalisées et il y eut 4 décès (dans un intervalle de 4 semaines. Dose totale estimée: 4,5–6 Gy). Les travaux de nettoyage et de décontamination durèrent jusqu'en mars 1988. Le quartier contaminé occupait une surface d'environ 1 km². La décontamination, parfois la destruction, impliquait des maisons, des places, des véhicules etc. Un lieu de stockage définitif pour les déchets radioactifs n'a pas encore été trouvé.

4 Le 20 septembre 1999, un accident de criticalité impliquant l'uranium enrichi est survenu dans l'usine de conversion de Tokaimura au Japon. Deux employés étaient occupés au traitement de lots d'oxyde d'uranium. Ils ne respectèrent pas les consignes de travail en traitant de plus grandes quantités d'uranium par charge que les maxima autorisés. Il en résulta une réaction en chaîne incontrôlée avec forte émission de neutrons et de rayons gamma durant 20 heures environ. Les deux employés quittèrent le local lorsqu'ils entendirent l'alarme de leur moniteur gamma. Il n'y eut ni explosion ni dommage aux bâtiments. Les 3 personnes les plus directement impliquées reçurent des doses de respectivement 10–20 GyEq, 6–10 GyEq et 1,2–5,5 GyEq¹. L'employé le plus atteint décéda le 21 décembre 1999. Pour l'environnement, l'atteinte consista surtout en irradiation directe (rayons gamma et neutrons) avec diminution exponentielle jusqu'à une distance de 800 mètres durant la phase de criticalité². Les doses les plus élevées aux limites de l'aire industrielle se montaient à 4,5 mSv/h pour les neutrons et à 0,84 mSv/h pour les rayons gamma. 160 personnes occupant 39 domiciles furent évacuées, la dose reçue par habitant étant évaluée à 2,6–9 mSv.

1 GyEq: Lors d'irradiation combinée impliquant des neutrons, on tient compte de l'efficacité biologique de la dose afin de pouvoir la mettre en rapport avec la part imputable aux rayons gamma.

2 Criticalité: situation lors de laquelle une réaction en chaîne autoentretenu et dégageant de l'énergie est en cours.



Figure 10: Travaux de déblaiement sur le toit du réacteur détruit

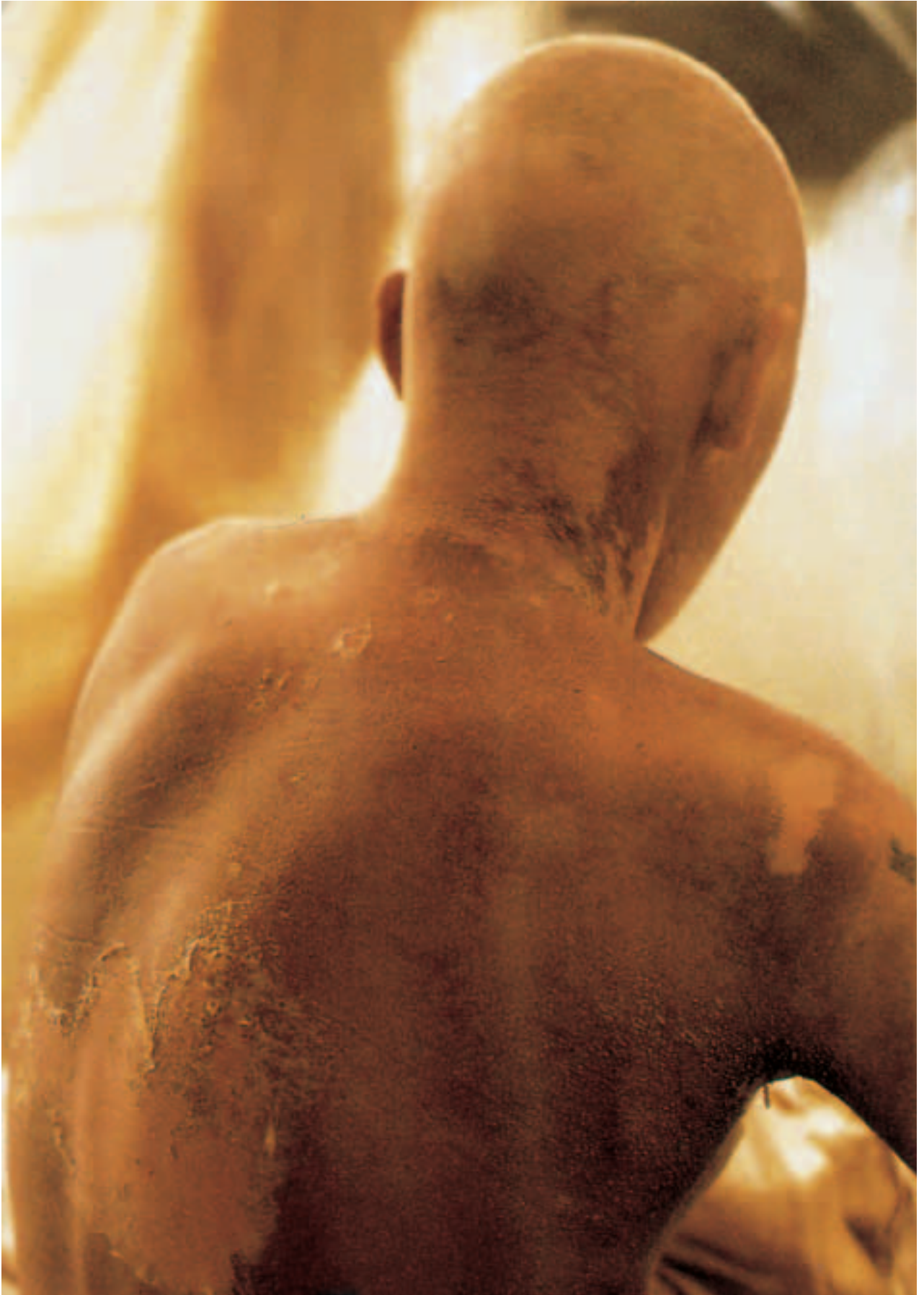


Figure 11: Lésions cutanées (beta-burns) et dépilation chez une victime d'irradiation



Figure 12: La clinique de radiothérapie abandonnée de Goiânia



Figure 13: Brûlure radique chez une des victimes



Figure 14: Contrôles dosimétriques chez les habitants du quartier (stade olympique)

Quelques leçons à tirer des accidents décrits ci-dessus

- 1 Lors des accidents de personnes seules, il s'agit fréquemment de professionnels travaillant déjà avec les rayons. Il sont le plus souvent en mesure de communiquer des informations capitales au médecin. Les blessures sont surtout des brûlures locales dues aux rayons.
- 2 La perte de sources radioactives constitue un danger tout particulier pour la population générale. Les médecins et les enquêteurs tâtonnent souvent longtemps avant de poser le diagnostic.
- 3 Presque tous les accidents mortels sont dus à des irradiations externes importantes et non pas à des incorporations! Pour les victimes de Tchernobyl également, l'irradiation interne par le matériel radioactif incorporé n'a joué qu'un rôle minime dans le décours fatal. Aucun cas d'incorporation ayant entraîné à elle-seule le décès n'a été enregistré à ce jour.
- 4 La prévention des irradiations accidentelles repose sur deux bases: Premièrement, la promotion de la compétence technique des personnes qui utilisent professionnellement du matériel radioactif. Deuxièmement, la sécurité dans la construction et le mode opérationnel des installations et appareils munis de sources radioactives ou produisant des radiations ionisantes.

5. Définition et classification des irradiations accidentelles

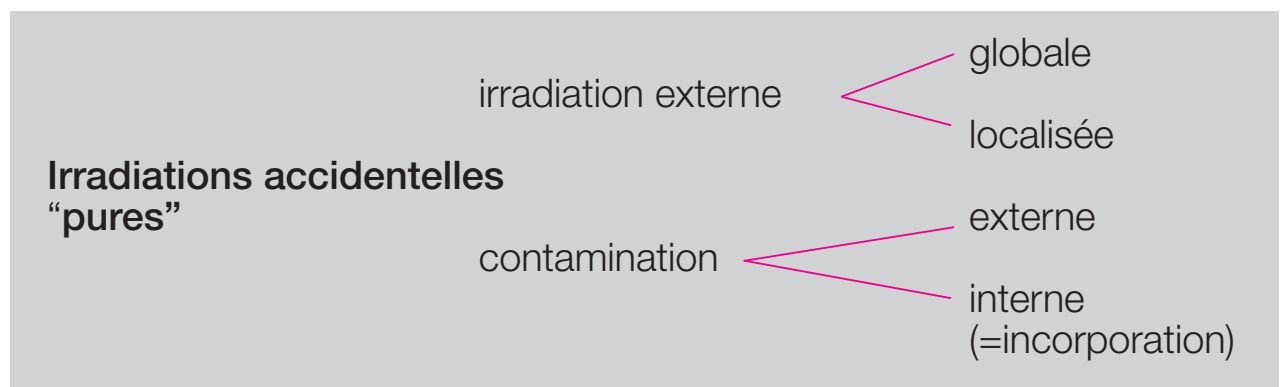
Par irradiation accidentelle, il faut entendre une exposition subite, involontaire et de relativement courte durée aux radiations ionisantes.

Des irradiations intenses et brèves ont un effet biologique totalement différent des irradiations chroniques de faible intensité.

La durée d'exposition à une dose de rayonnement donnée est déterminante pour ses conséquences: Un Gy réparti sur une année n'entraîne aucune manifestation clinique; accumulé de façon aiguë, il entraîne un syndrome d'irradiation.

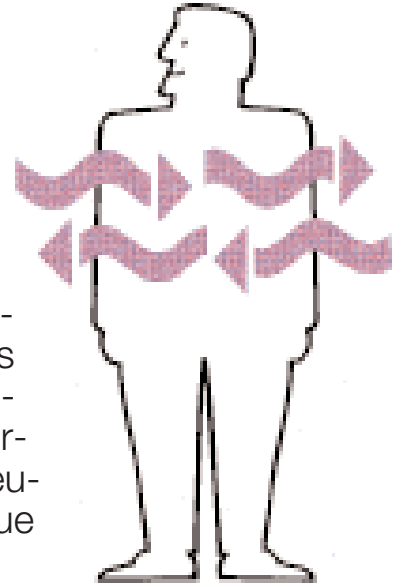
Les irradiations accidentelles se divisent en deux catégories principales: accident par irradiation externe et accident par contamination. Cette distinction est importante car, dans le premier cas, l'irradiation cesse avec la sortie du champ de radiations, alors qu'elle persiste dans le deuxième (contamination de la surface corporelle par des substances radioactives ou incorporation de celles-ci). En outre, les médecins et les secouristes devront toujours prendre des mesures de protection personnelle lorsqu'ils auront à faire à des patients contaminés, ce qui est superflu en cas d'irradiation externe. Les irradiations peuvent être associées à des lésions "conventionnelles" (brûlures, plaies, traumatismes mécaniques). On parle alors de lésions combinées.

Classification des irradiations accidentelles



"Lésions combinées" = irradiation accidentelle aiguë + lésions "conventionnelles"

6. Irradiations externes



Pour illustrer l'importance des irradiations externes lors d'accidents, il suffit de rappeler que toutes les irradiations graves connues à ce jour ont été causées pratiquement sans exception par ce type d'exposition. Les contaminations et les incorporations peuvent il est vrai poser de gros problèmes thérapeutiques, mais l'expérience montre qu'elles n'occasionnent que rarement des lésions graves.

Les irradiations externes se répartissent en deux groupes: les expositions globales de l'organisme et celles d'organes isolés. Cette distinction est nécessaire, car clinique et traitement diffèrent notablement. Pour les irradiations globales de l'organisme, de petites doses suffisent déjà à produire des symptômes (dès 1 Gy). Les mêmes doses localisées aux extrémités n'entraînent par contre aucun trouble.

Le traitement des patients ayant subi une irradiation externe ne comporte aucun risque pour le médecin et le personnel sanitaire.

6.1 Irradiation externe globale

6.1.1 Formes, gravité, symptômes

En fonction de la dose, le syndrome d'irradiation revêt divers aspects. On en distingue aujourd'hui 3 formes:

1. La forme hématologique, pour les doses de 1 à 6 Gy.
2. La forme gastro-intestinale, pour les doses de 6 à 20 Gy.
3. La forme neurologique, respectivement cardio-vasculaire, pour les doses dépassant 20 Gy.

En-dessous de 1 Gy, on n'observe pas de symptômes.

De même que pour une infection virale, on distingue respectivement une **phase de prodromes, de latence, de manifestation malade et de guérison.**

6.1.1.1 Syndrome d'irradiation hématologique (1–6 Gy)

Prodromes

Durée 24–48 heures. 15 à 60 minutes déjà après l'irradiation se produisent salivation, nausées et vomissements. Plus la dose est élevée, plus les symptômes surviennent précocément et plus ils persistent.

Phase de latence

Durée 2 à 3 semaines. Les patients se sentent relativement bien durant cette période.

Manifestation malade

Durée 2 à 3 semaines. Fièvre, faiblesse, malaise, infections, tendance aux saignements. Dès 3 Gy, de plus: perte des cheveux, radiodermite et ulcères des muqueuses.

