



Energie nucléaire :

Rejets accidentels — principes applicables
aux mesures de santé publique



L'Organisation mondiale de la santé (OMS), créée en 1948, est une institution spécialisée des Nations Unies à qui incombe, sur le plan international, la responsabilité principale en matière de questions sanitaires et de santé publique. Au sein de l'OMS, les professionnels de la santé de quelque 160 pays échangent des connaissances et des données d'expérience en vue de faire accéder, d'ici l'an 2000, tous les habitants du monde à un niveau de santé qui leur permette de mener une vie socialement et économiquement productive.

Le Bureau régional de l'Europe est l'un des six Bureaux régionaux de l'OMS répartis dans le monde. Chacun de ces Bureaux a son programme propre dont l'orientation dépend des problèmes de santé particuliers des pays qu'il dessert. La Région européenne, qui compte 33 Etats Membres actifs^a, se distingue par le fait qu'elle réunit un grand nombre de pays industrialisés disposant de services médicaux très modernes. Son programme diffère donc de ceux des autres Régions, car il vise plus particulièrement à résoudre les problèmes des sociétés industrielles. Dans la stratégie mise au point par le Bureau régional afin d'atteindre le but de «la santé pour tous en l'an 2000», les activités se subdivisent en trois grandes catégories : promotion de modes de vie favorables à la santé, prévention des maladies et des accidents et organisation de soins adéquats, accessibles et acceptables pour tous.

Ce qui caractérise aussi la Région, c'est sa grande diversité linguistique et les difficultés qui en résultent sur le plan de la communication et de la diffusion de l'information. Les publications du Bureau régional paraissent en quatre langues (allemand, anglais, français et russe) et les droits de traduction en d'autres langues seront volontiers accordés.

^a Albanie, Allemagne, République fédérale d', Autriche, Belgique, Bulgarie, Danemark, Espagne, Finlande, France, Grèce, Hongrie, Irlande, Islande, Israël, Italie, Luxembourg, Malte, Maroc, Monaco, Norvège, Pays-Bas, Pologne, Portugal, République démocratique allemande, Roumanie, Royaume-Uni de Grande-Bretagne et d'Irlande du Nord, Saint-Marin, Suède, Suisse, Tchécoslovaquie, Turquie, Union des Républiques socialistes soviétiques, Yougoslavie.

Energie nucléaire :

Rejets accidentels — principes applicables
aux mesures de santé publique

Photo de couverture : Le réacteur nucléaire de Three Mile Island,
près de Harrisburg, Pennsylvanie, Etats-Unis d'Amérique

Photo de presse UPI/Politikens

Organisation mondiale de la santé
Bureau régional de l'Europe
Copenhague



Energie nucléaire :

Rejets accidentels — principes applicables aux mesures de santé publique

Rapport sur une réunion de l'OMS

Bruxelles
23—27 novembre 1981

OMS, Publications régionales, Série européenne, N° 16

ISBN 92 890 2107 1
ISSN 0250-8575

© Organisation mondiale de la santé 1986

Les publications de l'Organisation mondiale de la santé bénéficient de la protection prévue par les dispositions du Protocole N° 2 de la Convention universelle pour la Protection du Droit d'Auteur. Pour toute reproduction ou traduction partielle ou intégrale, une autorisation doit être demandée au Bureau régional de l'OMS pour l'Europe, 8 Scherfigsvej, DK-2100 Copenhague Ø, Danemark. Le Bureau régional sera toujours très heureux de recevoir des demandes à cet effet.

Les appellations employées dans cette publication et la présentation des données qui y figurent n'impliquent de la part du Secrétariat de l'Organisation mondiale de la santé aucune prise de position quant au statut juridique des pays, territoires, villes ou zones, ou de leurs autorités, ni quant au tracé de leurs frontières ou limites.

La mention de firmes et de produits commerciaux n'implique pas que ces firmes et produits commerciaux sont agréés ou recommandés par l'Organisation mondiale de la santé de préférence à d'autres. Sauf erreur ou omission, une majuscule initiale indique qu'il s'agit d'un nom déposé.

Les vues exprimées dans ce rapport sont celles des participants au groupe de travail; elles ne représentent pas nécessairement les décisions ou la politique officiellement adoptées par l'Organisation mondiale de la santé.

IMPRIME EN ANGLETERRE

SOMMAIRE

	<i>Page</i>
Introduction	1
1. Principes directeurs	5
Coût des contre-mesures	5
Le plan d'urgence	6
Les phases de l'accident	7
Mesure des doses	7
Seuils d'intervention	8
Le rôle des pouvoirs publics	8
2. Chronologie des faits et prise de décisions	11
Chronologie des événements accidentels	11
Chronologie des contre-mesures	12
Prise de décisions	14
3. Mesure des expositions aux rayonnements	17
Voies d'exposition	17
Degrés d'exposition	19
4. Evaluation des effets des expositions	23
Effets non stochastiques	24
Effets stochastiques	27
5. Choix des contre-mesures	31
Types de contre-mesures	31
Critères de choix entre les solutions	41
6. Conséquences psychosociales	47
Nature du problème	47
Prise en mains du problème	47
Acceptation des plans par le public	48
7. Choix des seuils de référence	51
Orientations générales	51
Seuils de référence	52
Bibliographie	57
Annexe 1 Composition des sous-groupes	67
Annexe 2 Liste des participants	68

Introduction

Depuis quelque temps, l'Organisation mondiale de la santé aide ses Etats Membres à se doter de plus amples moyens de comprendre les conséquences que l'utilisation généralisée des rayonnements comporte pour la santé publique. Cet effort, qui vient compléter celui d'autres organisations telles que la Commission internationale de protection radiologique (CIPR) ou l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA), ou qui a fait appel à leur collaboration, a débouché sur la publication de plusieurs travaux de l'OMS consacrés à la question (1-6).

Le présent rapport constitue une suite à l'effort déployé par l'OMS pour démontrer comment réagir à tout événement ou situation inattendus qui se présenteraient dans une centrale nucléaire dotée du potentiel de rejeter, dans l'environnement, des matières radioactives en quantités supérieures aux maximums tolérables. Les mesures de santé publique envisagées dans le présent rapport sont celles qu'il faudrait prendre pour réagir face à un accident de cette sorte, entre autres l'élaboration et l'exécution de plans d'urgence destinés à atténuer les effets de ces accidents sur la santé.

Le rapport s'appuie sur la science et l'expérience collective des membres d'un groupe de travail réuni à Bruxelles du 23 au 27 novembre 1981 par l'OMS, en collaboration avec le gouvernement de la Belgique, pour analyser et apprécier les diverses mesures qui pourraient être prises à la suite du rejet accidentel de matières radioactives par des centrales nucléaires. Il ne contient pas de données techniques détaillées, mais présente un exposé général des fondations rationnelles des décisions à prendre, en fonction de la situation actuelle telle que l'ont appréciée les membres du groupe de travail.

Le groupe se composait de vingt-deux conseillers temporaires venus de treize pays, ainsi que de représentants de l'AIEA, de l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE) et de l'Association internationale de protection contre les rayonnements (AIPR). Quatre grandes disciplines (protection contre les rayonnements, physique sanitaire, science et technologie de l'environnement, biologie humaine), ainsi que trois grandes catégories professionnelles (médecins, techniciens et physiciens) y étaient représentées, ce qui a permis d'adopter une approche multidisciplinaire globale du sujet.

Le présent rapport entend donner aux autorités nationales des indications sur la façon de se doter des moyens de réagir face à un accident nucléaire.

La planification des mesures d'urgence incombe souvent à plusieurs organismes, et les autorités de la santé ne sont pas toujours les seules auxquelles il est fait appel. Les indications fondamentales proposées ici concernent les mesures de nature à atténuer les effets, sur la santé, des rejets de radionucléides qui pourraient accompagner un accident de centrale nucléaire. A cet égard, les autorités nationales compétentes doivent tenir compte des points suivants :

- *Planification préliminaire.* Les autorités de santé pourraient donner des avis sur la sécurité de la conception, de la construction et de l'exploitation des centrales nucléaires et veiller aussi, par leurs conseils, à ce que soient élaborés des plans qui permettent de réagir à tout accident éventuel.
- *Exploitation.* Les autorités sanitaires pourraient veiller à ce que les personnels des centrales soient aptes à faire face aux conséquences sanitaires immédiates des accidents, que les mesures de santé publique nécessaires en cas d'accident soient dûment coordonnées d'accord entre les organismes concernés, et que les personnels de santé appelés à intervenir reçoivent la formation voulue.
- *Mise en œuvre.* Les autorités de santé pourraient veiller à la mise en place des moyens d'évaluer un accident, à l'élaboration de méthodes applicables aux contre-mesures, et à la mise au point des dispositions à prendre pour la réoccupation des zones contaminées.

Il est naturel de demander aux autorités de santé de participer plus ou moins à ces trois opérations.

Le présent rapport expose les principes généraux et la justification des réactions face à un accident survenu dans une centrale nucléaire. La réaction à un accident donné, et en particulier le choix des contre-mesures à prendre et du moment où les prendre, dépendront beaucoup de la situation dans chaque cas, y compris la nature de l'accident, la topographie des lieux et les conditions météorologiques du moment, et c'est pourquoi le groupe s'est efforcé de conférer le maximum de flexibilité à ses recommandations.

Les principes directeurs ci-après reposent sur les théories mises au point par des organismes tels que la CIPR, dont huit membres de commissions, y compris le président et le vice-président de la commission principale, ont participé à la réunion. Le chapitre 2 traite de la source et de la chronologie des émissions, ainsi que de leur importance dans l'optique des contre-mesures à prendre. Le chapitre 3 décrit les conséquences des rejets de matières radioactives et identifie les principaux itinéraires d'irradiation. L'évaluation des risques radiologiques figure au chapitre 4, qui insiste sur les risques courus par les personnes en raison surtout d'effets non stochastiques. Le chapitre 5 contient une liste descriptive des contre-mesures éventuelles, ainsi que des risques et des avantages de chacune d'elles. Le chapitre 6 traite des contre-coups psychosociaux des accidents. Enfin, le chapitre 7 expose les principaux facteurs à retenir pour prendre des décisions et indique comment et pourquoi on peut définir des seuils de référence.

L'accident de Three Mile Island, aux Etats-Unis, a fait apparaître, entre autres problèmes principaux, l'effet psychologique produit sur le public par l'accident lui-même, ainsi que la confusion due aux réactions des pouvoirs publics. Les auteurs du présent rapport estiment que beaucoup de ces problèmes auraient pu être évités si l'on avait établi de meilleurs plans d'urgence, notamment pour informer le public. Grâce au présent rapport, l'OMS espère mettre les autorités nationales en mesure non seulement de se doter de meilleurs moyens de réagir aux accidents survenus dans des centrales nucléaires, et par conséquent d'en réduire les effets sur la santé, mais également d'éviter les effets psychosociaux inutiles de ces accidents sur les groupes de population atteints.

Le Dr H.P. Jammet a été élu président du groupe de travail, et les Drs J.-C. Nénot et R.H. Clarke ont exercé les fonctions de rapporteurs. Le Dr F. Komarov et le Dr M.J. Suess ont été investis des fonctions de secrétaires scientifiques. La composition des sous-groupes formés en vue de la réunion et la liste des participants figurent respectivement dans les Annexes 1 et 2.

Partant d'un projet préliminaire établi par les rapporteurs et des observations ultérieures des membres du groupe de travail, le Dr Clarke, le Dr Nénot et le Dr Suess se sont réunis en groupe de rédaction à Paris en 1983 pour arrêter la version finale du rapport.

Principes directeurs

Il est permis de dire que la production commerciale d'énergie nucléaire s'est révélée, ces quelques dernières décennies, relativement sûre par rapport à l'industrie de l'énergie non nucléaire. On ne peut cependant présumer qu'un système quelconque soit totalement inoffensif, et, comme un accident conduisant au rejet de matières radioactives pourrait avoir des effets délétères sur la santé des populations, il faut donc établir des plans d'urgence.

Coût des contre-mesures

L'objectif principal recherché consiste à réduire le détriment^a subi par des personnes du fait du rejet, effectif ou potentiel, de substances radioactives dans l'environnement. Le seul moyen d'atteindre cet objectif consiste à prendre des mesures correctives qui peuvent comporter leurs propres risques pour la santé et leurs propres coûts sociaux; elles se justifieront si la comparaison de la réduction des expositions avec le risque accru sur le plan du coût social et du dommage physique se solde par un avantage net.