Guérison

Sa durée dépend de la gravité du tableau malade. Pour les doses de 3–4 Gy, environ la moitié des patients décèdent dans les 4–6 semaines en raison de l'insuffisance médullaire.

6.1.1.2 Syndrome d'irradiation gastro-intestinal (6–20 Gy)

Prodromes

Voir la forme hématologique. Durée éventuelle jusqu'à 72 heures.

Phase de latence

Durée 3 à 5 jours.

Manifestation malade

Diarrhées massives, parfois sanglantes, avec pertes liquidiennes et électrolytiques. Etat de choc. S'y ajoutent les infections et les hémorragies comme dans la forme hématologique. En raison des lésions de la muqueuse, l'organisme est envahi par les bactéries intestinales.

Guérison

La survie n'est possible que pour les doses inférieures, même avec des soins optimaux. Lors d'évolution fatale, la mort survient 2–3 semaines après l'accident.

6.1.1.3 Le syndrome d'irradiation neurologique (plus de 20 Gy)

On ne peut plus distinguer de prodromes et de latence. Le patient perd pratiquement immédiatement connaissance avec choc cardio-circulatoire. Le décès survient dans les 2 jours.

On estimait antérieurement que c'était l'atteinte du système nerveux central qui était responsable de cette évolution; on incrimine actuellement plutôt une insuffisance cardiaque, sur la base d'études histologiques (nécrose du myocarde).

6.1.2 Diagnostic

6.1.2.1 Anamnèse

Les symptômes clés sont les nausées et les vomissements dans les premières heures suivant l'irradiation. Leur présence doit faire admettre une dose supérieure à 1 Gy. Plus leur apparition est précoce et plus ils durent, plus l'irradiation potentielle est élevée. Attention aux réactions "faussement positives" d'origine psychique! Des irradiations localisées de l'abdomen peuvent également provoquer nausées et vomissements!

6.1.2.2 Status

Durant la phase prodromale, les signes cliniques d'une irradiation sont minces. La présence d'un érythème cutané dans les deux premiers jours indique une irradiation massive, dépassant 3 Gy. Cet érythème est dû à une réaction vasculaire de la peau (amines vaso-actives?) et peut évoluer par vagues. Après une latence de 2–3 semaines, survient une radiodermite avec chute des cheveux (au-dessus de 3 Gy). Les muqueuses présentent également des signes inflammatoires, voire des ulcérations (conjonctives, gencives, langue, amygdales). Comme les irradiations globales sont souvent inhomogènes, la localisation des lésions cutanées peut contribuer de manière importante à l'élucidation de la situation accidentelle.

Au stade des manifestations malades, la clinique est déterminée par les effets respectifs sur la moelle osseuse et sur l'épithélium intestinal (hémorragies et infections avec fièvre, prostration, évent. diarrhées et choc).

6.1.2.3 Examens de laboratoire

Formule sanguine

L'estimation de la dose de rayonnement, et par là la classification dans les diverses catégories de syndromes d'irradiation, s'effectue aujourd'hui encore par le biais de la formule sanguine, du moins durant les tout premiers jours.

Les lymphocytes sont les cellules sanguines les plus radio-sensibles. Leur nombre chute déjà pour des doses dépassant 0,5 Gy, et ceci dès les premières 24 heures. En se basant sur les observations faites à Tchernobyl, on peut établir la relation dose-effet suivante:

Irradiation corporelle globale (en Gy)	Numération lymphocytaire (après 4–7 jours)
1,0	~ 1000/mm ³
3,0	~ 400/mm ³
6,0	~ 100/mm ³

Pour les doses élevées, la chute est plus rapide et peut atteindre une proportion importante quelques heures déjà après l'accident. Des valeurs de 100 à 200 lymphocytes par mm^3 dans les premières 24 heures impliquent une irradiation léthale.

Les **granulocytes** sont le plus souvent augmentés dans les premières 24 heures, suite à une réaction de stress. Ensuite, pour des doses supérieures à 1 Gy, on assiste à une chute régulière de leur nombre. Pour les doses de 2–5 Gy, on note après 2 semaines une légère remontée transitoire (“abortive rise”). Si cette dernière fait défaut, il faut admettre une dose ayant dépassé 5 Gy. La phase critique de granulocytopenie se situe entre la deuxième et la cinquième semaine.

Le nombre de **thrombocytes** suit celui des granulocytes. A l'inverse des granulocytes, on n'observe pas d’“abortive rise” pour les plaquettes. Pour des doses de 1 Gy, il faut s'attendre à une chute aux environs de $100\,000/\text{mm}^3$ après 30 jours. La rapidité de la chute augmente en proportion de la dose. Pour 6 Gy, la thrombocytopenie est de l'ordre de $10\,000/\text{mm}^3$ après 10 à 15 jours déjà.

En raison de la longue durée de vie de 120 jours et de la radiorésistance des **érythrocytes** mûrs, il n'y a pas d'emblée de problème d'anémie, à moins que celle-ci ne soit causée par une diathèse hémorragique, à craindre si les plaquettes chutent en-dessous de $20\,000/\text{mm}^3$.

Le nombre de **réticulocytes** connaît une diminution parallèle à celle des granulocytes et des thrombocytes.

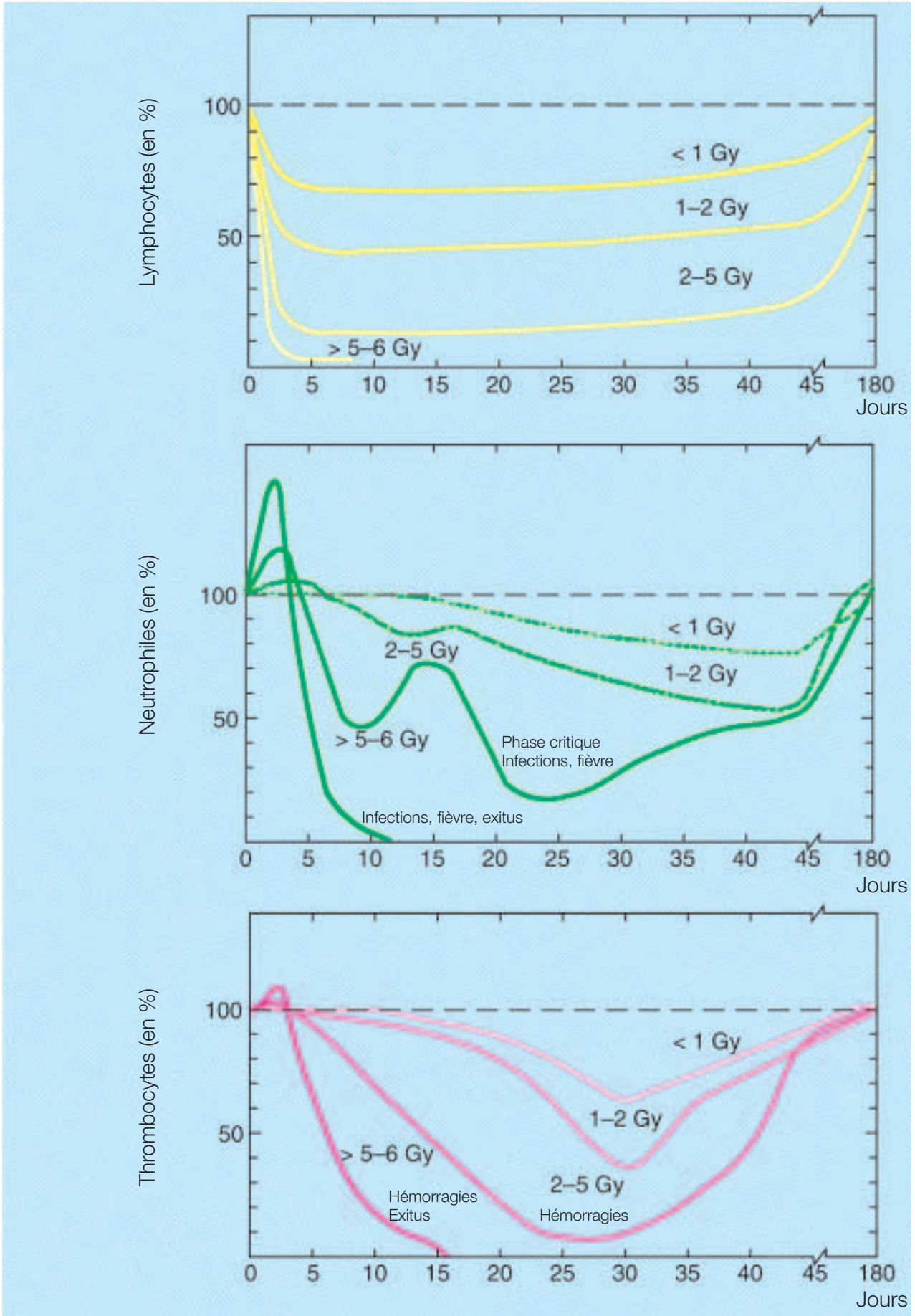


Figure 15: Modifications sanguines après irradiation globale

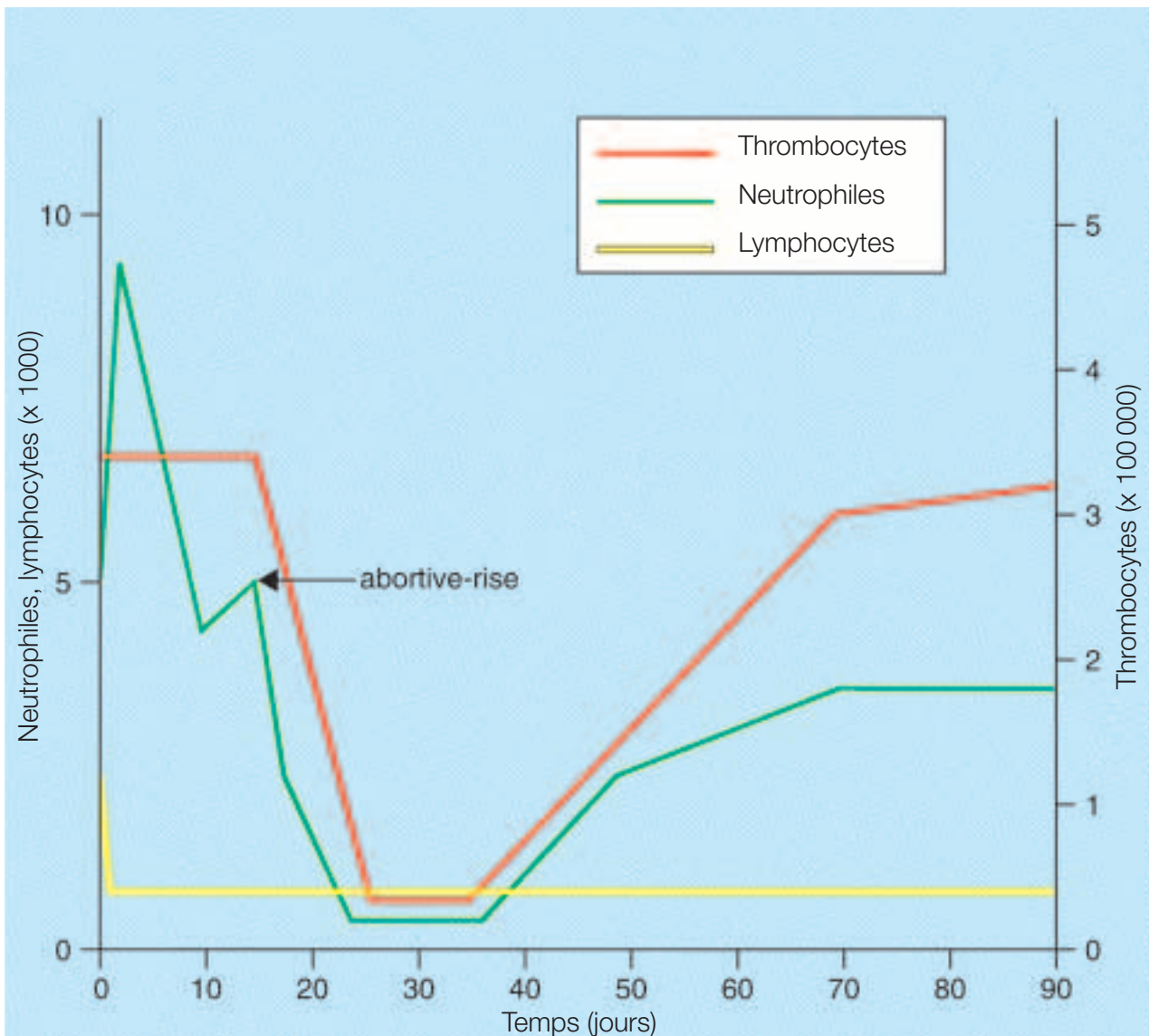


Figure 16: Evolution hématologique typique après une irradiation globale de 2–3 Gy

Dosimétrie biologique

Il existe diverses possibilités de “mesurer” ou du moins d’évaluer l’intensité de l’irradiation sur du matériel biologique. La meilleure méthode reste encore l’analyse chromosomique sur culture de lymphocytes, en matière de sensibilité et de spécificité. L’irradiation provoque des ruptures et des aberrations chromosomiques. Ces modifications peuvent être comptées et corrélées au moyen d’abaques aux doses d’irradiation correspondantes. L’aberration chromosomique la plus caractéristique est le “dicentre” (2 centromères) (fig. 17). Le seuil de sensibilité de cette méthode se situe à 0,1 Gy.

Les premiers résultats peuvent être obtenus au plus tôt 3 ou 4 jours après la prise de sang. Pour la procédure exacte, voir l'annexe II.

La prise de sang devrait survenir le plus tôt possible après l'accident, car les lymphocytes nécessaires à la culture disparaissent rapidement du flux sanguin lors d'irradiations importantes.

L'analyse chromosomique est également souvent recommandée lors d'irradiation localisée, en dernier ressort pour exclure une irradiation totale significative!

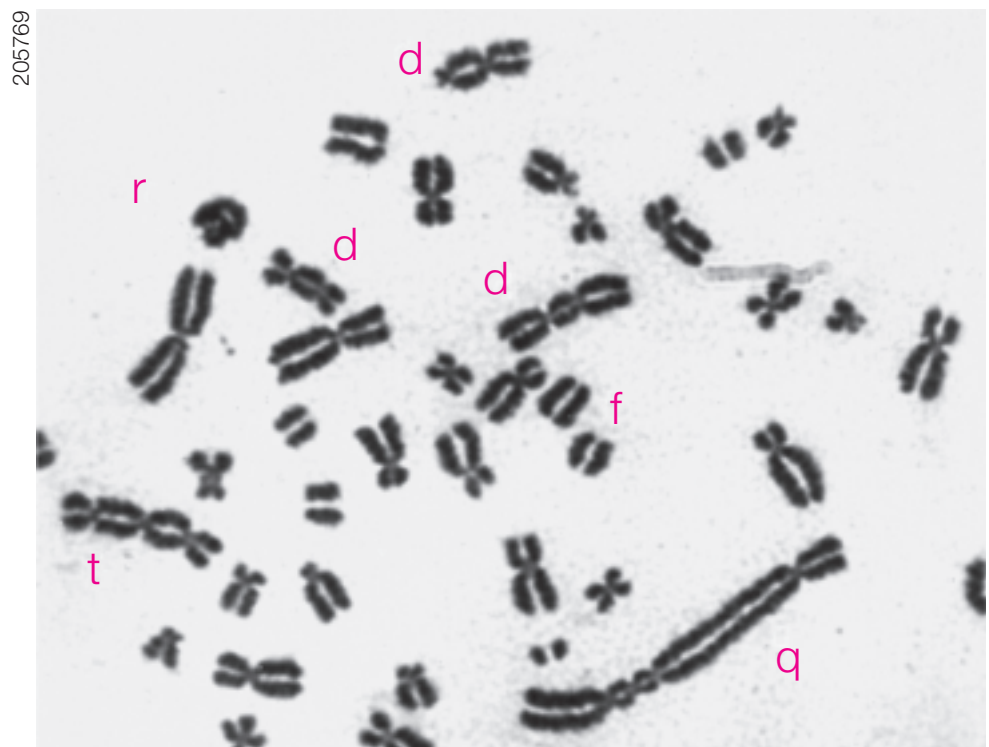


Figure 17: Aberrations chromosomiques après irradiation
(Dr. D. Lloyd, NRPB Chilton, Didcot, GB)
d = dicentre f = fragment
t = tricentre r = anneau (avec centre)
q = quadricentre

Sperme

Bien que la spermatogenèse soit déjà inhibée de manière démontrable à partir de doses de 0,15 Gy, l'analyse spermatologique n'est guère utilisable pour l'évaluation d'une irradiation globale de l'organisme. Une irradiation relativement localisée de la zone inférieure du tronc peut provoquer les

mêmes altérations. En outre, il faut deux échantillons: un premier entre le 1^{er} et le 40^{ème} jour après l'accident et un deuxième après 60 jours. Un pareil délai enlève toute utilité diagnostique à cette méthode en matière de triage.

Divers

Lorsqu'on craint des irradiations dépassant 2 Gy, il faut déterminer les groupes sanguin et HLA, en vue de transfusions ultérieures de dérivés sanguins (granulocytes), voire d'une greffe de moëlle HLA-compatible. Cette typisation doit s'effectuer le plus tôt possible après l'accident, puisqu'elle nécessite elle aussi des lymphocytes.

Anamnèse	Status	Laboratoire
0,1 Gy		Aberrations chromosomiques (immédiates)
0,15 Gy		Sperme ↓ 20 Mio/ml (dans les 7 semaines)
0,5 Gy		Hématopoïèse ↓ (lymphocytopénie en qq. heures)
1,0 Gy	Nausées, vomissements (dans les 48 heures)	
Début du syndrome d'irradiation hématologique (en l'espace de quelques semaines)		
3,0 Gy	Erythème cutané (heures à jours) Dépilation (en 2-3 semaines)	
6,0 Gy	Début du syndrome d'irradiation gastro-intestinal avec diarrhées sanglantes (en quelques jours)	
dès 20 Gy	Syndrome d'irradiation neurologique avec perte de connaissance, crampes, choc (en quelques heures)	
↓ ↓ ↓		
LD ₅₀ entre 3 et 4 Gy		

Figure 18: Irradiation globale aiguë: symptomatologie

6.1.3 Mesures à prendre, traitement

La démarche thérapeutique dépend de la forme et de la gravité du syndrome d'irradiation. Le traitement est purement symptomatique. La précipitation n'est pas de mise, les lésions d'organes n'étant attendues qu'après quelques jours ou quelques semaines.

Lors d'atteintes "conventionnelles" surajoutées (brûlures, plaies, traumatismes mécaniques), les mesures de réanimation visant au maintien des fonctions vitales (respiration et circulation) doivent toujours rester prioritaires.

Dans tous les cas: prise de sang pour formule complète avec détermination de l'hémoglobine, des leucocytes (avec différenciation), des thrombocytes, ainsi que pour l'analyse chromosomique et la typisation HLA. Les formules sanguines devraient être répétées à intervalles de quelques heures.

Pour les femmes en âge de procréer, un test de grossesse s'impose.

Les patients ayant subi des doses de 1 à 12 Gy devraient être hospitalisés, si le nombre de lits disponibles le permet. Ce sont eux qui peuvent attendre le plus d'un traitement optimal. Comme règle simple, on peut décréter qu'il faut hospitaliser les patients souffrant de nausées et de vomissements dans les heures suivant l'accident (dose > 1 Gy).

Pour les doses dépassant 12 Gy, l'issue est fatale malgré un traitement optimal. L'hospitalisation de cette catégorie de victimes dépendra du nombre de lits disponibles. Lors d'une catastrophe, ils ne pourront pas être hospitalisés. La priorité sera donnée à la lutte contre la douleur.

Le traitement hospitalier se fixera trois buts:

- Traitement du choc
- Prophylaxie et traitement des infections
- Substitution sanguine

La validité de la greffe de moelle est actuellement très discutée. Comme la victime a été souvent irradiée de manière inhomogène, il subsiste généralement des reliquats de cellules médullaires viables. Afin de prévenir une réaction de rejet du greffon, il faudrait en principe irradier le patient avec une dose complémentaire léthale ou lui administrer des cytostatiques, une décision à laquelle on ne se résoudra que difficilement!

Si on devait cependant prendre une telle décision, la transplantation devrait s'effectuer dans les 7 à 10 jours afin que la régénération cellulaire intervienne déjà à l'acmé de la granulocytopenie (2–5 semaines).

6.2 Irradiation externe localisée

Les syndromes d'irradiations décrits plus haut ne s'observent pas lors d'expositions accidentelles localisées. Les zones corporelles touchées sont le siège de brûlures par rayonnement. Selon la force de pénétration des rayons, seule la peau est touchée, ou également les tissus sous-jacents. Les rayons bêta, de faible portée, sont essentiellement absorbés par la peau où ils causent des brûlures. Les rayons X mous sont également retenus par la peau (brûlures radiologiques). Les rayons gamma et les rayons X durs lèsent par contre non seulement la peau mais avant tout les tissus profonds. Les rayons alpha ne causent en général pas de brûlures (portée trop faible). Le seuil d'apparition des lésions cutanées se situe à 3 Gy (décours des lésions cutanées: voir fig. 19).

6.2.1 Diagnostic

6.2.1.1 Anamnèse

Lors d'irradiations particulièrement intenses (supérieures à 10 Gy), le sujet peut ressentir une sensation de chaleur mal définie dans la zone concernée. Une enquête sur le déroulement de l'accident peut livrer des indications précieuses sur l'étendue et l'intensité de l'irradiation.

6.2.1.2 Status

Dans les premières heures déjà suivant l'accident, on peut voir apparaître un érythème fugace. Après deux à trois semaines se constitue le tableau de la radiodermite, avec érythème durable, vésiculation, dépilation et nécrose. Lors d'irradiations modestes, le stade de l'érythème n'est pas dépassé. Pour les doses de 3 à 7 Gy, la dépilation est transitoire (régénération du follicule pileux après 2–4 semaines), elle est par contre définitive au dessus de 7 Gy.

Les brûlures causées par les radiations sont en général plus douloureuses que les lésions thermiques car elles vont en profondeur, touchant les vaisseaux et les terminaisons nerveuses sous-cutanées.

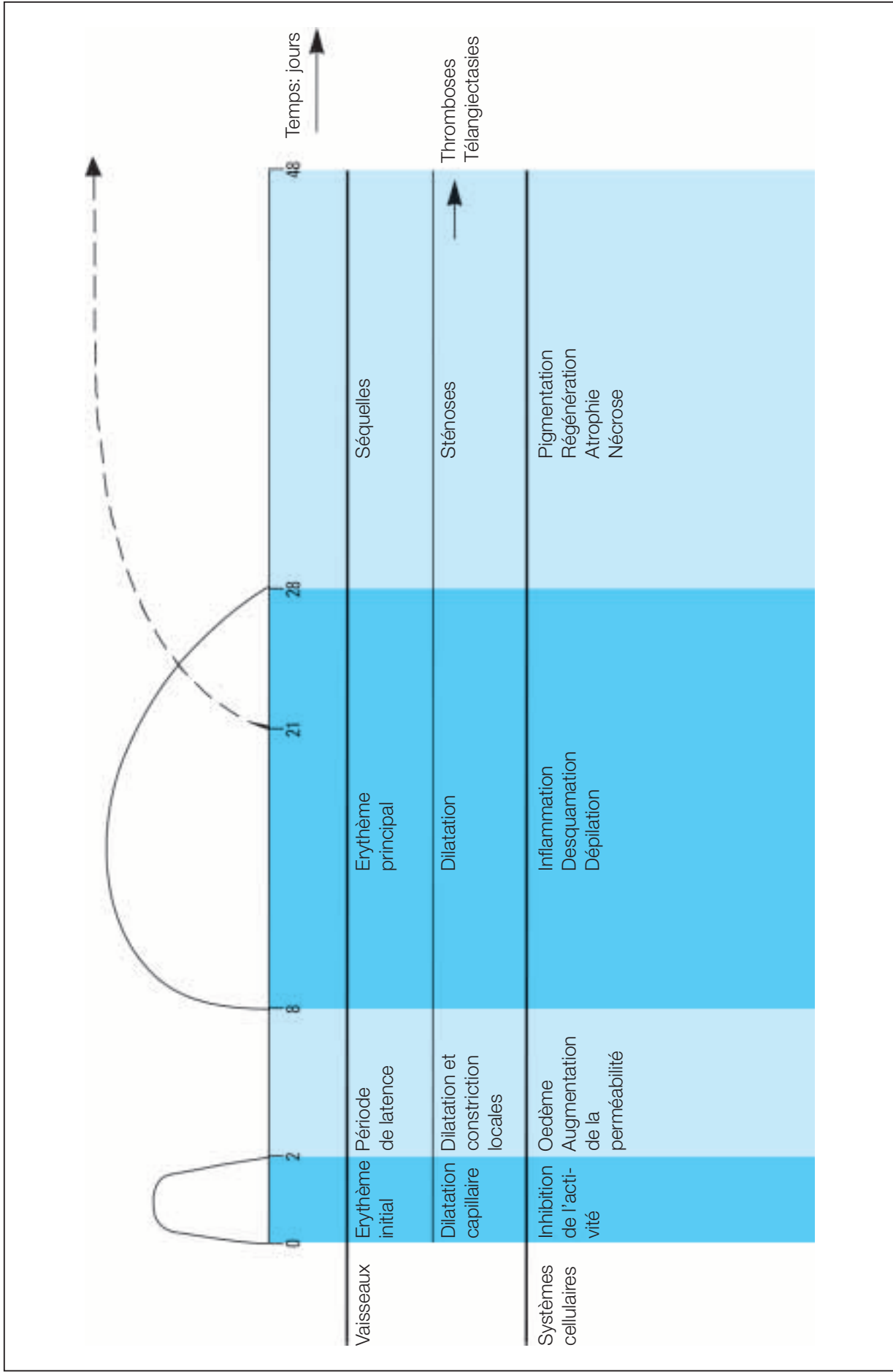


Figure 19: Radiodermite aiguë

6.2.1.3 Examens de laboratoire

Il n'existe aucun examen de laboratoire permettant de diagnostiquer une irradiation localisée. On recommande cependant une prise de sang pour formule sanguine et analyse chromosomique, afin d'exclure une irradiation globale.

Chez les femmes en âge de procréer, on effectuera un test de grossesse en fonction de la localisation de l'irradiation.