Le système de limitation des doses reçues recommandé par la CIPR pour les expositions résultant d'un fonctionnement normal ne s'applique pas aux accidents (7-9). En cas de situation anormale, la Commission a formulé cette déclaration générale, relative aux interventions (7) :

La forme d'intervention qui conviendra pour limiter l'exposition anormale des membres de la population dépendra des circonstances. Toutes les contre-mesures qui peuvent être prises pour réduire l'exposition des individus après le rejet accidentel de matières radioactives s'assortissent d'un certain détriment pour les personnes concernées, qu'il s'agisse d'un risque de santé ou d'une perturbation du contexte social. La décision de prendre des contre-mesures doit s'appuyer sur la comparaison entre le détriment dont elles s'assortissent et la réduction de l'exposition qu'elles permettent

^a La CIPR définit (7) le détriment subi par une population comme l'espérance mathématique du dommage résultant d'une exposition à des rayonnements, compte tenu non seulement de la probabilité d'effets délétères de chaque type, mais aussi de leur gravité. Parmi ces effets délétères figurent à la fois les effets sur la santé et les autres.

d'obtenir. L'ampleur du détriment causé par les contre-mesures peut varier selon leur nature et selon les circonstances dont elles s'accompagnent, par exemple l'effectif de la population concernée. D'autre part, leur efficacité dépend de la rapidité avec laquelle on peut les mettre en œuvre. C'est pourquoi il n'est pas possible de fixer des seuils d'intervention généralement applicables, au-dessus desquels une intervention s'imposerait dans tous les cas. Toutefois, il serait éventuellement possible de fixer des seuils au-dessous desquels une intervention ne serait généralement pas considérée comme justifiée. Les seuils d'intervention dépendent des circonstances de chaque cas et ne peuvent consister, par conséquent, qu'en des indications générales.

Comme la plupart des formes d'intervention s'assortissent de certains détriments, la méthode optimale d'intervention dépend de la comparaison entre le détriment causé par l'intervention et l'avantage produit par la réduction de la dose reçue qu'elle produit. L'équilibre entre les deux dépend nécessairement des circonstances locales au moment où se produit la situation qui appelle une intervention, mais des plans doivent être établis à l'avance pour faire face aux imprévus.

La même théorie générale se retrouve dans les *Basic safety standards for radiation protection* (10), publiés conjointement par l'AIEA, l'Organisation internationale du Travail (OIT), l'Agence de l'énergie nucléaire de l'OCDE, et l'OMS.

Il sera établi, pour les sources ou pratiques ... qui seraient de nature à provoquer l'exposition accidentelle ou critique de travailleurs ou de membres de la population, un plan d'intervention qu'approuvera l'autorité compétente. Ce plan traitera des situations prévisibles et comprendra les dispositions propres à faire ressortir le rapport coût/avantages des contre-mesures prévues.

Le plan d'urgence

Les mesures de santé publique à prendre en cas d'accident devraient faire partie d'un plan d'urgence complet, qu'il faut établir à l'avance pour endiguer et limiter efficacement les conséquences d'un accident.

Le plan d'urgence doit être conçu de façon à répondre à un large éventail d'accidents possibles, et non pas simplement à un petit nombre d'accidents typiques. Chaque type d'accident peut avoir ses conséquences propres, à la fois par leur nature et leur degré, mais on ne peut retenir dans le plan aucune séquence unique d'événements (11). La sélection des accidents, aux fins d'élaboration du plan, doit être vaste, allant de ceux qui n'appellent aucune mesure hors du lieu de l'accident lui-même, du fait qu'il n'aura vraisemblablement pas de conséquences importantes hors de ce lieu, jusqu'à ceux qui ont de profondes conséquences extérieures, si improbables soient-elles. Le degré de détail du plan d'urgence va de pair avec la probabilité d'accident. Le plan doit également tenir compte de la composition la plus vraisemblable, en radionucléides,

des rejets éventuels provenant de la centrale. En tout état de cause, il doit être adaptable, de façon à pouvoir répondre aux conditions particulières de chaque accident. Ce principe général, qui consiste à tenir compte d'un large éventail d'accidents et à conserver au plan sa flexibilité, se retrouve dans de nombreuses publications internationales ou nationales (7, 8, 12-18). En particulier, les *Basic safety standards for radiation protection* précisent bien que :

Le plan d'urgence doit s'appuyer sur une étude des conséquences radiologiques des rejets radioactifs faisant suite à un accident de référence. Il doit toutefois être suffisamment flexible pour pouvoir s'adapter à la situation réelle, qui différera le plus souvent de celle de l'accident de référence.

Les phases de l'accident

Tout accident qui se produit dans une centrale nucléaire peut être divisé en phases successives, fonctions de critères divers : chronologie de l'accident, ampleur des risques courus par la population, et ampleur des contre-mesures qui peuvent être prises pour éviter l'exposition potentielle. Dans l'élaboration du plan d'urgence, le but le plus important à rechercher, c'est d'éviter les expositions, car la première priorité consiste à protéger la population contre une exposition potentielle aux rayonnements.

Il est possible de définir une séquence de trois phases qui se retrouvent dans la plupart des accidents (12, 14, 15, 19) et, à chaque phase, des considérations différentes influenceront sur la décision de prendre ou non des contre-mesures :

- *La phase initiale*, c'est-à-dire la période où une libération de matières radioactives menace, et les quelques premières heures qui suivent son début.
- *La phase intermédiaire*, qui doit en principe commencer quelques heures après l'accident et qui peut durer un ou plusieurs jours : il est à présumer que la plus grande partie de l'émission de substances radioactives aura déjà eu lieu et qu'une certaine radioactivité se sera déposée sur le sol.
- *La phase terminale*, c'est-à-dire celle durant laquelle les décisions sont prises concernant le retour à des conditions de vie normales, et qui peut s'étendre sur une longue période.

Mesure des doses

Les accidents de centrales nucléaires peuvent libérer entre une très faible et une très forte quantité de matières radioactives, et l'éventail des doses possibles est, lui aussi, très vaste. Le rejet s'assortira de risques stochastiques et, à doses fortes, de risques non stochastiques également. Dans la phase initiale et la phase intermédiaire, les contre-mesures serviront à éviter les effets non stochastiques et à réduire les risques stochastiques individuels. Pour lutter contre les effets

non stochastiques, la mesure dosimétrique du risque individuel qui convient le mieux correspond à la dose absorbée. Pour ce qui concerne les risques stochastiques, l'équivalent-dose convient bien une fois que les doses ont atteint le point où des contre-mesures sont envisagées.

Bien que le risque présenté par les contre-mesures elles-mêmes dépende parfois du nombre de personnes concernées, les engagements de dose collectifs ne sont pas à prendre en considération dans la phase initiale et la phase intermédiaire. Par contre, pendant et après la phase terminale, il faudra quantifier le détriment associé à l'accident, et il sera alors intéressant de tenir compte de quantités telles que l'engagement de dose collectif. La dose collective, calculée sur des aires limitées, pourra servir pour le choix des contre-mesures à appliquer dans la phase terminale, par exemple pour la décontamination des terrains et des bâtiments.

Seuils d'intervention

Les plans devraient comporter des seuils d'intervention, c'est-à-dire indiquer les points auxquels telles ou telles contre-mesures s'imposent durant chaque phase. C'est la dose calculée (c'est-à-dire celle qui sera vraisemblablement reçue en l'absence de contre-mesures) qu'il faut prendre en considération pour déterminer ces seuils d'intervention, ainsi que la dose évitée grâce à la contre-mesure. Il ne saurait toutefois y avoir de dose unique appelant chaque contre-mesure, et la valeur des doses dépendra des caractéristiques de l'emplacement et de l'installation et des circonstances de l'accident. Les seuils d'intervention doivent rester flexibles de façon à pouvoir s'adapter à des groupes de population exposés selon leur effectif et leur composition, ainsi qu'à de nombreuses autres variables telles que la météorologie locale et régionale et l'aggravation potentielle de l'accident. C'est pourquoi il ne sera possible que de définir une fourchette de doses à l'intérieur de laquelle devront se situer les seuils d'intervention.

Pour chacun de ces seuils, il faudra calculer une valeur dérivée applicable dans la pratique. Des seuils d'intervention dérivés pourront ainsi être fixés pour l'inhalation, l'irradiation externe, l'eau de boisson et divers aliments tels que le lait, la viande, etc. La prise de contre-mesures s'appuiera d'ordinaire sur la comparaison entre ces seuils d'intervention dérivés et les prévisions de l'exposition potentielle et la mesure effective des expositions.

Le rôle des pouvoirs publics

C'est aux autorités nationales compétentes qu'il incombe de prendre les mesures nécessaires pour protéger la population contre les conséquences d'un accident nucléaire. Le rôle particulier des autorités de santé, en cas d'accident, dépendra en tout cas du partage des responsabilités dans chaque pays. Ces autorités peuvent être appelées à contribuer à l'élaboration du plan d'urgence et avoir compétence pour informer et éduquer la population locale, qui doit connaître à l'avance le plan d'urgence et certaines de ses composantes fondamentales, ainsi que recevoir des instructions simples et claires. Si la population locale est ainsi dûment informée, elle pourra fort bien réagir de façon logique face à un événement dangereux.

Si un accident se produit, il importe beaucoup d'en informer la population concernée aussi vite que possible, car il faudra prendre rapidement certaines contre-mesures et lui expliquer sans retard les dispositions prises pour la protéger.

La mise en œuvre d'un plan d'urgence oblige plusieurs autorités différentes à intervenir, y compris le Ministère de l'intérieur, la police, la Défense civile, les pompiers, le Ministère de la santé, le service de protection contre les rayonnements et les services de sécurité, dont l'action doit être absolument coordonnée. Les protocoles qui préciseront les compétences des services de secours d'urgence doivent indiquer précisément les mesures de santé publique à prendre par chacun.

Chronologie des faits et prise de décisions

Le plan d'urgence correspondant à une installation donnée doit tenir compte d'un large éventail d'accidents possibles. Dans la plupart des cas, les matières radioactives vont se trouver libérées dans l'atmosphère, et les conséquences potentielles de ce phénomène sont à étudier dans beaucoup plus de détail que celles d'un rejet accidentel de matières liquides.

Le rejet accidentel de matières radioactives dans le milieu aquatique est moins probable, et l'exposition des populations sera dans son cas vraisemblablement retardée de façon notable (20). Certaines décisions à prendre en cas de rejet dans le milieu aquatique ont parfois des analogies avec celles qui seront prises dans la phase terminale d'un rejet dans l'atmosphère. Comme le présent rapport concerne principalement les décisions à prendre dans la phase initiale, il n'y sera plus question des expositions par la voie aquatique.

Chronologie des événements accidentels

La nature du rejet dépend du type d'installation nucléaire et de la gravité de l'accident. Il faut, dans les plans d'urgence, envisager diverses sources d'émission radioactive, et définir chacune par la fraction de l'inventaire du cœur qui risque d'être libérée, y compris la probabilité d'accident, le délai d'alerte avant le rejet des matières radioactives, et la durée prévue de ce rejet (21, 22).

L'échelonnement des événements dans le temps a beaucoup d'importance lorsqu'on veut évaluer la possibilité de prendre des contre-mesures, ainsi que l'efficacité avec laquelle ces contre-mesures peuvent réduire les répercussions potentielles de l'accident sur la santé. Les temps qui prennent alors une importance particulière sont : le temps qui s'écoule entre le moment où l'on se rend compte qu'un accident s'est produit et le rejet de matières dans l'environnement, le temps d'alerte, et la durée de l'émission accidentelle. Ces trois paramètres, qui ont une corrélation entre eux, peuvent revêtir des importances différentes pour la planification des mesures d'urgence.

Le temps écoulé entre le début d'une séquence accidentelle et le rejet proprement dit de matières radioactives dans l'atmosphère a son importance. S'il est très court, il est impossible de prendre des contre-mesures avant que l'émission ne débute. De façon générale, ce type d'accident est peu probable dans les grandes installations nucléaires du type centrale électrique, qui ont des systèmes de sécurité complexes. Il s'écoulera le plus souvent, avant que ne se

produise un rejet non contrôlé, un laps de temps d'une demi-heure à une journée ou davantage (14, 23, 24). Dans certains cas, il est même possible d'endiguer l'émission de matières radioactives suite à un accident.

Le temps d'alerte est celui qui s'écoule entre la prise de conscience d'un accident imminent qui risque d'exposer la population résidant au-delà des limites de la centrale, et le rejet effectif de matières radioactives. Ce paramètre a son importance pour la prise de décisions, s'agissant notamment de savoir s'il y a lieu de réagir par des contre-mesures, et lesquelles choisir.

La durée de l'émission non contrôlée varie de quelques minutes à plusieurs jours (10). En général, on peut s'attendre que sa partie la plus importante se produira dans la première heure, si l'émission totale dure quelques heures, tout au moins dans le cas des accidents les plus probables. D'autres fois, l'émission pourra se prolonger et durer plusieurs jours, et la plus grosse partie de la radioactivité se trouvera libérée le premier jour; en outre, le rejet de matières radioactives peut accuser des pointes, séparées par des laps de temps variables et impossibles à prévoir. La durée de l'émission incontrôlée reste, dans tous les cas, un paramètre important car, si elle se prolonge, il peut se produire des modifications de la direction et de la vitesse du vent qui pourraient fort bien réduire les doses reçues, mais qui peuvent également affecter des groupes de population auxquels on n'aura pas pensé au départ.

Compte tenu de ces trois principaux paramètres, c'est-à-dire le laps de temps précédant le rejet de matières, la durée de l'émission incontrôlée et le temps d'alerte, on peut schématiquement subdiviser les rejets en trois catégories qui peuvent se combiner de façons différentes :

- courts ou prolongés
- contrôlés ou non
- avec ou sans avertissement.

Deux autres paramètres exercent une influence sur les doses potentielles que peut recevoir la population :

- *L'altitude du rejet* : les perturbations atmosphériques et leurs conséquences varieront selon que le rejet provient d'une source bien définie ou non, et que les matières sont ou non entraînées par la circulation de l'air autour des bâtiments.
- *La densité* : l'ascension du panache peut jouer un grand rôle et réduire le risque couru par les individus qui composent la population locale. Elle dépend de la température des matières émises, de leur orientation, de leur quantité et de leur vitesse initiale. Toutefois, il n'existe pas encore de modèles suffisants pour prédire avec précision l'ascension des panaches.

Chronologie des contre-mesures

Selon la phase d'un accident (initiale, intermédiaire ou terminale), les décisions des autorités en matière de contre-mesures dépendront de considérations différentes (14, 19, 22, 25-30). En pratique, les phases ne se distinguent pas très nettement entre elles, et elles peuvent fort bien déborder l'une sur l'autre.

Phase initiale

La phase initiale est, par définition, celle qui débute au moment où l'on a pu définir le potentiel d'exposition des populations en dehors du site de la centrale, et qui s'étend sur les premières heures suivant le début de l'émission incontrôlée. Le laps de temps qui s'écoule entre la prise de conscience d'une séquence accidentelle et le début du rejet de matières radioactives peut être égal ou inférieur à une demi-heure, et le rejet lui-même peut ne durer qu'une demi-heure. Il est alors difficile de décider s'il y a lieu ou non de prendre des contre-mesures, car il faut pour cela pouvoir prévoir l'évolution de l'accident ainsi que des situations qui ne se sont pas encore présentées. L'évaluation de l'exposition des populations résidant hors de la centrale et de la possibilité de réduire cette exposition par des contre-mesures adéquates constitue donc un exercice difficile de spéculation.

La période d'alerte et les premières heures de la libération de matières radioactives ont pour caractéristique commune que les décisions pratiques s'appuient sur les mêmes critères, à savoir les informations provenant de l'installation nucléaire elle-même et les données de la météorologie locale. Il faudra reviser par la suite, peu à peu, les estimations provisoires de la nature et de la quantité des matières radioactives qui risquent d'être libérées, ainsi que la chronologie de l'émission. Comme ce sont également les responsables de l'installation qui fourniront le plus souvent les premières informations météorologiques utiles pour les décisions, il importe de disposer d'un système fiable et exact de mesure des conditions météorologiques.

Les risques à prendre en considération dans la phase initiale comprennent l'irradiation externe directe provenant de l'installation nucléaire, l'exposition externe provenant du panache, des premières retombées et du dépôt de matières sur les vêtements et la peau, enfin l'inhalation de matières radioactives provenant du panache.

Phase intermédiaire

La phase intermédiaire, qui commence quelques heures après le début de l'émission accidentelle, peut se prolonger un ou plusieurs jours. On suppose que, durant cette phase, la plus grande partie de l'émission se sera déjà produite et que des quantités notables de matières radioactives seront déjà retombées sur le sol, à moins que l'émission ne se compose que de gaz nobles. Il n'y a pas de dichotomie chronologique nette, pour ce qui concerne la planification d'urgence, entre la première et la deuxième phase, mais, dans cette dernière, on doit toutefois connaître peu à peu les premiers résultats de la surveillance de l'environnement, qui, combinés avec les prévisions concernant d'éventuelles émissions à venir, amèneront à confirmer ou modifier les décisions déjà prises en matière de contre-mesures.

Durant la phase intermédiaire, la population peut se trouver exposée à diverses sources de rayonnements : les radionucléides retombés sur le sol, l'irradiation interne résultant de l'ingestion d'eau et d'aliments directement ou indirectement contaminés, et l'inhalation de matières radioactives retombées sur le sol, les routes, les bâtiments, etc., et qui se retrouvent en suspension sous l'effet du vent.

Phase terminale

Cette phase, qui est celle du retour aux conditions normales, peut s'étendre de quelques semaines à plusieurs années après l'accident, et sa durée dépendra de la nature et de l'ampleur du rejet accidentel. Le risque couru par la population tient alors à la consommation d'aliments contaminés en général, et à l'irradiation externe provenant d'un environnement contaminé. On peut, durant cette phase, utiliser les résultats de la surveillance de l'environnement pour prendre ou non la décision de retourner à des conditions de vie normales, moyennant la levée simultanée ou progressive des diverses contre-mesures prises durant les deux premières phases de l'accident. On pourra également décider de maintenir pendant de longues durées certaines restrictions, concernant par exemple la production agricole, l'interdiction d'accès à certaines zones ou à certains bâtiments, ou la consommation d'aliments (légumes, produits animaux ou produits laitiers) provenant de certaines zones. Durant cette phase terminale, que l'on peut également appeler la phase de remise en ordre, le but recherché consiste à réinstaurer des conditions de vie normales. Les décisions concernant les mesures de protection (sanitaire aussi bien que socio-économique) à prendre ou à continuer d'appliquer durant cette phase s'appuieront sur des considérations différentes de celles retenues lors des deux premières phases, et leurs justifications seront parfois différentes de celles qui ont été retenues au début de l'application du plan d'urgence. Par exemple, la principale considération, dans la phase initiale, est celle des doses calculées que pourraient recevoir les individus si l'on ne prenait aucune mesure de protection. Dans cette phase initiale, les membres de la population dont la protection exige parfois des contre-mesures rapides constituent le plus souvent des groupes bien définis et relativement peu nombreux. Les doses faibles reçues par un grand nombre de personnes vivant loin de l'installation nucléaire constitueront l'essentiel de la dose collective résultant du rejet de matières radioactives, et il peut se révéler impossible de prendre des mesures pour éviter ces irradiations. Par contre, les doses totales, par exemple l'équivalent de dose collectif ou l'équivalent de dose engagé collectif et leur répartition, sont à connaître pour évaluer le détriment total subi par la santé du fait de l'émission. Les doses collectives reçues au-delà de certaines limites individuelles formeront la base des décisions fondées sur une analyse coût/avantages durant la phase de remise en état.

Prise de décisions

La prise de décisions dans la phase initiale d'une séquence accidentelle se caractérise par le fait que ces décisions reposeront plus vraisemblablement sur des informations fournies par les responsables de la centrale que sur une surveillance globale de l'environnement. Si l'on dispose d'un temps d'alerte suffisant, il est possible d'abriter ou d'évacuer les populations à titre de précaution, selon l'ampleur de l'émission potentielle, ce qui démontre la nécessité de planifier à l'avance les seuils d'intervention dans l'installation même, en s'appuyant sur l'analyse d'un large éventail d'accidents et de leurs conséquences.

Durant la phase intermédiaire, il est postulé que la plus grande partie de la radioactivité aura déjà été libérée dans l'atmosphère et que, sauf si l'émission

se compose principalement de gaz nobles, il est vraisemblable qu'une contamination résiduelle se déposera sur le sol. Durant cette phase, les décisions concernant les contre-mesures s'appuieront sur la surveillance de l'environnement. S'il s'agit d'un accident grave, et si les débits de doses externes imputables aux retombées sur le sol sont très élevés dans certaines zones proches de l'installation, ou si la pluie a recueilli des quantités excessives de radioactivité, une évacuation urgente s'imposera. Avec des doses plus faibles, on disposera de plus de temps pour calculer les débits de doses et les doses sur la vie entière, compte tenu de l'effet des éléments naturels et des mesures de décontamination, avant de décider s'il y a lieu de déplacer des groupes de population pour leur éviter de recevoir des doses plus fortes. Ces doses seront vraisemblablement plus faibles que celles auxquelles on entreprendrait une évacuation d'urgence.

Durant la phase intermédiaire, il faudra également envisager d'imposer des restrictions sur la vente et la consommation des produits alimentaires provenant des zones contaminées. Ces décisions dépendront des moyens dont on disposera pour assurer un approvisionnement de rechange en produits alimentaires et en eau. Lorsque cet approvisionnement de rechange peut être assuré, l'interdiction de consommer des produits alimentaires ne provoque pas nécessairement de difficultés et rassure grandement le public.

Durant la phase de remise en état, le but consiste à essayer de rétablir une situation normale dans les zones touchées par les contre-mesures. Là encore, les décisions dépendront des débits de doses et des doses calculées sur la vie entière que devraient recevoir les personnes autorisées à retourner dans ces zones et à recommencer à y vivre. Les doses autorisant le retour seront décidées sur la base des doses collectives au vu d'une analyse du rapport coût/avantages. Il faudra penser à la décontamination ainsi qu'à l'importance de l'activité économique dans la zone touchée. Par exemple, si une activité industrielle implantée dans une zone touchée revêt de l'importance pour la nation, il pourra convenir d'autoriser la reprise de l'existence normale en présence de doses calculées plus fortes que celles qui seraient acceptables, par exemple, dans une zone essentiellement rurale.

Mesure des expositions aux rayonnements

Voies d'exposition

L'exposition des membres de la population peut emprunter plusieurs voies, y compris l'exposition externe aux radionucléides du nuage et à la radioactivité déposée sur le sol, l'exposition interne par inhalation de matières radioactives contenues dans le nuage et de matières balayées des surfaces contaminées qui se retrouvent en suspension dans l'air, enfin, la consommation d'aliments contaminés. Il importe de connaître chacune de ces voies et d'en mesurer l'importance par rapport aux autres. Les diverses voies d'expositions influent sur les décisions que devront prendre les autorités pour diminuer ou prévenir ces expositions.

Après un rejet accidentel de matières radioactives dans l'atmosphère, les principales voies d'exposition sont les suivantes :

Exposition externe à la radioactivité aérienne. Les rayons gamma émis par les gaz nobles, l'iode et les produits de fission particuliers produisent une irradiation de l'organisme entier durant le passage du nuage radioactif. La dose qui en résulte dépend des caractéristiques et de la durée de l'émission. Si celle-ci se compose seulement de gaz nobles, le nuage constituera la principale source d'exposition des populations. On peut, le plus souvent, négliger les expositions directes provenant des centrales elles-mêmes, moins importantes que l'exposition directe au nuage radioactif.

Exposition interne par inhalation de radionucléides contenus dans le nuage. Cette inhalation provoque essentiellement l'irradiation des organes et des tissus, et la dose dépend de la composition isotopique des matières rejetées, des caractéristiques du rejet et de sa durée (31, 32).