6.2.2 Traitement

Les irradiations localisées ne mettent pratiquement jamais la vie en danger (à l'exception de celles du crâne ou du cœur). Lors d'irradiations locales circonscrites, le traitement des brûlures cutanées est au premier plan. Comme, à l'inverse des lésions thermiques, les radiodermites ne surviennent pas immédiatement, mais deux à trois semaines après l'accident, il faut avant tout veiller à ne pas provoquer de lésions additionnelles des zones concernées. On évitera ainsi les irritations mécaniques (vêtements serrés) ou chimiques (savons agressifs). La brûlure radique doit être traitée comme son équivalent thermique. Comme elle est en général plus profonde et provoque des lésions du lit vasculaire sous-jacent, il faut s'attendre à des difficultés en cas de greffes cutanées.

6.3 Lésions combinées

Les manifestations des irradiations sont souvent associées à des traumatismes conventionnels. Les brûlures, plaies et lésions mécaniques aggravent ainsi le pronostic. La nocivité des radiations peut notamment augmenter les risques de choc cardio-vasculaire, d'infections et d'hémorragies, ralentir la cicatrisation des plaies et la consolidation des fractures.

Important: Lors de lésions combinées, le traitement des blessures conventionnelles a en général la priorité.

Si une intervention chirurgicale est nécessaire, on observera les règles suivantes:

- aussi rapidement que possible
- aussi simplement que possible
- limitation aux interventions d'urgence
- prophylaxie précoce du choc et des infections

Résumé: Comportement face aux irradiations externes

1. Les mesures vitales de premiers secours applicables aux “lésions conventionnelles” ont priorité absolue. Les manifestations propres aux irradiations externes surviennent pratiquement toujours après quelques jours, voire quelques semaines. Leur traitement ne revêt donc aucun caractère de première urgence.
2. Dans une perspective diagnostique, il faut effectuer immédiatement une formule sanguine complète, avec thrombocytes. Dans la grande majorité des cas, une analyse chromosomique et une typisation HLA s'imposent également.
3. Lors d'irradiations générales dépassant 1 Gy, une hospitalisation est indiquée. Les symptômes suggérant une irradiation de cette importance sont l'apparition de nausées et de vomissements durant les deux premiers jours et une chute des lymphocytes en dessous de $1000/\text{mm}^3$.
4. Chez les femmes en âge de procréer, il faut effectuer un test de grossesse.
5. Le traitement des victimes d'irradiations externes est purement symptomatique: lutte contre le choc, prophylaxie anti-infectieuse, substitution sanguine, traitement local des brûlures.

Nota bene: Il n'existe aucun danger d'irradiation pour les médecins et les secouristes en cas d'irradiation externe.

7. Contamination

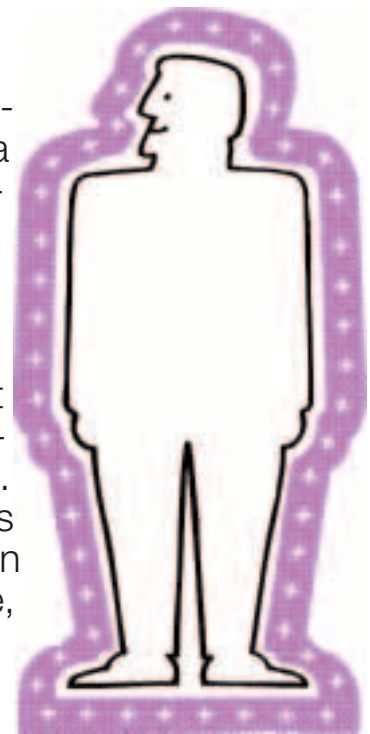
Par contamination, on entend une “pollution” de l’organisme par des substances radioactives. Si ces substances pénètrent dans le corps par voie orale, percutanée ou par inhalation, on parle de contamination interne ou d’incorporation. Si la souillure radioactive se limite à la peau, on emploie le terme de contamination externe ou de contamination tout court.

7.1 Contamination externe

7.1.1 Généralités

Les contaminations externes n’ont pratiquement jamais d’effets nocifs directs (exception: émetteurs bêta → beta-burns). Le danger de telles contaminations réside bien davantage dans le passage de la substance radioactive à l’intérieur du corps, réalisant une incorporation et rendant son élimination difficile.

Les contaminations accidentelles importantes sont exceptionnelles. Des contaminations faibles et insignifiantes surviennent par contre relativement souvent, p. ex. dans des centrales nucléaires ou des laboratoires de recherche. Elles sont en général éliminées de façon compétente par le personnel sanitaire d’entreprise, sans faire appel au médecin. Si un patient en provenance d’une telle entreprise devait requérir une assistance médicale spécifique, on peut admettre qu’une éventuelle contamination aurait déjà été au minimum sur place l’objet d’une décontamination grossière. Le médecin praticien ne se trouvera



donc pratiquement jamais dans l'obligation de traiter un patient contaminé. Cette situation n'est cependant pas totalement exclue en cas d'urgence grave ou lors de la contamination d'une blessure.

7.1.2 Appréciation de la contamination

Le degré et l'étendue d'une contamination de la surface corporelle ne peuvent être appréciés sans le recours à des instruments de mesure adaptés au radionuclide concerné. Le médecin est contraint de faire appel au physicien nucléaire qui dispose des instruments requis. Souvent l'entreprise où est survenue la contamination est capable de procéder aux mesures nécessaires. La Suva, la DSN* et le PSI** sont également à disposition sur demande. La division de médecine nucléaire d'un hôpital proche peut également être mise à contribution.

Selon la gravité de la contamination, il convient d'apprécier si une décontamination est vraiment nécessaire et, si oui, sous quelle forme (décontamination grossière à l'eau et au savon ou décontamination fine additionnelle avec produits chimiques?). Il est recommandé ici aussi de consulter les institutions citées plus haut.

7.1.3 Décontamination

Un bon principe est d'appliquer les mêmes règles qu'en présence d'une contamination bactérienne, aussi bien pour les soins au patient que pour sa protection personnelle. Des gants de caoutchouc, un masque chirurgical et une blouse adéquate sont tout à fait suffisants. Il n'existe pas de risque d'irradiation aiguë pour le médecin (des contaminations d'une telle gravité n'étant guère envisageables!). Les habits de protection sont simplement là pour éviter une contamination personnelle!

Le traitement doit débiter au niveau des orifices corporels (nez, bouche) en raison du risque d'incorporation.

* DSN = Division principale de la sécurité des installations nucléaires (adresse en annexe)

** PSI = Institut Paul-Scherrer (adresse en annexe)

Les contaminations siégeant sur les habits et sur la peau doivent être éliminées par des mesures simples, ablation des vêtements et lavage de la peau à l'eau et au savon. Lors de l'ablation des vêtements, il faut prendre garde que la poussière contaminée ne se répande pas dans l'entourage, par des mouvements intempestifs. Dans certains cas, il vaudra donc mieux couper les habits. Pour la décontamination des muqueuses, on utilisera de l'eau ou une solution saline physiologique.

Il faut absolument éviter que lors de la décontamination, des zones cutanées intactes soient à leur tour souillées! Les blessures non contaminées et les érosions cutanées doivent donc être couvertes par une protection imperméable (plastique, pansement rapide hermétique) **avant** les opérations de décontamination. Lors de contamination localisée des extrémités et de la tête, on veillera à ce que l'eau de rinçage ne coule pas sur d'autres parties du corps. Les cheveux souillés seront coupés aux ciseaux. Pour le nettoyage de zones circonscrites, on ira toujours de l'extérieur vers l'intérieur.

Le principe fondamental est de ne pas léser davantage la peau lors de la décontamination: une érosion des téguments doit être évitée à tout prix (risque d'incorporation).

Si la contamination ne peut être levée par un lavage simple, on parle de contamination **fixée**. Dans la majorité des cas, ce type de contamination ne constitue un problème ni pour le patient ni pour le médecin. Les contaminations fixées ne peuvent s'étendre plus loin! Même lors de formes rebelles, le renouvellement rapide de l'épithélium aboutit au nettoyage de la surface contaminée en quelques jours.

Les radioisotopes de l'iode et le tritium peuvent être résorbés par la peau. La contamination se transforme alors en incorporation. Lors de contaminations massives par l'I-131 ou l'I-125, avec des taux d'activité de 500 000 Bq et davantage, des comprimés d'iodure devraient être administrés le plus rapidement possible (voir aussi le chapitre "Prophylaxie par l'iode"). Les personnes massivement contaminées par le tritium doivent être douchées. Il faut cependant relever que le tritium entraîne des niveaux d'incorporation relativement faibles. Pour atteindre des doses de l'ordre du mSv, il faut une incorporation d'environ 10^8 Bq.

Lors de contaminations de blessures, on pratiquera de la manière suivante: Provoquer un saignement abondant par la pose d'une manchette compressive (pour les extrémités). Rincer abondamment la blessure avec une solution physiologique. Procéder à un débridement large.

Les distances de transport des patients contaminés devraient être raccourcies au maximum, pour éviter une dissémination de la contamination. Si,

pour des raisons vitales, un patient doit être transporté sans décontamination préalable sur place, on veillera à bien le recouvrir de draps.

Les matériaux contaminés, tels que les habits, les cheveux, les eaux de lavage etc., devraient être si possible recueillis dans des récipients en plastique et adressés à un centre pouvant procéder à une mesure des radiations.

Il est possible d'obtenir des dosimètres pour le personnel d'assistance médicale auprès de la Suva, de la DSN ou du PSI. Les centrales nucléaires sont également en mesure d'équiper en dosimètres le personnel médical venant de l'extérieur.

En cas de catastrophes, les démarches complexes exposées ci-dessus sont naturellement inapplicables. Il incombe à la direction de l'organisme de secours de déterminer la procédure à appliquer. **Une décontamination grossière à l'eau et au savon est cependant toujours indiquée.**

Résumé: Comportement face aux contaminations

1. Estimation de l'étendue et de l'importance de la contamination:
N'est possible que par un spécialiste disposant des appareils de mesure nécessaires (entreprise en cause, Suva, DSN, PSI. Event. division de médecine nucléaire).
2. But du traitement: Nettoyage de la contamination afin d'éviter les lésions cutanées et l'incorporation. Il faut en outre éviter dans la mesure du possible toute irradiation secondaire et dissémination de quantités même minimales de radioactivité.
3. Décontamination:
Le traitement de la contamination des régions proches du nez et de la bouche est prioritaire!
Rincer les muqueuses à l'eau ou à la solution physiologique. Enlever les habits contaminés et laver la peau à l'eau et au savon. Prendre absolument garde de ne pas contaminer secondairement des zones non touchées (blessures etc.) lors de la procédure de décontamination. Couvrir d'abord les blessures non contaminées avec des pansements rapides imperméables. Ménager la peau et ne pas créer d'abrasions.
Si nécessaire, couper les cheveux aux ciseaux.
Laisser telles quelles les contaminations fixées (mesurer leur radioactivité à intervalles réguliers).
Faire saigner les blessures contaminées par la pose d'une manchette compressive. Rincer abondamment à la solution physiologique et débrider largement.
Recueillir les matériaux contaminés tels que les habits, les cheveux, les eaux de lavage dans des récipients en plastique et en faire mesurer la radioactivité par le physicien.
4. En cas de contamination massive par l'iode radioactif, administrer sans délai les comprimés d'iodure.
5. Raccourcir autant que possible les distances de transport des patients contaminés. Lors du transport, isoler les zones non encore décontaminées par des tissus imperméables.

Divers:

Des gants de caoutchouc, un masque chirurgical et une blouse imperméable suffisent à la protection personnelle (fig. 20).

On appliquera les mêmes principes qu'en présence d'une contamination bactérienne.

En cas de besoin, des dosimètres pour le personnel médical sont disponibles auprès de la Suva, de la DSN ou du PSI.



Figure 20: Infirmière portant une tenue de protection

7.2 Contamination interne (incorporation)

7.2.1 Généralités

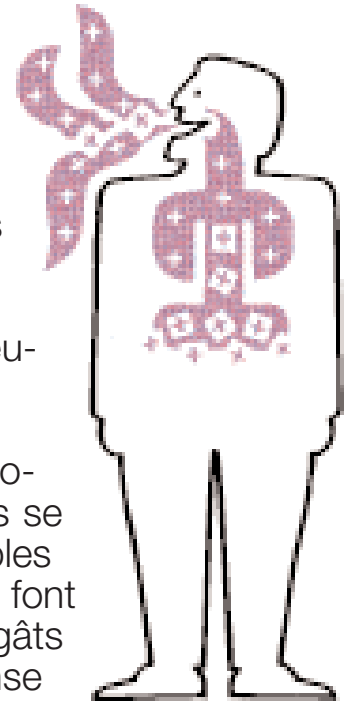
On entend par incorporation la pénétration de substances radioactives dans l'organisme lui-même (par les voies respiratoires, la bouche ou par une blessure). Certains radionuclides (p.ex. certains composés iodés et le tritium) peuvent également être résorbés par la peau intacte.

Les radionuclides incorporés suivent des voies pharmacocinétiques très différentes, selon la forme chimique où ils se trouvent. Le premier point est de savoir s'ils sont résorbables ou non (solubilité!). Les radionuclides non résorbables ne font que traverser le tractus digestif et ne produisent de dégâts que s'ils émettent un rayonnement suffisamment intense pour léser l'épithélium digestif.