Exposition externe directe aux retombées. Cette exposition entraîne une irradiation de l'organisme entier, imputable aux produits de fission déposés sur le sol, les bâtiments et les routes. Elle diminue avec le temps en raison de la décomposition radioactive et de l'évacuation des substances par ruissellement ou infiltration. Si l'émission se compose de nucléides de courte vie, la dose diminuera rapidement, mais il n'en sera pas ainsi lorsque les retombées comprennent des quantités importantes de produits de fission de longue vie.

Exposition interne par inhalation de retombées remises en suspension dans l'air.

Exposition interne suivant l'ingestion d'aliments et d'eau contaminés.
L'ingestion de radioactivité se produit alors soit du fait de sa déposition directe sur les aliments consommés par la population, soit indirectement par le biais des aliments et des produits animaux ou laitiers provenant de terrains contaminés. Ces expositions peuvent toucher des groupes de population très nombreux, vivant parfois loin de l'installation et qui n'auront pas nécessairement été exposés par les autres voies. L'ingestion de légumes constitue un mécanisme durable d'exposition, mais qui ne présente guère d'importance si on le compare aux mécanismes d'irradiation de la phase initiale, notamment dans le cas des groupes de population proches de l'installation.

Les trois premières voies d'irradiation peuvent revêtir des importances différentes selon les conditions de l'accident. Au fur et à mesure que le nuage de matières radioactives dérive en s'éloignant de l'installation, la radioactivité contenue dans l'air peut se trouver éliminée par différentes voies : décomposition radioactive, retombées par rencontre d'obstacles (retombées sèches) et précipitations (retombées humides). Les mécanismes de retombée sont difficiles à prédire exactement. Les taux d'élimination dépendent de nombreux facteurs dont les principaux sont : la densité et le calibre des particules, les caractéristiques du terrain et les conditions météorologiques. A titre de première approximation, on peut postuler que la vitesse des retombées sèches, c'est-à-dire le rapport entre le flux des retombées et la concentration des radionucléides dans l'air à une altitude donnée au-dessus du sol, reste constante. Les retombées humides dépendent du volume des précipitations, et l'on peut supposer qu'elles restent uniformes dans l'intervalle de temps considéré. On postule que les gaz nobles ne subissent pas de réactions chimiques et qu'on n'en retrouve donc pas dans les retombées sèches ni humides. Les retombées d'autres matières radioactives, vapeurs et matières particulaires par exemple, peuvent se calculer en fonction de la concentration des matières dans l'air par application d'une vitesse de retombée. La pluie au moment du rejet des matières radioactives aurait pour effet d'augmenter l'exposition des populations de la zone, mais aussi de diminuer la quantité de radioactivité contenue dans le nuage et susceptible d'exposer des populations plus éloignées.

L'exposition aux rejets dans l'atmosphère dépend également de la stabilité atmosphérique, de l'altitude du point de rejet, de la vitesse du vent et de la température des matières au moment de leur émission.

Ces trois formes d'exposition — irradiation directe provenant du nuage, inhalation de matières en suspension dans l'air (matières volatiles, aérosols, matières particulaires) et irradiation directe par les retombées — interviennent probablement pendant la phase initiale. Comme la radioactivité peut aussi se déposer directement sur les individus, ceux-ci peuvent se trouver également exposés du fait de la contamination de leurs vêtements et de leur peau.

Les deux dernières formes d'exposition interviennent surtout dans les deux autres phases, et les mesures à prendre pour y remédier différeront de celles prises durant la phase initiale.

Les principaux modes d'exposition que l'on peut distinguer sont l'exposition de l'organisme entier et l'exposition de divers organes, en particulier les poumons, la thyroïde, la moelle osseuse et la peau. Chacun de ces modes peut occuper une place prédominante selon les radionucléides qui composent l'émission accidentelle, et leurs conséquences potentielles augmentent en général selon qu'il s'agit de gaz nobles seulement, de matières volatiles ou de produits de fission non volatils. Cela fait ressortir combien il importe d'identifier aussi précisément que possible la source de rayonnements qui permettra de définir les voies d'exposition.

Degrés d'exposition

La prévision des doses susceptibles de résulter d'un rejet accidentel de matières radioactives peut s'appuyer sur deux méthodes éventuellement complémentaires l'une de l'autre (33). La première consiste à évaluer de façon théorique le volume et la nature de l'émission radioactive durant la phase initiale de l'accident. En général, il faudra pour cela s'appuyer sur les informations fournies par les responsables de la centrale et sur les données météorologiques du moment. La deuxième méthode consiste à utiliser les résultats des premières mesures des quantités de radionucléides effectuées hors de la centrale après le début du rejet des matières dans l'environnement.

Mesure théorique

Avant que ne débute l'émission dans l'atmosphère, on ne disposera que d'informations provenant des instruments placés dans l'installation. Pour se prononcer au sujet des contre-mesures, il faut pouvoir estimer dans les meilleurs délais possibles l'ampleur des doses qui risquent d'être émises durant la phase initiale, et ces décisions ne pourront être prises rapidement que si les contre-mesures dans l'installation sont prévues d'avance et peuvent s'appliquer à un large éventail de situations accidentelles et de conditions météorologiques. Ainsi, pour permettre l'évaluation provisoire de l'exposition de la population, les responsables de l'installation doivent faire en sorte de fournir, à intervalles réguliers, des estimations de l'ampleur et de la composition vraisemblables de la radioactivité qui risque de se trouver libérée.

Il faudra construire un modèle de dispersion atmosphérique adapté aux caractéristiques de l'emplacement pour disposer de données météorologiques locales du type : vitesse et direction du vent, conditions de diffusion dans l'atmosphère, précipitation ou ensoleillement (22, 34-38). Ce modèle permet de prédire dans le temps les concentrations atmosphériques de la radioactivité et des retombées sur le sol et sur les bâtiments. Durant la phase initiale de l'accident, les seules informations météorologiques dont on disposera vraisemblablement concerneront la direction et la vitesse du vent, et il faudra surtout qu'on puisse se servir facilement du modèle de dispersion. La plupart des modèles simples sont valables pour des distances de quelques dizaines de kilomètres, et, considérant que les contre-mesures prises durant la phase initiale s'appliqueront à une zone située à quelques kilomètres seulement de l'installation nucléaire, ces modèles devraient avoir leur utilité.

Le système le plus généralement employé pour prédire la dispersion dans l'atmosphère s'appuie sur le modèle de panache de Gauss, facile à utiliser, notamment lorsqu'on ne possède que peu d'informations météorologiques.

Ce modèle s'applique seulement aux terrains plats et dépourvus d'obstacles, alors que, dans bien des pays, les implantations nucléaires sont situées dans des zones dont la topographie influe sur les conditions météorologiques (vallées, par exemple) et où il faudra utiliser des modèles particuliers faisant intervenir les caractéristiques locales de dispersion dans l'atmosphère (39).

Tout rejet dans l'atmosphère entraînera jusqu'à un certain point la contamination des sols, sauf s'il se compose exclusivement de gaz nobles. En outre, les eaux peuvent se trouver contaminées directement par les retombées et par l'écoulement ou l'infiltration de la radioactivité provenant des terres contaminées (40). Ces phénomènes prennent probablement du temps, mais il faut en tenir compte en raison de la contamination possible des sources d'eau de boisson.

Surveillance

Dès que le rejet de matières radioactives a débuté, il est possible de mesurer la radioactivité dans l'environnement (15, 41-44). Les résultats ainsi obtenus confirmeront ou modifieront les mesures théoriques réalisées durant la phase initiale, et permettront en outre d'évaluer l'exposition dans des emplacements où les mesures sont difficiles à effectuer rapidement.

La surveillance doit être confiée à des équipes bien entraînées, disposant de matériels adaptés, fiables et faciles à transporter. Ces équipes devraient pouvoir se mobiliser très rapidement, et leur nombre dépendra de l'emplacement de l'installation. Il est possible de les répartir sur le territoire à surveiller pour éviter qu'elles ne se trouvent toutes bloquées ou retardées du fait des conditions créées par le rejet de matières radioactives ou d'autres facteurs extérieurs tels que la météorologie. Les premières mesures seront à effectuer aussitôt que possible après le début de l'émission dans le voisinage immédiat de l'installation, et, le plus souvent, l'équipe mobile de surveillance de l'environnement appartenant à l'installation nucléaire elle-même sera la première à être appelée, car elle se trouvera déjà sur place, immédiatement mobilisable et formée à exécuter ce type de travail.

Le plan de surveillance, qui consiste à réunir toutes les mesures réalisées dans l'environnement, se compose de quatre parties successives. La première partie se situe dans les premières heures qui suivent l'accident, et les mesures ont alors deux objectifs : confirmer ou non les prévisions théoriques au moyen de sondages et évaluer l'exposition future au panache moyennant le placement de dosimètres en des points bien définis le long d'un itinéraire déterminé à l'avance. Ces dosimètres ne peuvent donner d'informations sur l'exposition au panache que s'ils sont placés et enlevés au moment voulu. L'itinéraire et les points de sondage ou de placement des dosimètres doivent être prévus à l'avance, compte tenu des conditions topographiques et démographiques.

La deuxième partie du plan de surveillance consiste principalement à mesurer les retombées lorsque les émissions gazeuses comprennent des quantités notables d'iode et d'autres produits de fission. On mesurera alors le débit

de doses et la contamination superficielle et l'on analysera des échantillons d'eau, de végétaux, de sol et d'autres surfaces.

Si les sondages ont permis de déceler des contaminations notables, il devient nécessaire, durant la troisième partie du plan de surveillance, de procéder également à des analyses d'échantillons de lait, s'il en est produit dans la zone. Ces analyses supplémentaires interviendront principalement si les mesures effectuées auparavant dénotent la présence d'iode dans les retombées, mais on peut également y recourir pour surveiller le passage, dans le lait, d'autres radio-nucléides retombés sur le sol.

La quatrième et dernière partie du plan de surveillance se situe plus tard, une fois les contre-mesures prises, pour évaluer le détriment causé à la population. Il faudra normalement surveiller les quantités résiduelles de contamination dans le sol, ainsi que la radioactivité contenue dans les produits alimentaires à des distances bien plus grandes que celles pour lesquelles on a prévu des contre-mesures.

Evaluation des effets des expositions

La préparation des plans d'urgence oblige non seulement à évaluer les expositions des individus touchés par l'accident, mais également à prendre en compte les effets délétères pour la santé qui peuvent résulter de cette exposition. Il faut pour cela considérer trois catégories d'effets : les effets somatiques initiaux et durables, les effets somatiques tardifs, et les effets génétiques. Les effets biologiques des rayonnements ionisants sur les organismes vivants ont fait l'objet d'études de la part de nombreuses organisations du monde entier, et de grands efforts scientifiques ont été consacrés à la compréhension des processus fondamentaux par lesquels ces rayonnements agissent sur les tissus humains et à la constitution d'une base solide d'informations en vue de l'élaboration d'orientations générales concernant la protection contre les rayonnements (7, 8, 45-52).

L'irradiation peut provenir des rayonnements émanant du panache, de la radioactivité déposée sur le sol, ou des matières radioactives inhalées ou ingérées par le biais d'aliments contaminés. Les rayonnements peuvent provoquer des effets rapides ou tardifs sur la santé selon la dose reçue. Les effets rapides suivent une irradiation aiguë à forte dose et se manifestent dans les jours ou les semaines qui suivent l'exposition. Par contre, les effets tardifs n'apparaissent que de nombreuses années après cette exposition. On peut constater, dans une population exposée, plusieurs effets à long terme, y compris les tumeurs malignes, mortelles ou non, et les nodules bénins de la thyroïde. Il peut également se produire un développement anormal des fœtus, ainsi que des anomalies congénitales dans la progéniture des sujets exposés. La CIPR distingue, parmi les effets sur la santé, deux catégories : les effets stochastiques et les effets non stochastiques (7). Les premiers sont ceux dont la probabilité augmente avec la dose de rayonnements, sans présenter de seuil, et dont la gravité est indépendante de la dose, celle-ci influant seulement sur la probabilité de leur apparition. Les effets non stochastiques sont ceux dont la gravité augmente avec la dose à partir d'un seuil éventuel.

Après un grave accident de réacteur, les individus peuvent absorber des doses suffisamment importantes pour produire des effets non stochastiques et résultant soit de l'exposition externe au panache et aux retombées, soit d'une exposition interne à des matières radioactives inhalées. Les décisions concernant les contre-mesures seront prises, tout au moins durant la phase initiale de ces accidents, dans le dessein d'éviter des effets non stochastiques des irradiations et d'en limiter les effets stochastiques.

Effets non stochastiques

Les effets non stochastiques en cas d'accident se manifestent à court terme ou à moyen terme dans n'importe quel organe ou tissu irradié. Le type de réaction biologique et le seuil d'effet dépendent de ces organes ou tissus. Les principaux organes ou tissus qui risquent de subir un effet non stochastique sont la moelle osseuse, le poumon, la thyroïde et la peau. En tant que première approximation, on peut assimiler l'exposition de la moelle osseuse à celle de l'organisme entier, car il a été démontré que les lésions produites par les rayonnements dans la moelle osseuse constituent probablement le principal effet étant donné l'éventail des radionucléides susceptibles de se trouver libérés après un accident survenu dans un réacteur à eau naturelle. On peut considérer comme moins importants les effets produits sur d'autres organes ou tissus, tels que l'appareil gastro-intestinal. Les effets sur la moelle osseuse comprennent les morts prénatales et les lésions précoces, ainsi que l'hypothyroïdie, la stérilité temporaire, les cataractes et le ralentissement de la croissance.

Comme les effets non stochastiques rapides ne se manifestent qu'après l'absorption de doses élevées en peu de temps, il ne s'en produira qu'après des accidents graves, et seulement chez des personnes qui vivent dans le voisinage immédiat de la centrale. La durée de l'exposition dépend de la séquence accidentelle et du temps nécessaire pour prendre les contre-mesures adéquates. Il a été établi, du point de vue biologique, que la dose totale nécessaire pour produire un effet donné diffère lorsqu'elle se présente de manière fractionnée ou étalée dans le temps, l'effet du fractionnement de la dose dépendant du tissu touché. On pourrait utiliser les données de radiothérapie sur l'influence du fractionnement des expositions (53-56) pour déterminer l'importance du facteur temps.

Les unités dosimétriques couramment utilisées pour la protection contre les rayonnements sont l'équivalent de dose et l'équivalent de dose engagé, qui permettent éventuellement d'estimer les risques stochastiques courus par les individus lorsqu'ils sont exposés dans des conditions normales. Une autre unité utilisée en protection contre les rayonnements est l'équivalent de dose efficace, qui fait intervenir des coefficients de pondération représentant la proportion du risque résultant de l'irradiation d'un tissu donné relativement à celui résultant d'une irradiation uniforme de l'organisme entier. Les décisions à prendre en cas d'accident doivent reposer sur les risques individuels, et c'est pourquoi toute unité dosimétrique qui a un lien avec le détriment causé à la population entière, par exemple l'équivalent de dose collectif ou l'équivalent de dose engagé collectif, ne convient pas. Par contre, l'unité dosimétrique nécessaire pour évaluer le risque non stochastique est la dose absorbée, et il ne faut donc pas retenir le facteur de qualité (7, 57).

Il importe de définir les temps pour lesquels on calculera la somme des doses aux fins d'évaluation des effets non stochastiques. Les doses étalées dans le temps provoqueront vraisemblablement une plus faible incidence d'effets non stochastiques, et c'est pourquoi on a besoin de ces informations pour décider s'il y a lieu de prendre des contre-mesures urgentes, notamment l'évacuation.

Expositions de l'organisme entier

Le pronostic après irradiation aiguë de l'organisme entier dépend directement de la dose reçue par le système hématopoïétique, c'est-à-dire la moelle osseuse, qui est l'un des tissus les plus sensibles du corps. La moelle osseuse produit la plupart des cellules sanguines, lymphocytes, granulocytes, érythrocytes et plaquettes par exemple. Les lymphocytes sont celles qui réagissent le plus à l'irradiation; leur numération diminue dans les quelques heures qui suivent une irradiation, celle des plaquettes et des granulocytes dans les quelques jours qui suivent, et celle des érythrocytes à une cadence assez lente après plusieurs semaines seulement (58). Des doses faibles répétées reçues par la moelle osseuse peuvent entraîner des lésions graves, mais, si le nombre des cellules du cordon ne tombe pas au-dessous d'un niveau critique, les cellules périphériques se renouvelleront et les sujets irradiés survivront. La dose qui tuerait 50% des sujets irradiés en 60 jours ($DL_{50}/60j$) sans traitement médical a été estimée à un chiffre compris entre 3 Gy et 5 Gy lorsque la dose est absorbée uniformément dans l'organisme (9, 51, 52, 59, 60).

S'agissant d'expositions uniques de l'organisme entier survenant dans un court délai, le risque de mortalité commence aux environs de 2 Gy; la DL_{90} se situe aux environs de 5 Gy, à supposer qu'il n'y ait aucun traitement ni aucune autre complication. Aux alentours de la DL_{50} , les symptômes cliniques sont toujours graves : le pronostic se fonde principalement sur le moment de leur apparition, ainsi que sur la gravité et la fréquence des perturbations hématiques (61). Le principal syndrome qui se manifeste dans les premiers jours ou les premières semaines suivant l'exposition est le syndrome hémato-logique, caractérisé par une diminution des lymphocytes, des granulocytes et des plaquettes. Le nombre des lymphocytes tombe rapidement à un minimum et l'exposition est d'autant plus grave que la pente de cette chute est plus forte et que son minimum est plus bas. Des victimes d'irradiations accidentelles ont survécu après des expositions supérieures à $DL_{50}/60j$, mais seulement sous l'effet de traitements intensifs (62).

Les irradiations du corps entier peuvent provenir d'expositions externes ou internes et il faut donc faire intervenir dans la détermination de la dose de nombreux paramètres plus ou moins incertains. Le calcul de la mortalité rapide après exposition aiguë peut se faire à partir de modèles, avec toutes les difficultés que comporte alors la quantification des paramètres (38, 63, 64).

Exposition des poumons

Le poumon est l'organe le plus sensible du thorax et, malgré ses grandes réserves fonctionnelles, ses tissus n'ont qu'une très faible probabilité de régénération lorsqu'ils ont perdu beaucoup de cellules. On a évalué la dose de seuil pour les lésions non létales à plus de 5 Gy, et la DL_{50} aux environs de 10 Gy. Dans tous les cas, les courbes dose/effets accusent des pentes vives (65-68). Les pneumonies par irradiation, qui se manifestent quelques semaines ou quelques mois après l'exposition, sont un phénomène complexe, qui s'assortit d'œdème, de mort des cellules, de desquamation cellulaire, de fibrinémie alvéolaire, d'un épaississement fibreux des cloisons alvéolaires et d'altérations prolifératives dans les vaisseaux sanguins. Son principal effet non fatal manifeste est la

fibrose pulmonaire, qui résulte principalement des lésions subies par les capillaires, artérioles et veinules, et par les tissus conjonctifs, ainsi que de leur réaction à ces lésions (67). L'évolution des lésions dépend beaucoup de la durée de l'irradiation, de sa vitesse et du volume de l'organe irradié. Après un accident nucléaire, on peut considérer que l'exposition du poumon l'affecte de façon uniforme. Son état fonctionnel, c'est-à-dire les altérations dues à d'autres maladies ou au vieillissement, contribue également à la diversité marquée de l'évolution des lésions aiguës.

On estime que le risque de décès résultant d'une exposition des poumons existe à partir d'environ 15 Gy reçus par l'organe tout entier et que la DL_{50} se situe aux environs de 25 Gy (66, 67).

Exposition de la thyroïde

La thyroïde n'est pas considérée comme particulièrement sensible aux effets aigus des rayonnements. Lorsque les sujets inhalent ou ingèrent des isotopes de l'iode, ceux-ci s'accumulent rapidement dans la thyroïde et se transforment par métabolisme en composés organiques de l'iode qui peuvent subsister suffisamment longtemps dans cet organe pour causer des lésions locales.

On a accumulé sur la question beaucoup de connaissances dès lors que la thyroïde a été couramment traitée en médecine nucléaire pour des lésions bénignes ou malignes. L'ablation totale rapide (sur deux semaines) de la thyroïde résulte d'une irradiation d'environ 300 Gy qui peut être produite au moyen d'une absorption unique de ^{131}I apportant à l'organe quelques dizaines de MBq/g (69). Le dommage subi est imputé principalement aux processus immunitaires et aux réactions des capillaires (68, 70), plutôt qu'aux effets directs produits sur les cellules de la thyroïde. L'ablation de la thyroïde ne semble pas comporter de risque ultérieur de nodules bénins ou malins (71). Les patients traités par la thérapeutique normale se font généralement enlever l'organe par chirurgie et ont besoin de prendre des hormones de remplacement.

Après irradiation externe de la thyroïde, il faut des doses d'environ 10 Gy pour produire une hypothyroïdie clinique (72, 73). Des doses voisines de 30 Gy peuvent produire un myxœdème (73, 74).

Expositions de la peau

A la suite d'un accident nucléaire, la peau peut se trouver exposée, soit directement, soit indirectement, par les retombées du panache qui se déposent sur elle, sur les vêtements, ou encore sur le sol. En fait, la peau ne sera que partiellement exposée puisqu'elle est protégée par les vêtements. La première réaction de la peau aux rayonnements est un érythème, à partir d'un seuil voisin de 3-8 Gy en dose unique. Avec des doses fractionnées, le seuil monte beaucoup plus haut et peut atteindre 50 Gy si la dose s'étale sur six semaines (75). Des doses comprises entre à peu près 12 et 20 Gy entraînent une radio-dermatite exsudative aiguë qui dégénère souvent en radiodermatite chronique, avec hyperkératose et télangiectasie des capillaires et des vaisseaux sanguins superficiels et profonds. La phase chronique peut conduire à des ulcérations, une atrophie et une nécrose.

Exposition des fœtus

Les irradiations des fœtus et des embryons peuvent beaucoup contribuer à la pathogenèse des embryopathies. Les expositions peuvent résulter soit de l'irradiation directe de la mère et du fœtus, soit de la contamination interne de la mère, transmise ultérieurement au fœtus. Rien ne prouve que les organes ou tissus critiques des embryons et des fœtus face à un radionucléide donné soient les mêmes que ceux des enfants et des adultes. Les effets dommageables subis par les tissus embryonnaires sont souvent hétérogènes en raison de différences de sensibilité aux rayonnements et du profil métabolique propre à leurs cellules. Cela vaut par exemple pour l'iode, avant que la thyroïde ne commence son activité biochimique, et pour le tissu osseux avant la période de calcification. Les principaux problèmes posés par les effets tératogènes ont une incidence sur les décisions concernant la nécessité d'une interruption de grossesse après irradiation.

Les effets classiques des rayonnements sur le développement des mammifères sont des malformations congénitales accusées, un retard de la croissance intra-utérine et la mort des embryons (75-80). Il s'agit là d'effets non stochastiques, assortis donc d'un seuil. On a pu estimer la dose minimale donnant lieu à des malformations, la dose létale minimale, la dose minimale pour le retard de la croissance et la DL_{50} . La DL_{50} des embryons varie d'un bout à l'autre de la gestation : très faible juste après la conception, elle atteint peu à peu à proximité de l'accouchement son niveau constaté chez les adultes (77); on l'estime à moins de 1 Gy pour le premier jour, au voisinage de 2 Gy au bout d'un mois et au voisinage de 3-4 Gy chez les fœtus plus développés et jusqu'à l'accouchement. Il n'existe pas d'effets tératogènes prouvés à la suite d'expositions courtes à moins de 100 mGy durant la première période de la gestation, et c'est pourquoi les interruptions de grossesse à la suite de ces expositions n'ont aucune justification médicale.

Effets stochastiques

Les effets stochastiques peuvent être soit somatiques, soit génétiques. Les tissus exposés au risque, ainsi que les facteurs de risque correspondant à chaque tissu, ont été étudiés par des organisations internationales ou nationales (7, 46, 47). Les cancers et leucémies sont des effets stochastiques somatiques dont on connaît le facteur de risque (l'incidence du cancer dans un organe ou tissu par unité de dose) grâce aux études épidémiologiques sur l'homme. Les preuves de ces effets sur l'homme ont été obtenues par l'observation de groupes de population soumis à des doses élevées, y compris les survivants des bombes atomiques d'Hiroshima et de Nagasaki, de sujets atteints de spondylite rhumatoïde et traités aux rayons, enfin de peintres de cadrans lumineux. L'étude épidémiologique de groupes humains exposés permet aujourd'hui de fixer une limite supérieure au risque de maladie maligne à forte dose, qui se situe dans la région de 1 Gy ou plus. La CIPR a calculé les facteurs de risque indiqués au tableau 1 dans le cas des cancers et leucémies mortels, ainsi que le risque d'effets héréditaires dans les deux premières générations de descendants de sujets exposés (7).