Des particules non résorbables peuvent séjourner très longtemps au niveau des poumons et y produire une irradiation dangereuse. C'est surtout le cas des émetteurs alpha peu solubles comme le plutonium.

Les radionuclides incorporés et transportés par le flux sanguin se déposeront selon leur liaison chimique dans certains organes-cibles (iode: thyroïde, radium et phosphore: squelette), où ils pourront donner lieu à des lésions radiologiques en fonction de leur demi-vie biologique et physique (fibrose du parenchyme, cancérogénèse).

Expérience faite, les incorporations ne sont pas d'une intensité telle que l'on doive craindre des irradiations aiguës: à ce jour, aucun accident n'a entraîné un syndrome d'irradiation aigu par le fait de la seule incorporation. **Cependant, ce sont justement les incorporations qui exigent du médecin une réponse prompte et adéquate.** Il s'agit d'empêcher le radionuclide en cause de se fixer sur l'organe-cible. Une décontamination secondaire de l'organe atteint n'est en général pas possible, ou seulement de manière très incomplète.



7.2.2 Appréciation de l'incorporation

Sans connaissance exacte du type de substance, de la quantité résorbée, du moment et de la voie de pénétration (orale, respiratoire etc.), il n'est pas possible de traiter correctement une incorporation. La collaboration d'un physicien nucléaire (Suva, DSN, PSI, division de médecine nucléaire) est indispensable, comme lors de contaminations externes.

Les incorporations peuvent souvent être mesurées par un anthropogammamètre (whole body counter). De tels appareils de mesure existent en Suisse au PSI et dans les hôpitaux cantonaux de Bâle et de Genève.

Pour l'appréciation d'une incorporation d'iode radioactif, un compteur thyroïdien du type présent dans les unités de médecine nucléaire est suffisant. Si une mesure directe n'est pas possible, des analyses d'urine et de selles sont nécessaires.

Lors d'incorporations, il faut toujours procéder, parallèlement à la mesure de la quantité du radionuclide accumulé, à l'investigation fonctionnelle de l'organe-cible, afin d'en dépister une éventuelle atteinte. Par exemple: iode – thyroïde; phosphore et tritium – moelle osseuse (formule sanguine). Des contrôles ultérieurs réguliers sont nécessaires.

7.2.3 Désintoxication

L'indication à une désintoxication et les moyens d'y parvenir dépendent de nombreux facteurs. Il n'est guère possible de donner ici des directives générales. Si une telle procédure est envisagée, il convient d'en peser les risques par rapport aux bénéfices. Pour les personnes d'un certain âge, on se rappellera que le risque cancérigène est relativement faible, en raison des décennies nécessaires à l'induction des tumeurs. On consultera les spécialistes de médecine nucléaire ou la division de médecine du travail de la Suva.

Lors d'absorption orale, l'administration d'un émétique et d'un laxatif est pratiquement toujours indiquée. La diminution du temps de transit intestinal réduira l'irradiation de la muqueuse et l'éventuelle résorption au sein de l'organisme.

Il faut rappeler que la toxicité purement chimique de certains radionuclides (p.ex. l'uranium) dépasse de loin leur radiotoxicité! Des mesures de désintoxication sont donc souvent indiquées pour ce motif essentiellement.

Il existe toute une liste de produits de désintoxication pour les divers radionuclides. Quelques principes actifs figurent au tableau 3.

Les procédures de désintoxication peuvent prendre plusieurs jours ou semaines. Après les mesures de premiers secours, il faut donc prévoir un traitement dans une unité de médecine nucléaire.

En cas de simple suspicion d'une forte incorporation ($\geq 37 \times 10^4$ Bq) d'un isotope radioactif de l'iode, il faut administrer immédiatement la prophylaxie par l'iode, sans comptage thyroïdien préalable (voir chapitre correspondant). Le moment de l'administration de cet iode dit stable (par opposition à l'iode radioactif, instable) est capital pour le succès du traitement.

Il va de soi que les urines, les selles, éventuellement les vomissements seront toujours recueillis dans des récipients en plastique et adressés au radiophysicien pour comptage.

Radionuclide	Antidote (principe actif)
Césium	Bleu de Prusse
Iode	Iodure de potassium
Plutonium, transuranes et lanthanides	Calcium-DTPA
Radium	Phosphate d'aluminium
Strontium	Phosphate d'aluminium
Strontium, radium	Sulphate de baryum
Uranium	Bicarbonate de sodium

Tableau 3: Exemples d'antidotes (principes actifs) pour la désintoxication des radionuclides. Assortiment d'antidotes: v. Annexe I.

Résumé: Marche à suivre lors d'incorporation

1. Appréciation du type et de la gravité de l'incorporation:
Un diagnostic précis sur le type, l'importance et la localisation de l'incorporation n'est possible qu'avec l'aide du radiophysicien.
→ Prendre contact avec la Suva, la DSN, le PSI ou une division de médecine nucléaire.
2. But du traitement:
Les incorporations de radionuclides ne mettent pratiquement jamais la vie directement en danger. Cependant, une désintoxication **rapide** s'impose, car, une fois fixé sur son organe-cible, le radionuclide ne peut en général que difficilement en être délogé. Une irradiation prolongée, même à faible dose, de l'organe-cible, peut provoquer sa fibrose ou sa cancérisation.
3. Traitement:
Lors d'absorption orale, on peut en général administrer sans autre un émétique et éventuellement un laxatif, sans attendre de confirmation diagnostique ultérieure. On tentera cependant de poser d'abord un diagnostic précis.
Lors de suspicion d'incorporation d'iode radioactif, il faut mettre en route sans tarder la prophylaxie par l'iode.
Les fonctions des organes-cibles seront contrôlées: valeur de départ, puis contrôles ultérieurs, p. ex. iode-131: thyroïde.
Selon le type de radionuclide concerné, on dispose de divers agents de désintoxication (antidotes). Ces agents et leur dosage pour les principales intoxications figurent dans le tableau 3.
Tous les excréta (urine, selles, vomissements, etc.) doivent être recueillis dans des récipients de plastique et adressés au radiophysicien pour comptage.

7.3 Préservation du matériel contaminé

Lors de l'élucidation d'une irradiation accidentelle, le médecin a également la tâche de "préserver les indices". On entend par là la conservation et l'étiquetage corrects du matériel dont la dosimétrie peut s'avérer utile à l'évaluation de l'irradiation réellement encourue. On doit pouvoir également compter sur la collaboration des spécialistes de l'entreprise concernée.

Les habits, les excréta et les frottis de muqueuse (nez, gorge lors de contaminations aéroportées) devraient être adressés pour comptage au radiophysicien dans des récipients en plastique (v. chapitre contamination/incorporation).

Cette "préservation d'indices" s'avère également utile lors d'irradiations externes, sans contamination ni incorporation. Des bijoux ou des montres portés peuvent subir une dosimétrie (par thermoluminescence). Lors d'irradiations par neutrons (centrales nucléaires), certains matériaux non radioactifs peuvent le devenir secondairement (on parle d'"activation"). Après une irradiation par les neutrons, le sang, les cheveux et les ongles peuvent émettre une radiation mesurable par le radiophysicien.

Il est important, en plus des données concernant l'identité du sujet, d'indiquer la date, l'heure exacte et la provenance corporelle précise sur le récipient.

Lieux de contact: Suva, DSN, PSI, évent. divisions de médecine nucléaire.

8. Divers

8.1 Prophylaxie par l'iode

Depuis la catastrophe de Tchernobyl, la prophylaxie par l'iode est également une notion connue des profanes. Si l'on administre à temps et en quantité excédentaire de l'iode "stable", la captation et l'accumulation d'iode radioactif "instable" accidentellement libéré peuvent être empêchées ou fortement réduites ("blocage par l'iode" de la thyroïde). Les isotopes radioactifs de l'iode (iode "instable" se transformant en autres nuclides) ne jouent pas seulement un rôle dans le secteur des centrales nucléaires comme produits de fission de l'uranium, mais ils sont aussi fréquemment utilisés comme traceurs techniques et de recherche (radioimmunoassays). Ils sont en outre employés en médecine comme moyens diagnostiques et thérapeutiques pour les affections de la thyroïde.

8.1.1 But de la prophylaxie par l'iode

Accumulés dans la thyroïde, les isotopes radioactifs de l'iode produisent une irradiation de la glande et peuvent provoquer ainsi un cancer ou une hypothyroïdie. Pour aboutir à une hypothyroïdie, il faut de très hautes doses qui, expérience faite, ne sont pratiquement jamais atteintes lors d'accidents. **La prophylaxie par l'iode est donc avant tout une prophylaxie du cancer de la thyroïde.** Comme des années et le plus souvent des dizaines d'années sont nécessaires à son apparition, ce sont surtout les femmes enceintes, les enfants et les adolescents qui sont en danger et qui requièrent particulièrement cette prévention. A quoi s'ajoute éventuellement une susceptibilité généralisée accrue de l'organisme jeune au développement de cancers.

Après l'accident de Tchernobyl, on a noté dès 1990 une forte augmentation des cancers de la thyroïde chez les personnes vivant dans cette grande région et qui avaient été exposées durant leur enfance. La fréquence en était déjà augmentée de 30 fois en 1990, par rapport à la moyenne des 10 der-

nières années avant 1996. A fin 1998, on enregistrait une augmentation de cinq à six fois des cancers de la thyroïde pour le groupe d'âge de 19 à 64 ans. Les doses reçues par la thyroïde de ces personnes ont été en partie élevées. Dans la région la plus touchée de Gomel, on estime à 1 Sv la dose moyenne à la thyroïde des enfants âgés de moins de 7 ans vivant en milieu rural au moment de l'accident. Un accroissement du nombre de cancers de la thyroïde est cependant aussi rapporté dans des régions où l'exposition était nettement plus faible. On en tire aujourd'hui la conclusion que la prophylaxie par l'iode se justifie pour des doses d'irradiation plus basses que ce que l'on admettait précédemment.

Il en va autrement pour les personnes plus âgées: chez elles, le risque d'effets secondaires de la prophylaxie par l'iode est plus élevé, les affections thyroïdiennes étant plus fréquentes avec l'âge. En outre, les personnes les plus âgées ne survivront pas assez longtemps pour être atteintes d'un cancer, en raison de son temps de latence prolongé.

8.1.2 Mécanisme d'action

L'administration d'iode stable vise les buts suivants:

- a) L'iode radioactif résorbé est dilué au niveau sanguin par l'iode stable administré en excès. La thyroïde se voit proposer une quantité relative plus élevée d'iode stable que radioactif.
- b) La thyroïde est saturée en iode stable. Elle ne peut plus capter davantage d'iode, radioactif ou non.
- c) L'inclusion de iodure dans les molécules organiques (hormones) est provisoirement inhibée par l'excès d'iode (effet Wolff-Chaikoff). L'iodure libre est plus rapidement éliminé que l'iode hormonal.

8.1.3 Indications

La prophylaxie par l'iode est indiquée dans tous les cas où une incorporation d'iode radioactif a déjà eu lieu ou est imminente et ne peut être prévenue par d'autres moyens. C'est le cas lorsqu'une exposition à des aérosols d'iode ou une ingestion d'aliments contaminés ne peuvent être évitées par l'évacuation de la population ou par l'éviction des produits alimentaires souillés.

Après un accident nucléaire, le niveau de l'irradiation par les isotopes de l'iode est dominé par l'I-131 (demi-vie 8.04 jours). La décision d'administrer les comprimés d'iodure de potassium distribués par la Confédération en

cas d'accident nucléaire est prise par la Centrale nationale d'alarme (CENAL) et transmise de façon appropriée par un dispositif d'alarme (voir annexe V).

Ce type de prophylaxie n'est toutefois indiqué que lorsque la gravité de l'irradiation thyroïdienne et le risque cancérigène résultant sont plus à craindre que les effets secondaires attendus lors de l'administration d'iode stable. Le tableau 4 présente quelques "limites d'intervention", telles qu'elles sont recommandées par divers pays et organisations.

Les limites les plus basses s'appliquent surtout aux femmes enceintes, aux enfants et aux adolescents, pour lesquels cette prophylaxie est tout particulièrement indiquée, comme nous l'avons indiqué au chapitre 8.1.1.

Les différences de limites recommandées entre pays et organisations proviennent notamment du taux d'approvisionnement de base des diverses populations (d'où découle une affinité plus ou moins grande de la thyroïde pour l'iode radioactif), ainsi que d'une appréciation variable du risque cancérigène et de celui d'effets secondaires du traitement.

En Suisse, on recommande une limite d'intervention de 30–300 mSv. (OROIR: Ordonnance relative à l'organisation d'intervention en cas d'augmentation de la radioactivité du 26 juin 1991).

En cas d'urgence, ces limites ne jouent qu'un rôle très limité: D'une part, le facteur temps est si déterminant pour l'efficacité que l'on ne saurait différer l'administration des comprimés d'iode dans l'attente d'évaluations compliquées et imprécises des doses en présence. D'autre part, pour une prophylaxie courte, limitée à 1 ou 2 jours, il n'y a pas à craindre d'effets secondaires sérieux (exception: les cas très rares d'allergie vraie à l'iode et de vasculite hypocomplémentaire ou de dermatite herpétiforme de Duhring).