Tableau 1. Facteurs de risque recommandés par la CIPR

Tissus	Risque (par Gy)
Gonades	4×10^{-3}
Sein	$2,5 \times 10^{-3}$
Moelle rouge des os	2×10^{-3}
Poumon	2×10^{-3}
Thyroïde	$0,5 \times 10^{-3}$
Surfaces des os	$0,5 \times 10^{-3}$
Autres tissus	5×10^{-3}
Total	$16,5 \times 10^{-3}$

Source : Commission internationale de protection radiologique (7).

Ces facteurs de risque correspondent à des conditions d'exposition normales. Il s'agit de moyennes pour l'ensemble des âges et pour les deux sexes, car, aux fins de protection, on arrive à une exactitude suffisante en utilisant un seul facteur de risque pour chaque organe ou tissu. De plus, ces facteurs ont été expressément obtenus pour des expositions annuelles allant jusqu'à plusieurs dizaines de mSv d'équivalent de dose effectif. Il convient de préciser que les facteurs de risque, dans le cas de certains organes, peuvent être sensiblement plus élevés dans certains groupes d'âges selon le sexe : par exemple, à tous les âges, les femmes paraissent exposées à un risque de cancer de la thyroïde jusqu'à deux ou trois fois plus élevé que celui des hommes et à un risque plus élevé de cancer du sein, notamment lorsqu'elles se trouvent exposées à un âge plus jeune. Les risques héréditaires dépendent de toute évidence de la composition par âges du groupe de population exposé. Il est vraisemblable aussi que le risque de tumeur maligne mortelle est environ deux fois plus élevé que la moyenne lorsqu'il s'agit d'irradiations *in utero* ou d'irradiations de la première enfance.

Il n'est donc pas nécessaire de tenir compte de l'existence de groupes de population dont la radiosensibilité diffère de la moyenne lorsqu'on prévoit une intervention d'urgence, car le risque n'est que deux ou trois fois plus élevé, même dans le groupe le plus vulnérable.

Les principaux organes à prendre en considération en cas de rejet accidentel de matières radioactives sont le poumon et la thyroïde d'abord, puis la moelle rouge des os et l'os lui-même. Les facteurs de risque sont déterminés pour ce qui concerne les cancers mortels, mais, pour mesurer le détriment total pour la santé, il faut également calculer l'incidence des cancers non fatals. On commence à posséder des informations concernant notamment les organes ou tissus qui offrent un bon pronostic (8, 45-47). Dans le cas du poumon, on peut postuler que le cancer entraîne une mortalité de 100%, mais la situation diffère du tout au tout dans le cas de la thyroïde et cela pour deux raisons principales : les nodules thyroïdiens, qui se manifesteraient typiquement entre

dix et quarante ans après l'exposition, peuvent être soit bénins, soit malins, et 30% à 40% des nodules dus à une irradiation sont malins (72, 81, 82). De plus, la mortalité par cancer de la thyroïde est relativement faible, car ces tumeurs évoluent lentement et les thérapeutiques sont souvent couronnées de succès dans leur cas; la mortalité par cancer de la thyroïde bien traité est évaluée à un chiffre compris entre 2% et 9%^a. Bien qu'il ait été démontré que les irradiations internes ont moins d'effet que les irradiations externes en tant que cause de nodules bénins ou de cancers, notamment chez les enfants, il convient de rester prudent et de se fonder sur des estimations du risque d'irradiation externe dans tous les cas. Il a été démontré également que le risque de cancer de la thyroïde par irradiation est deux à trois fois plus élevé chez les femmes (47). De plus, on rencontre une plus forte incidence de cancer de la thyroïde chez les personnes qui consomment peu d'iode que chez celles qui en font une consommation normale.

Comme on l'a vu au chapitre premier, les décisions concernant les contre-mesures sont à prendre sur la base des risques individuels qu'il faudra exprimer, dans le cas des effets non stochastiques, en équivalents de doses.

^a Rall, E. Endocrine Society meeting. Washington, DC, juin 1980.

Choix des contre-mesures

Lorsqu'un rejet de matières radioactives échappe à tout contrôle ou risque de le faire, le seul moyen de limiter l'exposition de la population consiste à prendre des contre-mesures qui perturbent les conditions de vie normales. Ces contre-mesures doivent donc être proportionnées à la nature du risque et prises en temps voulu.

Types de contre-mesures

Les contre-mesures à prendre en considération sont nombreuses et variées (14, 61, 83-85). Le choix de celles qui conviennent le mieux ou qui seront le plus réalisables dépend des caractéristiques de l'emplacement et des circonstances de l'accident, de sorte qu'on ne peut se prononcer que ponctuellement selon le cas. Il faut qu'elles soient suffisamment flexibles pour s'adapter aux différentes situations, mais il est possible de définir par avance certaines situations qui serviront de base pour la planification de contre-mesures éventuelles. Celles-ci doivent être choisies pour l'efficacité avec laquelle elles réduisent les doses reçues par les individus, et il faut mettre en balance les risques et les difficultés de leur application d'une part, le risque présenté par la dose individuelle prévue d'autre part. Si les risques et les coûts sociaux dont s'assortissent les contre-mesures sont très difficiles à quantifier, les méthodes de prévision des probabilités de détriment pour la santé après réception d'une dose de rayonnements donnée existent quant à elles déjà. Il est toutefois clair que les risques, les difficultés, les perturbations et les gênes qui font suite à la mise en œuvre de contre-mesures varient énormément et dépendent du lieu, de l'installation, des séquences potentielles d'accident, ainsi que des conditions météorologiques au moment de l'accident.

Les dix contre-mesures possibles en cas d'accident sont les suivantes :

- mise à l'abri (confinement)
- prophylaxie
- protection du système respiratoire
- protection corporelle
- évacuation
- décontamination individuelle
- relogement

- contrôle de l'accès au lieu de l'accident
- contrôle des produits alimentaires
- décontamination des zones.

Chacune de ces contre-mesures convient particulièrement pour une voie d'exposition donnée et se prête le mieux à mise en œuvre durant telle ou telle phase d'un accident. Leurs applications possibles selon la phase de l'accident sont indiquées au tableau 2.

Tableau 2. Applications possibles des diverses contre-mesures

Contre-mesures	Phase		
	Initiale	Intermédiaire	Terminale
Mise à l'abri (confinement)	+	±	—
Prophylaxie	+	±	—
Protection du système respiratoire	+	—	—
Protection corporelle	±	±	—
Evacuation	+	+	—
Décontamination individuelle	±	±	±
Relogement	—	+	±
Contrôle de l'accès au lieu de l'accident	±	+	±
Contrôle des produits alimentaires	—	+	+
Décontamination des zones	—	±	+

+ = Applicable et probablement indispensable.

± = Applicable.

— = Non applicable ou d'application limitée.

Source : Agence internationale de l'énergie atomique (14).

Mise à l'abri (confinement)

La mise à l'abri ou confinement consiste à laisser les personnes chez elles, portes et fenêtres fermées et systèmes de ventilation arrêtés. La population devrait de préférence se rassembler dans les pièces ou salles centrales, en utilisant des moyens improvisés de protection respiratoire en cas de besoin. Il conviendrait de lui conseiller d'écouter certains programmes de radio et de télévision pour se tenir informée. Le confinement est une des contre-mesures les plus simples du point de vue exécution et avantages, et il comporte également peu de risques s'il ne se prolonge pas.

Cette solution convient pour protéger les populations contre les irradiations externes provenant du nuage et des retombées au sol, ainsi que contre l'inhalation d'iode et d'aérosols (86, 87). Elle permet de réduire les doses

reçues par divers organes relativement importants tels que le poumon, la thyroïde et la peau. Il faut cependant prendre alors en considération deux grands paramètres : la protection par obstacle interposé et la ventilation.

La protection offerte par les bâtiments contre les rayonnements extérieurs provenant des radionucléides en suspension dans l'air ou retombés au sol peut s'exprimer par un coefficient de réduction qui est le rapport entre la dose reçue à l'intérieur des bâtiments et celle qui serait reçue à l'extérieur (88). Plus ce « coefficient de réduction par écran » est faible et plus la protection est grande. Il est évident que l'efficacité de cette protection dépend dans une grande mesure du type de bâtiment : par exemple, les caves de quelque sorte que ce soit assurent une protection très efficace contre les rayonnements venus de l'extérieur. On a calculé des coefficients moyens de réduction par écran en tenant compte de différences régionales telles que la proportion d'habitations en bois, d'habitations en briques et d'habitations avec ou sans cave. Un autre paramètre important d'évaluation de la dose calculée (sans protection) est la fraction de temps que la population exposée passe à l'extérieur.

L'application de coefficients de réduction par écran, à la fois à l'irradiation provenant du nuage et à celle qui résulte des retombées, postule un confinement préalable à l'arrivée du nuage et le maintien de la population à l'intérieur soit jusqu'à la disparition du nuage, soit jusqu'à un éventuel relogement. Dans ce deuxième cas, on évaluera l'exposition en combinant deux coefficients de réduction : celui applicable tant que la population reste à l'abri et celui qui s'appliquera durant les opérations de relogement (voir page 40).

Il convient de noter également que l'emploi de coefficients de réduction moyens par écran pour l'évaluation de l'impact de l'accident sur la santé revient à considérer des doses moyennes pour tous les sujets qui se trouvent dans une zone donnée, et non pas les doses que chacun recevrait effectivement du fait des différences de la protection par écran interposé d'un individu à l'autre (88). Des coefficients de réduction indicatifs figurent au tableau 3.

A condition que la ventilation soit réglée comme il convient, le confinement peut constituer un moyen de protection de l'appareil respiratoire. A cet effet, il faut le synchroniser avec le passage du nuage radioactif. L'avantage procuré par la limitation de la ventilation peut se calculer en comparant la fraction de dose évitée avec le nombre de renouvellements de l'air par heure multiplié par le temps d'immersion dans le nuage (14) et des coefficients de réduction voisins de 0,1 ne semblent pas déraisonnables dans ce cas. Il faut donner pour instructions non seulement de fermer toutes les portes et fenêtres extérieures, mais également de couper les ventilateurs, d'éteindre tous les feux et de fermer les cheminées et les volets d'aération des appareils de chauffage. Lorsque cela est possible, on peut encore réduire la ventilation en disposant des couches de papier ou de tissu humide dans les fissures des fenêtres ou des portes, ce qui peut réduire sensiblement aussi la dose inhalée. Après le passage du panache, il convient de conseiller aux personnes ainsi mises à l'abri d'ouvrir leurs fenêtres et leurs portes de manière à évacuer rapidement la radioactivité qui aurait pu percoler à l'intérieur des bâtiments.

Les risques et dommages associés au confinement sont faibles s'il dure peu de temps, c'est-à-dire quelques heures seulement. Un confinement improvisé et prolongé, de 12 heures ou davantage, pourrait créer des problèmes

Tableau 3. Coefficients moyens de réduction
applicables à l'irradiation par le nuage et les retombées
pour divers types de bâtiments

	Coefficient de réduction	
	Nuage	Retombées
Site extérieur (à 1 m au-dessus du sol)	1	0,7
Maison en bois	0,9	0,4
Maison en bois, sous-sol	0,6	0,05
Maison en brique	0,6	0,2
Maison en brique, sous-sol	0,4	0,05
Immeuble de bureaux	0,2	0,02
Immeuble de bureaux, sous-sol	—	0,01

Source : Agence internationale de l'énergie atomique (14);
Aldrich, D. et al. (88).

sociaux, médicaux et autres, ainsi qu'une anxiété notable en raison des incertitudes inévitables concernant l'endroit où se trouvent les divers membres des familles. Le dommage financier est vraisemblablement faible, à moins qu'une activité industrielle ne soit perturbée. En forçant la population à rester à l'intérieur des bâtiments, il faudrait décider au plus tôt si l'on peut mettre rapidement fin à cette contre-mesure ou s'il y a lieu d'en prendre une autre, par exemple l'évacuation.

Prophylaxie

La prophylaxie constitue le moyen adéquat de protéger contre les irradiations internes résultant de l'absorption de radionucléides. La seule intervention qui paraisse possible auprès d'une population prise dans son entier consiste à administrer de l'iode stable pour bloquer la fixation de l'iode radioactif sur la thyroïde. Cette mesure se révèle efficace à la fois en cas d'inhalation et d'ingestion d'iode radioactif, mais, dans la pratique, il faut surtout la considérer comme une protection contre son inhalation (71, 89-93, et D.G. Crocker, données inédites, 1982).

Après une absorption de ^{131}I , la radioactivité dans la thyroïde atteint 50% de son maximum dans les quelque 6 heures et son maximum en 1 ou 2 jours. C'est pourquoi, pour réduire la dose le plus possible, il convient d'administrer de l'iode stable, de préférence avant, mais en tout cas le plus tôt possible après, l'absorption d'iode radioactif. L'iode administré 6 heures ou moins avant l'absorption protège à près de 100%; cette protection se ramène à 90% si l'administration a lieu au moment de l'inhalation, puis elle diminue très rapidement jusqu'à 50% si elle n'intervient qu'environ 6 heures après l'inhalation (12, 14, 19, 61, 71). Il importe donc de faire absorber de l'iode stable aussitôt que possible, malgré toutes les difficultés que présente ce type de contre-mesure.

Des doses uniques de 100 mg d'iode stable sont d'ordinaire prescrites aux adultes, encore qu'on ait proposé des posologies plus faibles. Les formes le plus largement utilisées sont le KI et le KIO_3 , 100 mg d'iode correspondant à 130 mg de KI et à 170 mg de KIO_3 . Ces deux substances empêchent rapidement et efficacement la fixation d'iode sur la thyroïde. Le KIO_3 présente sur le KI l'avantage d'être plus stable et de se conserver plus longtemps (environ dix ans contre deux ans). Le blocage immédiat a une importance extrême en présence d'une émission d'iode radioactif. Il faut au moins 100 mg d'iode stable pour assurer un blocage rapide et complet chez l'adulte; des doses plus faibles, par exemple 65 mg de KI, bloquent également la fixation d'iode radioactif, mais le temps nécessaire pour arriver à une efficacité totale est beaucoup plus long (90, 92, 94). Cela dit, ces doses plus faibles de KI se sont révélées efficaces chez les enfants de moins d'un an (14, 95). La fixation d'iode retrouve son niveau normal environ une semaine après une dose unique de 100 mg d'iode stable, encore qu'un blocage efficace puisse être maintenu au moyen de doses répétées d'environ 50 mg par jour (14). L'administration d'iode stable ne doit pas être poursuivie sans nécessité, car elle n'est valable essentiellement que sur le court terme étant donné que sa prolongation est incommode et devrait se révéler sans utilité des lors que des expositions plus fortes et durables à l'iode radioactif sont peu probables.

Les effets indésirables de l'iode, et particulièrement du KI, sont bien connus, car cette substance se retrouve dans des produits pharmaceutiques et non pharmaceutiques très divers. Les réactions au KI peuvent se diviser en effets thyroïdiens et non thyroïdiens. La proportion de cas d'effets indésirables s'établit, selon estimation, entre 1 sur 10 millions et 1 sur un million de doses (71).

Les effets thyroïdiens sont les suivants :

- goitre avec ou sans hypothyroïdie, et surtout goitre néonatal;
- hyperthyroïdie, en tant que complication d'une absorption accrue d'iode dans les régions à goitre endémique; une aggravation de la thyrotoxicose peut se produire avec l'administration de quantités en microgrammes de KI à des patients atteints de nodules thyroïdiens, et conduire au syndrome de Job-Basedow (96);
- hypothyroïdie, assez peu fréquente chez les patients traités à l'iodure, encore qu'on en ait signalé une légère incidence de 2×10^{-3} ; il faut noter que l'on n'a jamais observé de myxœdème cliniquement significatif après une administration unique d'iodure.

Les effets non thyroïdiens sont les suivants :

- réactions dermatologiques, sous la forme d'éruptions cutanées très diverses allant de démangeaisons bénignes à des lésions acnéiformes; les sujets qui souffrent de maladies de la peau, telles que l'acné, l'eczéma ou le psoriasis, peuvent accuser une exacerbation de ces affections (97, 98); tous les cas graves signalés faisaient intervenir

des doses élevées de KI, bien plus fortes que celles qui sont recommandées pour le blocage de l'iode thyroïdien;

- réactions d'hypersensibilité, y compris fièvre, arthralgie et éosinophilie; les sujets exposés à ce risque devraient être identifiés;
- effets divers tels qu'œdèmes douloureux des muscles mastoïdiens, conjonctivite, nausées, vomissements et diarrhée.

Ces effets secondaires se produisent dans presque tous les cas d'administration quotidienne prolongée d'iode en quantités dépassant de loin celles recommandées dans les cas d'urgence radioactive. L'utilisation à court terme d'iode présente de la valeur quand bien même il faut prêter particulièrement attention à certains groupes de population :

- les femmes enceintes, déjà à haut risque, et en raison du risque particulier couru par le fœtus. Toutefois, la grossesse ne doit pas être considérée comme interdisant l'emploi de doses uniques d'iode stable;
- les fœtus, car il semble que l'absorption d'iode par la mère puisse provoquer des concentrations élevées dans leur thyroïde. Par contre, le blocage de la fixation thyroïdienne est aussi efficace chez l'enfant que chez la mère;
- les nouveau-nés, car leur thyroïde fixe sensiblement plus d'iode que celle de l'adulte. De plus, comme l'iode se concentre dans la glande mammaire et passe dans le lait, le nouveau-né allaité au sein peut courir le risque d'une exposition accrue. D'après les renseignements actuels, toutefois, il ne semble pas raisonnable de recommander de modifier le traitement à l'iode stable, notamment lorsqu'on prend en considération le risque élevé d'effets délétères que l'iode radioactif peut produire sur le nouveau-né;
- les jeunes enfants, qui peuvent être plus exposés que les adultes car la fixation d'iode par gramme dans leurs tissus est plus forte et les tissus immatures peuvent se révéler plus vulnérables aux tumeurs évolutives;
- les personnes âgées, chez qui les traitements à l'iode peuvent, on l'a observé, provoquer une hyperthyroïdie.

Il devrait être possible d'identifier les sujets exposés à une morbidité grave du fait de ce traitement préventif. Par contre, il doit également être possible de veiller à ce que la population qui risque une exposition excessive de la thyroïde puisse accéder à un traitement à l'iode stable. Pour être efficace, la distribution d'iode stable doit être prévue à l'avance, et comporter :

- des plans pour la distribution rapide du médicament, de façon que les sujets exposés puissent subir le traitement à l'iode peu de temps avant leur exposition;

- la constitution de stocks;
- la création des moyens d'informer la population de la nécessité de prendre de l'iode et de la façon de le faire;
- des plans de renouvellement des stocks.

Au moment de la distribution d'iode stable, il peut être à conseiller de donner des avis médicaux sur les possibilités d'effets secondaires et de souligner la nécessité de conserver le contact avec les médecins et de ne pas administrer plus d'une dose par personne.

Si l'évacuation intervient rapidement, l'utilisation d'iode stable ne sera pas nécessaire. L'évacuation, qui devrait être le moyen le plus efficace d'éviter une exposition de la thyroïde, présente un intérêt particulier pour les sujets le plus exposés au risque (femmes enceintes, nouveau-nés, enfants, etc.), mais on ne peut y procéder que si l'on dispose d'un temps d'alerte suffisant.

En cas de libération d'iode radioactif, le blocage de la fixation thyroïdienne ne protège que contre cet élément et n'a aucune efficacité contre les irradiations extérieures de la glande. Il faut donc tenir compte, pour y recourir ou non, de l'efficacité et du coût d'autres contre-mesures telles que le confinement, la protection de l'appareil respiratoire et l'évacuation.

Protection de l'appareil respiratoire

Cette protection peut être assurée par des moyens simples tels que mouchoirs en tissu ou en papier, serviettes de cuisine, vêtements ou autres objets propres à recouvrir la bouche et les narines. L'efficacité protectrice de ces objets peut augmenter si on les humidifie, car les tissus secs filtrent moins efficacement l'iode que les tissus mouillés. Il a été prouvé que certains tissus de coton faciles à se procurer diminuent les concentrations d'aérosols, de gaz et de vapeurs (y compris d'I₂ et de CH₃I) dans la proportion de 10 ou plus à 1 lorsque la taille des particules se situe entre 0,4 µm et 5 µm (14, 99, 100). Cette protection respiratoire personnelle peut être utilisée au moment de se rendre aux abris, éventuellement dans les abris mêmes lorsque cette contre-mesure n'est pas trop prolongée, et certainement au cours de l'évacuation lorsque le panache de matières radioactives subsiste.

L'emploi de systèmes plus compliqués tels que les masques ou respirateurs n'est pas normalement à la portée du public et ne peut s'appliquer qu'à des groupes spéciaux qui participent aux opérations de sauvetage, tels que les équipes de secouristes, la police et les pompiers, qui doivent être spécialement entraînés à s'en servir.

Protection corporelle

La protection corporelle convient pour éviter le dépôt et l'absorption de matières radioactives au niveau de la peau et des cheveux. On peut l'obtenir au moyen de vêtements, y compris les chapeaux, capuchons, imperméables, anoraks, gants et bottes. Il faut y recourir au moment de se rendre aux abris et durant les évacuations, de même que si l'évacuation ne peut être évitée tandis

que le panache subsiste. L'emploi de vêtements protecteurs plus perfectionnés doit être réservé aux personnels qui participent aux opérations de secours (15), et, comme il s'agira seulement de petits groupes spécialisés, son coût sera relativement faible et les risques qui s'y attachent resteront nuls.

Evacuation

L'évacuation, qui consiste à déplacer rapidement une population pour éviter ou réduire son exposition, convient pour la protection contre les expositions externes au panache et aux retombées, ainsi que contre les expositions internes par inhalation de radionucléides en suspension dans l'air (25, 38, 60). C'est la contre-mesure la plus perturbatrice et la plus difficile à appliquer, et c'est pourquoi il convient de n'y recourir qu'en cas d'absolue nécessité, par exemple pour éviter l'accumulation, sur courtes périodes, de doses conduisant à des effets non stochastiques, ainsi que, dans toute la mesure du possible, de ne l'appliquer qu'à de petits groupes de personnes qui se trouvent dans le voisinage immédiat de l'installation nucléaire. Lorsque la population avoisinante est nombreuse, l'évacuation se révèle plus difficile, et, en tout état de cause, une mise à l'abri rapide sera à préférer, car elle permet de maintenir la population sous contrôle.

L'évacuation, qui s'effectue le plus facilement dans la phase initiale lorsqu'elle concerne de petits groupes vivant à proximité de l'installation, aboutit à une protection complète contre les effets du nuage si l'on a pu être averti suffisamment tôt avant son émission. Les évacuations mal synchronisées peuvent aboutir à faire passer les populations évacuées dans le panache même et à les exposer ainsi à des doses beaucoup plus fortes que si on les avait mises à l'abri. L'évacuation peut se révéler efficace dans la phase intermédiaire, que l'on ait ou non mis la population à l'abri pour réduire la dose absorbée de retombées.

La principale difficulté, au moment de décider s'il y a lieu ou non d'évacuer certains groupes de population, réside dans la comparaison du risque d'exposition potentielle sans évacuation avec le risque que comporte l'évacuation elle-même. La mesure du premier de ces risques s'assortit d'erreurs inévitables en raison des incertitudes qui règnent quant à l'évolution de l'accident, à l'importance et à la nature des sources de rejets et aux modifications possibles des conditions météorologiques (par exemple, les rafales de vent, la pluie ou la neige). Les paramètres à considérer sont divers et d'importance inégale (101-105). Il s'agit :

- des caractéristiques de l'accident lui-même;
- des conditions socio-démographiques : nombre de personnes à évacuer, composition du groupe par âges, présence et nombre de handicapés, de malades et de personnes alitées, existence et densité d'établissements présentant des difficultés spéciales, par exemple usines, hôpitaux, maternités et maisons de retraite;
- des conditions météorologiques;

- du moment de la journée où sera donnée l'alerte;
- des conditions topographiques, et par exemple de l'existence ou non d'un réseau routier ou ferré qui se prête à l'évacuation;
- de l'existence de centres de relogement pour la population évacuée, qui devront se trouver convenablement situés du point de vue géographique.