8.1.4 Moment de l'administration d'iode

La condition sine qua non d'efficacité de la prophylaxie par l'iode est le juste moment d'administration! Idéalement, il faudrait administrer l'iode stable avant l'exposition redoutée à l'iode radioactif (mais, si possible, pas plus de 12 heures avant). 5 heures après l'exposition, la prophylaxie a encore un sens, mais ensuite son efficacité doit être relativisée, à moins que l'exposition à l'iode radioactif persiste (voir fig. 21).

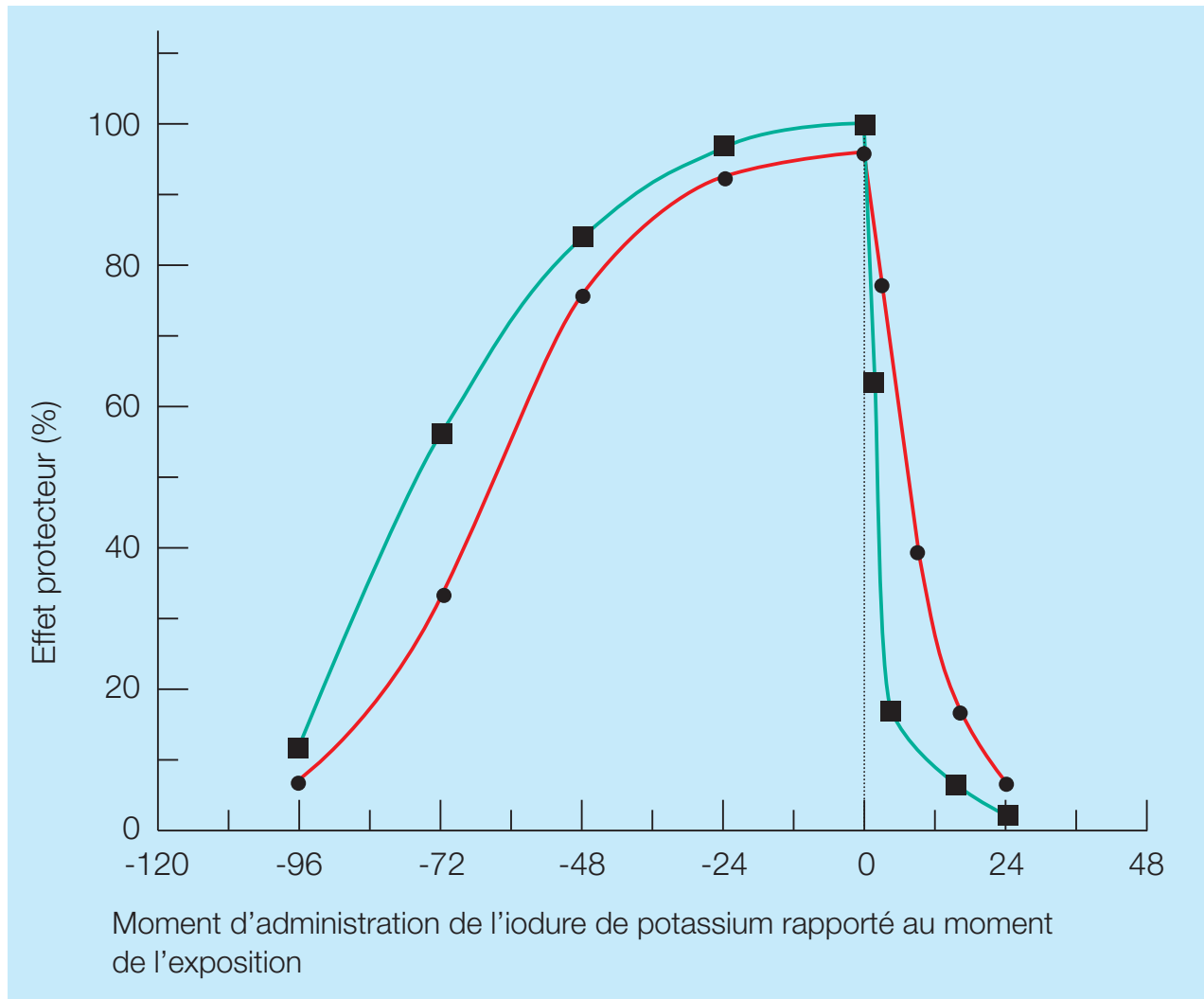


Figure 21: Rôle du facteur temporel dans la prophylaxie par l'iodure de potassium

Dans les régions comme la Suisse où il ne règne pas de déficit nutritif en iode, l'efficacité de la prophylaxie par l'iode est encore de 50% 6 heures après l'incorporation d'I-131 (courbe rouge). Le déficit en iode péjore l'efficacité de cette prophylaxie (courbe verte). On se référera à la publication de P.B. Zanzonico et D.V. Becker (voir annexe V).

8.1.5 Dosage

Groupe d'âges	Iodure de potassium	Comprimés
Naissance – 1 mois	16,2 mg	1/4 comp. dose uni.
1 mois – 3 mois	32,5 mg	1/2 comp. par jour
3 ans – 12 ans	65,0 mg	1 comp. par jour
plus de 12 ans Adultes	130,0 mg	2 comp. par jour
Femmes enceintes et allaitantes	130,0 mg	2 comp. par jour dur. max. 2 jour

Tableau 4: Schéma de dosage

Pour les nourrissons, la fraction de comprimé nécessaire peut être dissoute dans un peu de liquide et administrée à la cuillère. On peut également utiliser une solution fraîche de cristaux d'iodure de potassium, sous forme de gouttes.

Bien que le nourrisson reçoive une dose d'iode supplémentaire par le lait maternel, une prophylaxie est recommandée également pour la mère et pour l'enfant.

Chez les patients intolérants à l'iode, on peut recourir en lieu et place des comprimés d'iode au perchlorate de sodium ou de potassium qui inhibe la captation d'iode de façon compétitive. L'administration de thyrostatiques qui empêchent l'incorporation de l'iode dans la thyrosine pourrait aussi entrer en considération dans certains cas.

Péremption: Les comprimés d'iodure de potassium se conservent au minimum 8 ans, dans un endroit frais et sec.

8.1.6 Contre-indications

- Allergie connue à l'iode
- Vasculite hypocomplémentaire et dermatite herpétiforme de Duhring
- Eventuelles maladies thyroïdiennes (selon la gravité et surtout lors de prophylaxie prolongée par l'iode stable)

8.1.7 Effets secondaires

La prophylaxie par l'iode stable est considérée comme une mesure sûre et en général inoffensive.

Lors d'administration courte de 1 à 2 jours, des effets secondaires ne sont guère à craindre (en dehors des contre-indications absolues mentionnées ci-dessus). Les manifestations indésirables mentionnées ci-dessous n'ont été observées que pour des dosages élevés (évent. intraveineux!) durant des périodes prolongées.

Les effets secondaires de l'iode se classent en deux catégories principales: thyroïdiens et extrathyroïdiens. **Les manifestations extrathyroïdiennes de nature allergique** sont: angioedème, maladie sérique, périartérite noueuse et diverses atteintes cutanées.

Les réactions non allergiques (pratiquement seulement pour des doses élevées et des périodes prolongées) concernent:

- la peau: légères réactions acnéiformes
- les muqueuses: goût métallique, irritation de la bouche, de la gorge, du nez et des yeux, toux productive
- les glandes salivaires: sialorrhée, tuméfaction des parotides et des glandes sous-maxillaires (oreillons à l'iode)
- le système digestif: anorexie, gastrite, diarrhée

Les symptômes disparaissent quelques jours après la fin de l'administration d'iode.

Effets secondaires thyroïdiens: Goitre et hypothyroïdie (à craindre surtout chez le nouveau-né) ou hyperthyroïdie (surtout dans les régions d'endémie de manque d'iode et chez les porteurs d'un adénome toxique etc.).

Rappelons qu'en cas d'administration prolongée d'iode, il faut surveiller l'apparition d'un goitre et le status hormonal chez les nouveaux-nés et les patients souffrant d'une maladie thyroïdienne.

8.2 Grossesse et irradiation accidentelle

L'embryon est particulièrement sensible aux agents tératogènes de toutes natures, notamment aux radiations ionisantes. Lors d'exposition accidentelle d'une femme enceinte, il se pose naturellement la question du risque encouru. Il peut s'agir de malformations, de retard mental ou de risque cancérigène. L'atteinte d'un organe dépend du type d'exposition et du stade de développement de l'embryon ou du fœtus. Pour le risque cancérigène, on ne dispose actuellement pas de données scientifiques sûres. On admet cependant qu'il est élevé d'un multiple en comparaison de celui encouru par un adulte.

Il existe des connaissances plus précises sur les retards mentaux post-irradiation. Les données sur les survivants des explosions nucléaires d'Hiroshima et de Nagasaki indiquent que le développement embryonnaire du cerveau peut être perturbé entre la 8^e et la 15^e semaine suivant la conception. Ces données sont cependant entachées par certains doutes. Il est possible que les très mauvaises conditions (famines, épidémies) ayant suivi les explosions nucléaires aient péjoré l'effet des rayonnements. Toujours est-il que des biologistes réputés dans le domaine des irradiations admettent qu'il existe un risque pour l'embryon lorsque celui-ci est exposé entre la 8^e et la 15^e semaine de grossesse à une irradiation aiguë de plusieurs Centisievert.

Il n'est pas possible de formuler des recommandations générales sur l'interruption de grossesse. Il faut d'une part être attentif aux dispositions légales qui règlent actuellement l'interruption de grossesse. D'autre part, la situation d'une femme enceinte exposée à une irradiation significative doit être l'objet d'une approche pluridisciplinaire. Si une irradiation dépassant 20 mSv au niveau de l'abdomen est suspectée, il faut tenter d'obtenir des estimations de doses plus précises. Si l'exposition de l'utérus, et donc du fœtus, dépasse 100 mSv, un examen pluridisciplinaire du cas s'impose. Cette appréciation prendra en compte la situation de la femme enceinte et de son entourage psychosocial. Les détails de cette procédure se trouvent dans la prise de position de la Commission fédérale de la protection contre les radiations (CPR) du 16.6.98 (Exposition de la femme enceinte aux rayonnements ionisants: risques pour le fœtus). Il est bien évident que seule une détermination fiable des doses encourues peut servir de base à un tel processus décisionnel.

Même dans les cas où aucune lésion foetale n'est à craindre, le médecin doit avoir un entretien approfondi avec la future mère, de manière à dissiper toute crainte infondée.

Résumé:

L'embryon dans le sein maternel est particulièrement sensible aux irradiations.

Selon les connaissances les plus récentes, il n'existe un danger sérieux qu'après des irradiations aiguës de plusieurs Centisievert, lorsque celles-ci surviennent entre la 8^e et la 15^e semaine de grossesse.

La question d'une interruption de grossesse doit être abordée de manière approfondie avec la future mère, avec la collaboration d'un spécialiste (médecine nucléaire, radiothérapie).

Lors de toute irradiation accidentelle d'une femme enceinte, le médecin traitant doit avoir un entretien détaillé avec la future mère, même s'il n'y a pas à craindre de lésion de l'embryon.

8.3 Fertilité

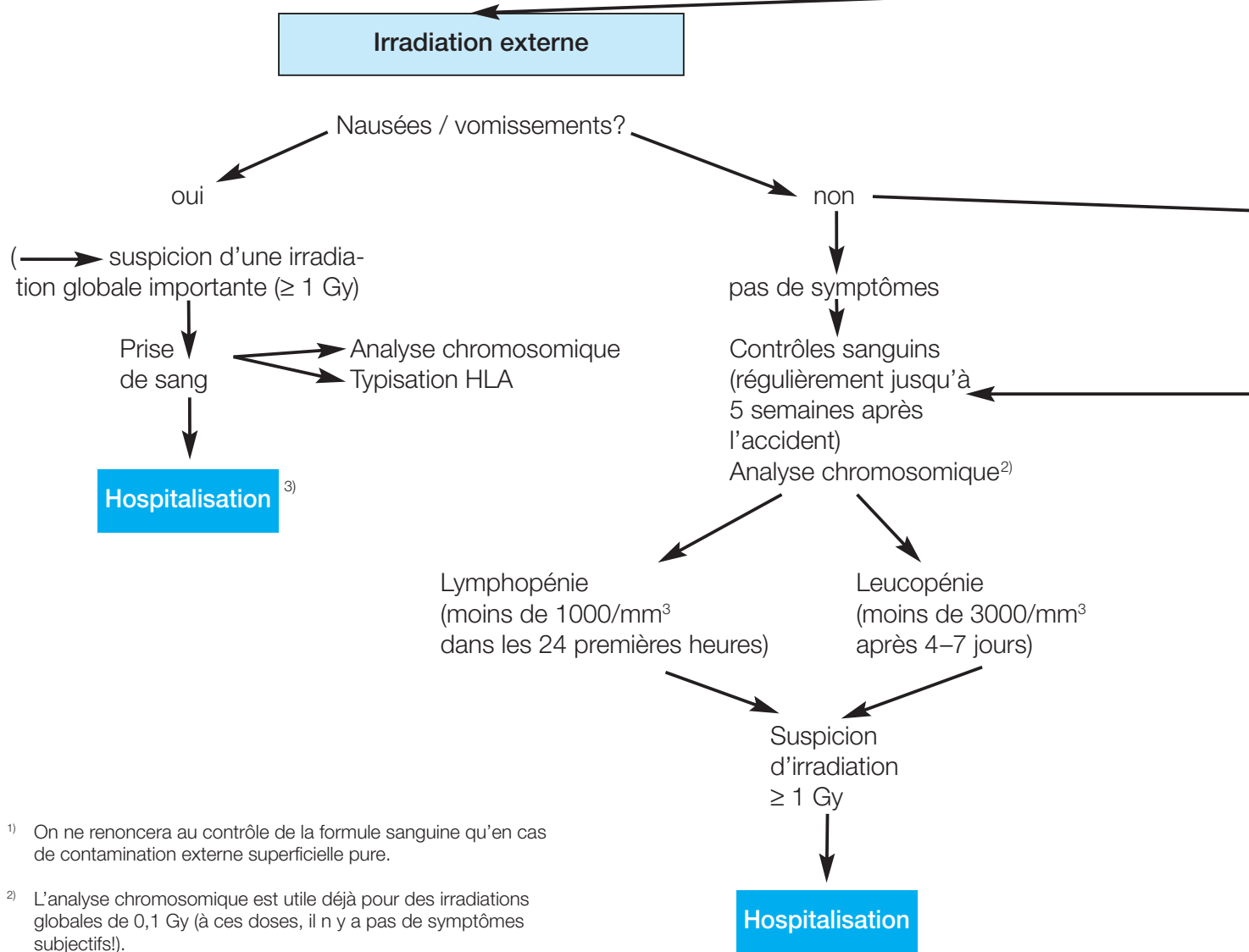
Une dose d'irradiation aiguë égale ou supérieure à 0,15 Gy peut produire chez l'homme une stérilité temporaire. Dès 3,5 Gy, il faut s'attendre à une stérilité définitive.

L'irradiation des testicules produit une diminution de la spermatogenèse, mais pas de la production hormonale. Il n'y a donc pas d'impuissance, aussi longtemps que la vie n'est pas mise en danger par l'importance de l'irradiation.

Si la stérilité masculine n'est que temporaire, il faut tenir compte du fait que l'inhibition maximale de la spermatogenèse ne survient souvent qu'après des mois et que la récupération peut n'être totale qu'après une année.

Pour la femme, l'âge joue un rôle important en cas d'irradiation: les femmes d'âge moyen, au stock ovocytaire déjà réduit, sont plus vulnérables. Il n'y a pas de contradiction à ce que l'on insiste tout particulièrement sur la protection des femmes jeunes, en rappelant que c'est avant tout une éventuelle grossesse qui est visée par cette mesure. Une stérilité définitive peut survenir chez la femme déjà pour des irradiations aiguës de 2,5 Gy.

9. Mesures à prendre lors d'une irradiation accidentelle



¹⁾ On ne renoncera au contrôle de la formule sanguine qu'en cas de contamination externe superficielle pure.

²⁾ L'analyse chromosomique est utile déjà pour des irradiations globales de 0,1 Gy (à ces doses, il n'y a pas de symptômes subjectifs).

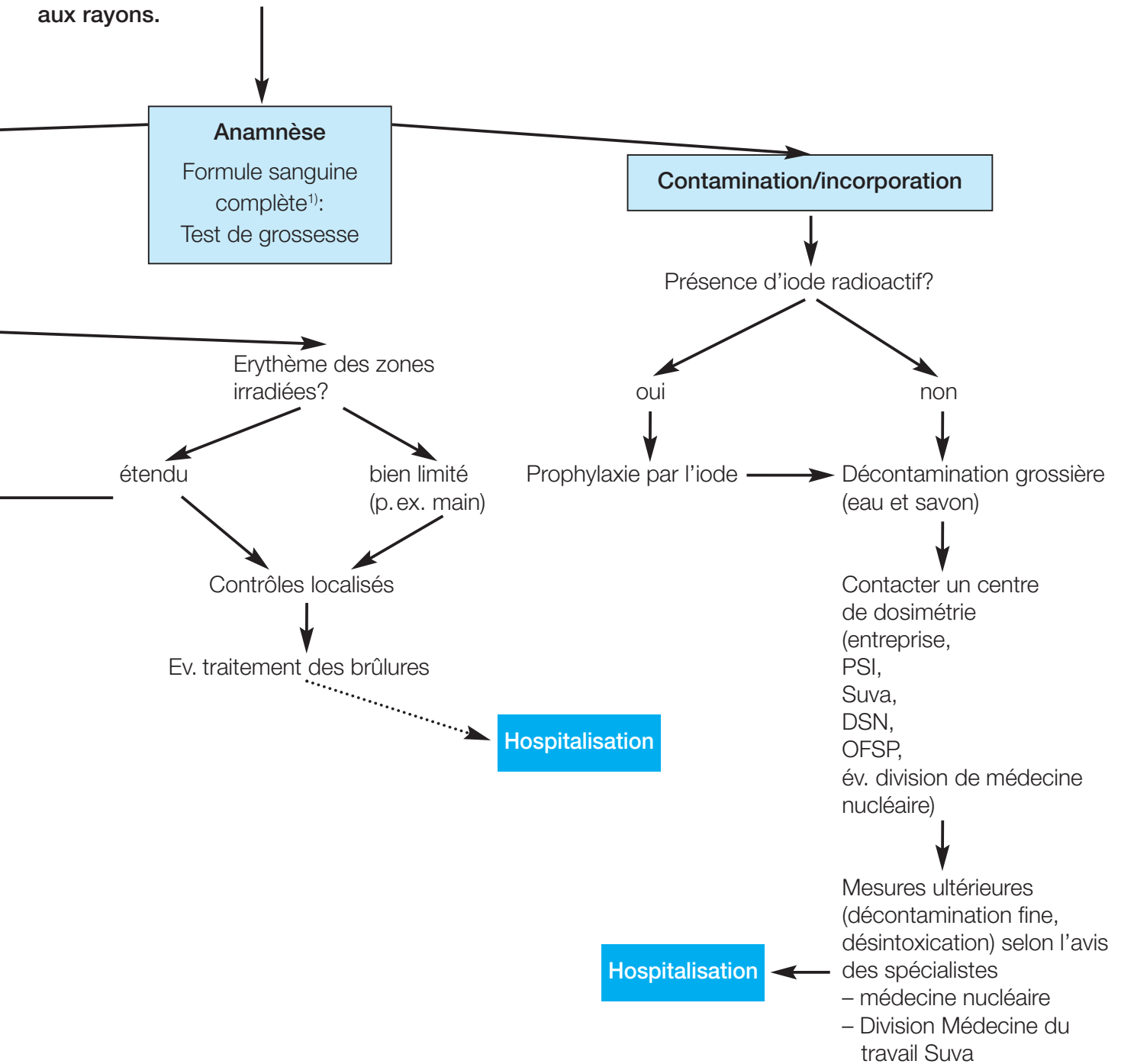
³⁾ Si possible dans un établissement disposant d'une division d'onco-hématologie bien équipée.

Irradiation accidentelle

(Premiers secours avant l'hospitalisation)

Priorité aux mesures vitales de premier secours pour les blessures

“conventionnelles” (traumatismes mécaniques, brûlures, etc.) avant tout traitement “spécifique” des lésions dues aux rayons.





Annexes I à V

Annexe I

Adresses importantes

PA	Poste d'alarme en cas de radioactivité auprès de: MeteoSchweiz Krähbühlstr. 58 8044 Zürich Tél. 01 256 91 11 (Heures de bureau) (le numéro d'alarme non mentionné ici est connu des institutions et des organisations d'intervention urgente compétentes)
OFSP	Office fédéral de la santé publique Division de la radioprotection Case postale 3005 Berne Tél. 031 324 94 00
CPR	Commission fédérale de la protection contre les radiations Case postale 3000 Berne
DSN	Division principale de la sécurité des installations nucléaires 5232 Villigen-HSK Tél. 056 310 38 11
IRA	Institut de radiophysique appliquée Centre universitaire 1015 Lausanne Tél. 021 623 34 34

PSI	Institut Paul Scherrer 5234 Villigen Tél. 056 310 21 11
Suva	Caisse nationale suisse en cas d'accidents Division Sécurité au travail Section physique Case postale 6002 Lucerne Tél. 041 419 51 11
Suva	Caisse nationale suisse en cas d'accidents Division Médecine du travail Case postale 6002 Lucerne Tél. 041 419 51 11
Assortiment d'antidotes	Kantonsapotheke Universitätsspital Zürich Tél. 01 255 32 14 (Pharmacie) Tél. 01 255 30 30 (Numéro d'urgence de la pharmacie)

Annexe II

Analyse chromosomique

1. Prendre contact avec la Division de médecine du travail de la Suva, la DSN ou l'OFSP.
2. Prélèvement de 10 ml de sang dans un tube stérile hépariné. Effectuer la prise de sang le plus rapidement possible après l'événement accidentel.
3. Données indispensables à fournir:
 - Identité
 - Date et heure précises de l'accident
 - Type d'irradiation
 - Zones corporelles touchées
 - Dose estimée
 - Expositions médicales ou professionnelles antérieures aux rayonnements (mentionner également un éventuel traitement antérieur aux cytostatiques)
 - Date et heure de la prise de sang
4. Les premiers résultats sont disponibles 3–4 jours plus tard.

Radionuclides

Nuclide	Demi-vie physique	Demi-vie biologique	Type de rayonnement	Organe critique
Americium-241	457,7 a	83,9 a	alpha, gamma	squelette
Berkelium-249	314 j	311 j	bêta, gamma	squelette
Brome-82	35,3 h	1,27 j	bêta, gamma	corps entier
Calcium-45	165 j	165 j	bêta	squelette
Calcium-47	4,53 j	4,53 j	bêta, gamma	squelette
Californium-252	2,6 a	2,5 a	alpha, gamma, neutrons	squelette
Carbone-14	5730 a	0,4 j	bêta	corps entier
Césium-137	30 a	70 j	bêta, gamma	corps entier
Chrome-51	27,8 j	22,8 j	bêta, gamma	poumons, tractus digestif
Cobalt-60	5,26 a	117 j	bêta, gamma	poumons
Curium-242	162,5 j	161,8 j	alpha, gamma, neutrons	squelette
Curium-244	17,6 a	15 a	alpha, gamma, neutrons	squelette
Einsteinium-253	20,4 d	20,4 d	alpha	squelette
Fer-55	2,6 a	388 j	bêta, gamma	rate (SRE)
Fer-59	45 j	41,9 d	bêta, gamma	rate (SRE)
Indium-113m	99,4 min.	1,61 h	bêta, gamma	reins, tractus digestif
Iode-123	13,3 h	0,54 j	bêta, gamma	thyroïde
Iode-125	60,2 j	41,8 j	bêta, gamma	thyroïde
Iode-131	8,05 j	7,6 j	bêta, gamma	thyroïde
Krypton-85	10,7 a		bêta	corps entier

Manganèse-54	Mn-54	314 j	88,5 j 23 j	gamma	poumons foie
Mercur-203	Hg-203	46,6 j	11 j	bêta, gamma	reins
Or-198	Au-198	2,7 j	1 j	bêta, gamma	reins, tractus digestif
Phosphore-32	P-32	14,3 j	14,1 j	bêta	squelette
Plomb-210	Pb-210	21,4 a	1,2 a 6,8 a	bêta, gamma	reins squelette
Plutonium-238	Pu-238	86 a	46,2 a	alpha, gamma	squelette
Plutonium-239	Pu-239	24360 a	100 a	alpha, gamma	squelette
Polonium-210	Po-210	138,4 j	31,7 j 66,7 j	alpha	reins poumons
Sélénium-75	Se-75	120 j	61 j 10 j	gamma	poumons reins
Sodium-22	Na-22	2,6 a	11 j	bêta, gamma	corps entier
Sodium-24	Na-24	15 h	0,6 j	bêta, gamma	tractus digestif
Soufre-35	S-35	88 j	7 j	bêta	corps entier
Strontium-85	Sr-85	64 j	64 j	gamma	squelette
Strontium-89	Sr-89	52 j	52 j	bêta	squelette
Strontium-90	Sr-90	28,1 a	6,4 x 10 ³ j	bêta	squelette
Technétium-99m	Tc-99m	6 h		gamma	thyroïde, tractus digestif
Tritium	H-3	12,3 a	10 j	bêta	corps entier
Uranium-235	U-235	7,1 x 10 ⁸ a	15 j	alpha, gamma	reins
Uranium-238	U-238	4,49 x 10 ⁹ a	15 j	alpha, gamma	reins
Xénon-133	Xe-133	5,27 j		bêta, gamma	corps entier
Yttrium-90	Y-90	64 h		bêta	tractus digestif
Zinc-65	Zn-65	245 j	194 j 80,5 j	bêta, gamma	corps entier poumons

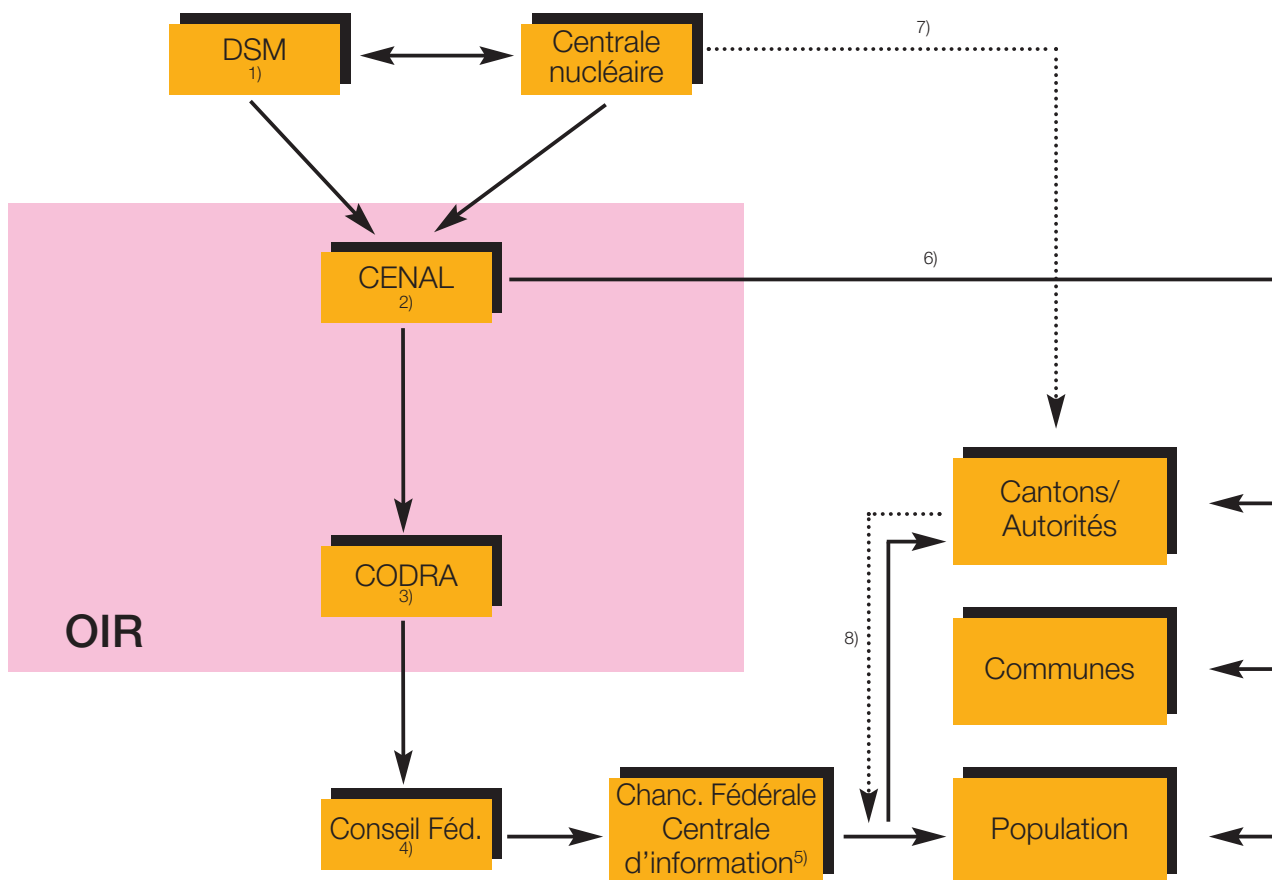
tiré de: Manual on Early Medical Treatment of Possible Radiation Injury. IAEA, Wien, Safety Series No. 47

Annexe IV

Accident nucléaire:

Source: Concept pour la protection d'urgence au voisinage des installations nucléaires, mars 1998, Commission fédérale pour la protection atomique et chimique (COPAC)

Structure et tâches de l'organisation d'alarme (OIR) et autres instances



¹⁾ Appréciation de la situation dans la centrale et estimation de la menace d'irradiation à l'intérieur et autour de l'installation

²⁾ Organisation et appréciation des mesures d'irradiation; détermination et pronostic des risques d'irradiation; prescription des mesures de protection

³⁾ Appréciation de la situation globale; formulation de mandats pour le Conseil Fédéral

⁴⁾ Formulation de directives

⁵⁾ Diffusion des informations et des prescriptions de comportement

⁶⁾ Diffusion directe d'informations et de prescriptions de comportement par la CENAL, aussi longtemps que le CODRA n'est pas opérationnel

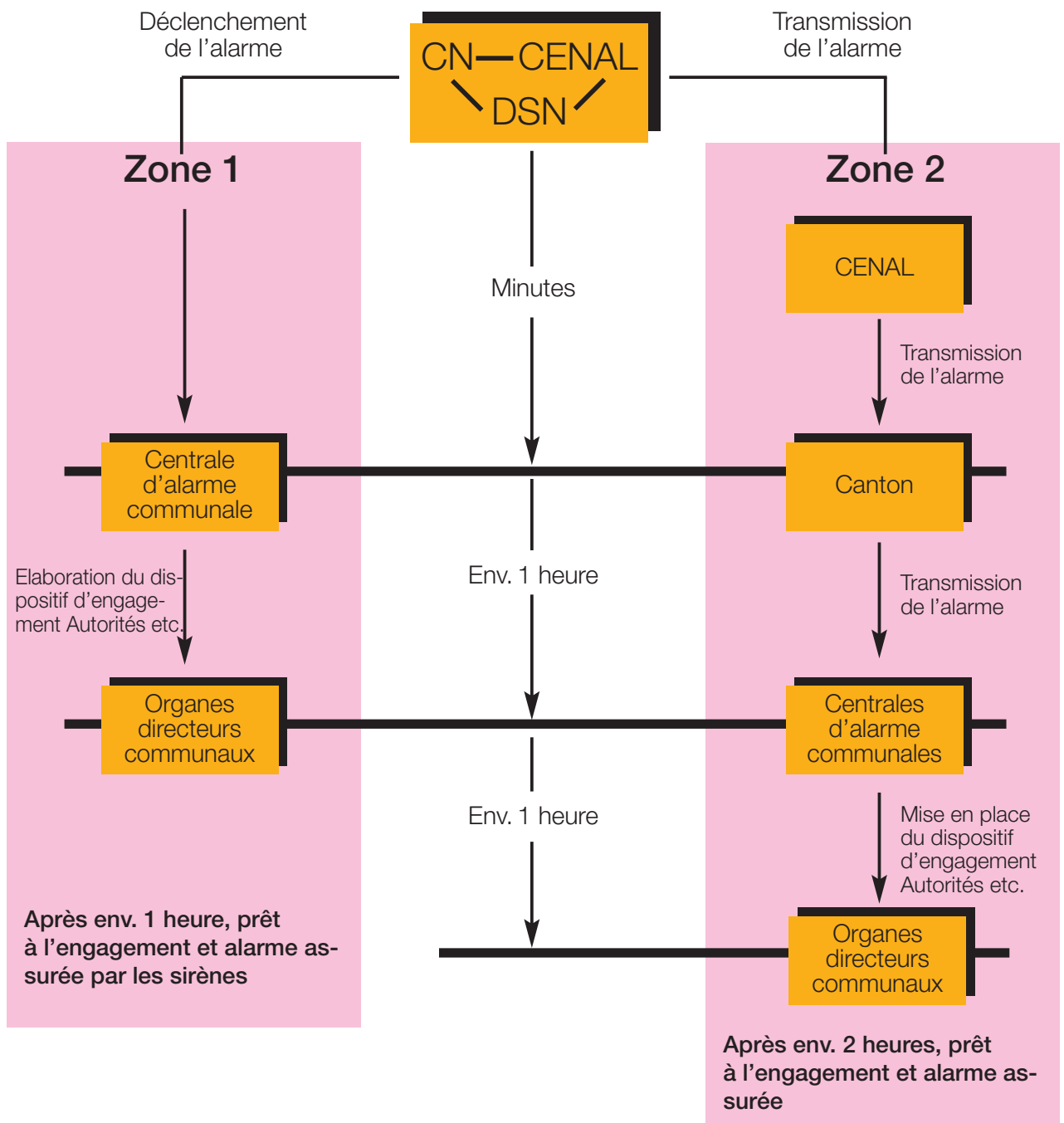
⁷⁾ Recommandations de mesures de comportement pour la protection de la population en cas d'accident sans ou avec une très courte phase d'alerte préalable

⁸⁾ Première information de la population et éventuelles recommandations de comportement découlant des indications provenant de la centrale nucléaire, en cas d'accident sans ou avec une très courte phase d'alerte préalable.

Délais à disposition pour l'organisation des mesures de protection

Mise en place du dispositif d'engagement pour les organes directeurs communaux

Début d'un accident de centrale nucléaire (critères d'alarme remplis)



Annexe V

Bibliographie

De Oliveira A.R.: «Un répertoire des accidents radiologiques 1945–1985». Radioprotection 22, 89–135, 1987.

Der Strahlenunfall. Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission (Deutschland); Bd. 32, 1996. ISBN 3-437-25208-9

Deutsche Strahlenschutzkommission: «Medizinische Massnahmen bei Kernkraftwerksunfällen». Band 4. Gustav Fischer-Verlag, Stuttgart, 1986.

Deutsche Strahlenschutzkommission: «Wirkungen nach pränataler Bestrahlung». Gustav Fischer-Verlag, Stuttgart, 1989.

Eberhard H., Eigenmann F., Schärer K., Bürgi H.: «Auswirkungen der verbesserten Kropfprophylaxe mit iodiertem Kochsalz auf den Iodstoffwechsel in der Schweiz». Schweiz. med. Wschr. 113, 24–27, 1983.

Erste Hilfe bei erhöhter Einwirkung ionisierender Strahlung. Institut für Strahlenschutz der Berufsgenossenschaft der Feinmechanik und Elektronik und der Berufsgenossenschaft der chemischen Industrie. Köln, Dezember 1996

Exposition de la femme enceinte aux rayonnements ionisants: risques pour le fœtus. Position de la Commission fédérale de la protection contre les radiations ionisantes (CPR) du 16 juin 1998, publiée dans le Bulletin des médecins suisses, 1998; 79 No. 44: 2245–2248

Fanger H. et al.: «Radiation Death from Cardiovascular Shock Following a Criticality Accident». Arch. Path. 83, 446–460, 1967.

Hübner K.F., Fry S.A.: «The Medical Basis for Radiation Accident Preparedness». Elsevier/North-Holland, 1980.

IAEA-TEC DOC-366. «What the general practitioner (MD) should know about medical handling of overexposed individuals», IAEA, 1986.

IAEA: «Biological Dosimetry: Chromosomal Aberration Analysis for Dose Assessment». International Atomic Energy Agency, Wien, Technical Reports Series No. 260, 1986.

IAEA: The Radiological Accident in Yanango. Vienna., August 2000.

ISBN 92-0-101500-3

Jammet H., Daburon F., Gerber G.B., Hopewell J.W., Haybittle J.L., Whitefield L.: «Radiation Damage to Skin». Brit. J. Radiology, Supplement No. 19, 1986.

Kallee E., Wahl R.: «Nutzen und Risiko der Iodprophylaxe», in: Strahlenschutz in Forschung und Praxis, Band XXI 1, S. 100–110, Thieme Verlag Stuttgart, New York, 1981.

Massnahmen nach Kontamination der Haut mit radioaktiven Stoffen. Empfehlungen der Strahlenschutzkommission. Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission (Deutschland); Bd. 18, 1992. ISBN 3-437-11450-6

Messerschmidt O. et al.: «Industrielle Störfälle und Strahlenexposition». Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 1980.

NCRP-Report No. 65: «Management of Persons Accidentally Contaminated with Radionuclides». National Council on Radiation Protection and Measurements. Washington D.C., 1980.

Planning the Medical Response to Radiological Accidents. Safety Reports Series No 4. International Atomic Energy Agency (IAEA), Vienna, 1998.

Risiko des Feten nach Exposition der Schwangeren mit ionisierender Strahlung. Stellungnahme der Eidg. Kommission für Strahlenschutz (EKS) vom 16. Juni 1998, publiziert in der Schweizerischen Ärztezeitung 1998; 79 Nr. 36: 1763–1766

Suva, Série Médecine du travail: Les radiations ionisantes.

Division Médecine du travail, Suva, 6002 Lucerne, 3^e édition révisée, mars 1996

U.S. National Center for Devices and Radiological Health, Rockville, MD.FDA: «Preparedness and Response in Radiation Accidents», Technical Report, August 1983.

Vereinigung Deutscher Strahlenschutzärzte e.V.: «Inkorporation von Radionukliden». Workshop 27.–28. Febr. 1986, Hamburg, BRD.

Volf V.: «Iodtabletten als Schilddrüsenschutz nach Reaktorunfall: Risiko-Nutzen-Überlegung». Atomkernenergie, Kerntechnik 37, 50–55, 1981.

Weigensberg I.J. et al.: «Injury due to Accidental Exposure to X-Rays from a X-Ray Fluorescence Spectrometer». Health Physics 39, 237–241, 1980.

WHO, Regionalbüro für Europa, Kopenhagen, 1987: «Nuclear Accidents and Epidemiology». Environmental Health Nr. 25.

WHO: «Guidelines for Iodine Prophylaxis following Nuclear Accidents».

WHO Regional Office for Europe, 1989.

Zanzonico P.B. and Becker D.V.: Effects of Time of Administration and Dietary Iodine Levels on Potassium Iodide (KI) Blockade of Thyroid Irradiation by ¹³¹I from Radioactive Fallout. Health Physics 78; No 6, June 2000: 660–667.