Bien que l'expérience des évacuations de groupes nombreux de population soit assez limitée, il est possible de donner une idée générale de la faisabilité et de la rapidité de l'exécution de cette mesure (106-111). L'expérience acquise en Amérique du Nord donne à penser que les risques associés à l'évacuation sont faibles, encore que cette expérience ne soit pas nécessairement applicable à la situation qui règne dans beaucoup d'autres pays (108). Il a été prouvé qu'il est dangereux d'utiliser les informations normales concernant la circulation routière pour évaluer les risques présentés par une évacuation, car les conditions de conduite et le comportement des conducteurs sont très différents (110). Le risque de santé dû aux accidents de la route peut être faible en cas d'évacuation organisée, mais il faudra prendre en compte d'autres risques, en particulier ceux qui s'attachent à l'évacuation de groupes particuliers tels que les patients des hôpitaux et cliniques (y compris ceux atteints de maladies psychiatriques) et à celle des détenus des prisons. Il faudra également quantifier les conséquences socio-économiques en se fondant sur les conditions régionales.

En outre, si l'on veut aboutir à une évaluation complète, il faut calculer le risque inhérent au retour de la population dans les zones évacuées. Ce risque est censé être beaucoup plus faible que celui qui s'attache à l'évacuation, car le retour peut être organisé dans les meilleures conditions, étalé, et en tout cas bien planifié. L'évacuation s'effectuera par des moyens motorisés, et de préférence par les transports publics. Il convient de décourager dans la mesure du possible l'évacuation individuelle. Les évacuations doivent être bien planifiées, secteur par secteur, pour éviter toute congestion du trafic. Beaucoup de personnes refuseront de se laisser évacuer, ce qui provoquera de la confusion. D'autre part, il faut veiller spécialement à ne pas séparer les membres des familles. On a parfois recommandé de n'évacuer que quelques petits groupes de la population exposée, par exemple les femmes enceintes, les écoliers et les patients des hôpitaux, sur la base du critère du risque le plus élevé d'irradiation (106, 112, 113). Or, il faut éviter cette décision toutes les fois que cela est possible, car elle entraînera souvent des confusions et parfois la panique, et paraîtra souvent aussi irrationnelle au public.

Les considérations sociales et économiques qui s'attachent à l'évacuation pèsent lourd sur les décisions. Son coût social diffère beaucoup selon que les populations en cause vivent dans des zones rurales, agricoles, urbaines, industrielles, commerçantes ou résidentielles. Dans le cas des populations agricoles, qui sont le plus susceptibles de se trouver au voisinage immédiat des installations nucléaires, la décision d'une évacuation, même de courte durée, peut poser des problèmes en raison de la nécessité de s'occuper des animaux. Une industrie locale touchée par une évacuation prolongée subira un préjudice financier élevé. Dans l'un comme dans l'autre cas, le détriment économique, bien que difficile à calculer, doit influencer sur la décision.

Pour conclure, une évacuation peut s'assortir d'un coût social élevé, et, même s'il est difficile d'en quantifier les risques, la décision d'y procéder ne sera pas prise à la légère et doit s'appuyer sur une estimation solide des doses d'irradiation probables.

La décision d'évacuer pose un autre problème, qui est celui du choix des critères de réoccupation des zones évacuées. Il faut bien insister sur la nécessité de faire identifier le plus tôt possible par les autorités de santé publique les zones où subsiste une faible radioactivité au sol, et il faut souligner aussi que le retour dans une zone évacuée peut créer de grands problèmes psychologiques (voir chapitre 6).

Décontamination individuelle

La décontamination individuelle ne s'impose qu'en cas de contamination décelée ou soupçonnée de la peau. En général, des installations de douches normales suffisent, mais, s'il faut décontaminer beaucoup de personnes et s'il est impossible de les passer à la douche, il peut suffire de leur enlever avec soin leurs vêtements de dessus et de leur faire se laver le visage, les mains et parfois les cheveux. La décontamination individuelle peut revêtir une importance capitale pour ceux qui se trouvaient à l'air libre sous le panache radioactif, car la contamination de la peau, et en particulier de la chevelure, peut provoquer une forte irradiation. Il ne faut cependant pas considérer cette contre-mesure comme une solution à substituer à d'autres, par exemple à l'évacuation.

Relogement

Le relogement consiste en l'évacuation progressive de groupes de personnes dans des conditions de moindre urgence que celles qui appellent une évacuation proprement dite. On y recourt lorsque les expositions peuvent conduire à l'absorption de fortes doses accumulées après la fin du rejet accidentel et au moment où les retombées sur le sol donnent lieu à des irradiations externes. En cas d'accident qui appelle à la fois une évacuation et un relogement de la population de deux zones concentriques, ces deux mesures doivent être bien coordonnées de façon à assurer l'équité de l'application des mesures de santé publique aux deux groupes de personnes durant la phase de réoccupation. Cela revêt une importance particulière car, le plus souvent, la détermination des zones touchées et le début des opérations de relogement prendront quelque temps. Il faudra combiner l'évaluation de la dose reçue lors des opérations de relogement avec celle de la dose reçue sous abri, car les populations seront relogées après avoir été d'abord mises à l'abri.

Contrôle de l'accès au lieu de l'accident

Cette mesure permettra d'éviter toute augmentation du nombre des personnes atteintes par l'accident et de réduire au minimum les obstacles aux opérations de secours dans les zones touchées lors de la phase initiale de l'accident. Sur longue période, le contrôle de l'accès peut continuer de se révéler nécessaire

là où la contamination du sol aura pris des proportions importantes. Cette mesure présente un autre avantage, en ce sens qu'elle empêche le passage non autorisé d'articles contaminés dans les zones immunes durant les phases 2 et 3 de l'accident. Le plus difficile est de l'appliquer, et cela implique qu'il faut insister sur la coordination par les autorités responsables.

Contrôle des produits alimentaires

Le contrôle des aliments peut comporter l'interdiction ou la limitation de la consommation de certains aliments tels que le lait, les légumes ou l'eau. Après un rejet de matières radioactives dans l'atmosphère, il est peu probable que les eaux se trouvent contaminées à un point tel qu'il serait nécessaire d'en interdire la consommation. S'il existe des lacs de barrage, il faudra calculer les doses pour démontrer si leur eau reste propre à la consommation. Les légumes pourront être détruits et, si on les utilise pour nourrir les animaux, il faudra veiller à ce que leur irradiation ne puisse se transmettre indirectement aux êtres humains. D'autres aliments tels que le lait ou les produits laitiers pourront être mis en réserve pour utilisation ultérieure. Les aliments contaminés ne doivent pas être dilués par mélange avec des aliments non contaminés car, même si le risque radiologique présenté par l'aliment résultant de ce mélange devient minime, il est peu probable que les consommateurs l'acceptent.

La contamination de la viande de bovins et d'ovins et celle des produits laitiers provenant de leur élevage peut être réduite en alimentant ces animaux au moyen de fourrage stocké et en les retirant aussitôt que possible des pâturages.

Décontamination des zones

La décontamination des zones touchées peut consister en un lavage ou un dépoussiérage à l'aspirateur des routes, des surfaces des bâtiments et des matériels, un labourage des terres agricoles, l'enlèvement des couches superficielles du sol ou la fixation des contaminants. Cette mesure peut surtout s'appliquer dans les phases 2 et 3 de l'accident, de façon à réduire les irradiations externes provenant des retombées ainsi que les irradiations internes résultant de l'inhalation de matières radioactives remises en suspension.

La décontamination pose des problèmes, car elle est coûteuse et elle aboutit à la production de grandes quantités de déchets radioactifs dont il faut se débarrasser. La décontamination des bâtiments et des routes peut poser divers problèmes difficiles à résoudre, et la météorologie peut en compromettre l'efficacité et la possibilité.

Critères de choix entre les solutions

Les considérations qui influent sur le choix des contre-mesures à la suite d'un accident nucléaire sont les suivantes :

- la phase de l'accident;
- le volume de matières libérées;
- la composition de l'émission accidentelle;

- la situation ambiante au moment de l'accident;
- les voies d'exposition à partir de chacune des sources.

Le tableau 4 indique les principaux scénarios et les contre-mesures qui conviennent; il ne s'agit pas de mesures recommandées, mais simplement de celles qu'il faut envisager et qui paraissent matériellement applicables. Ce tableau appelle quelques remarques.

Les scénarios présentés ne constituent pas la totalité de ce que l'on pourrait imaginer : ce sont simplement les principaux et les plus probables. Ces scénarios et les contre-mesures correspondantes sont classés chronologiquement par phase de l'accident.

Les catégories de rejets accidentels à considérer se subdivisent en deux groupes, immédiats et retardés, et chacun d'eux peut être de courte ou de longue durée. C'est pourquoi quatre situations se présentent :

- rejet immédiat de courte durée;
- rejet immédiat de longue durée;
- rejet retardé de courte durée;
- rejet retardé de longue durée.

Les contre-mesures dépendront de la composition isotopique des matières rejetées, et l'on a choisi trois cas typiques : gaz nobles seulement, gaz nobles plus iode, produits de fission de longue vie.

Les sources d'exposition diffèrent, mais il s'agira probablement de l'une des sources suivantes :

- irradiation directe en provenance du réacteur
- nuage radioactif
- retombées sur le corps humain
- retombées sur le sol
- remise en suspension de la radioactivité provenant de sols contaminés
- chaîne alimentaire.

Les voies d'exposition considérées sont les suivantes :

- irradiation externe de l'organisme entier;
- irradiation interne de la thyroïde après inhalation de radionucléides;
- irradiation interne du poumon après inhalation de radionucléides;
- irradiation interne de l'os et de la moelle osseuse après inhalation de radionucléides;
- irradiation interne de l'organisme entier après inhalation de radionucléides;
- irradiation interne de la thyroïde après ingestion de radionucléides;
- enfin, irradiation interne de divers autres organes après ingestion de produits de fission de longue vie.

Le choix des contre-mesures repose sur :

- la volonté d'éviter des risques non stochastiques individuels;
- la réduction au minimum du risque stochastique couru par les individus.

L'identification et le choix des mesures adéquates dans toute situation donnée peuvent se trouver facilités si l'on utilise des programmes informatiques préétablis qui soient conçus pour déterminer les caractéristiques probables de l'accident et son évolution. La planification du choix des mesures à prendre peut s'appuyer sur la description des circonstances correspondant à la situation réelle dans chaque cas (23, 26, 84, 103, 104, 114, 115).

Tableau 4. Les scénarios les plus probables et les contre-mesures qui y sont le mieux adaptées

Phase de l'accident	Type de rejet	Composition de l'émission	Sources d'exposition	Voies d'exposition	Risques à éviter	Contre-mesures applicables
Initiale	Variable	Variable	Protection du réacteur	Irradiation externe (organisme entier)	Individuels, stochastiques et non stochastiques	Evacuation ^a
Initiale	Immédiat et court	Gaz nobles	Nuage	Irradiation externe (organisme entier)	Individuels, stochastiques et non stochastiques	Confinement (première priorité)
Initiale	Immédiat et court	Iode	Nuage, retombées sur le corps humain	Irradiation interne par inhalation, irradiation externe, irradiation interne par adsorption	Individuels, stochastiques et non stochastiques	Protection de l'appareil respiratoire, protection corporelle, confinement, KI, décontamination individuelle
Initiale	Immédiat et prolongé	Gaz nobles	Nuage	Irradiation externe	Individuels, stochastiques et non stochastiques	Confinement, contrôle de l'accès
Initiale	Immédiat et prolongé	Iode	Nuage, retombées sur le corps humain	Irradiation interne par inhalation, irradiation externe, irradiation interne	Individuels, stochastiques et non stochastiques	Protection de l'appareil respiratoire, protection corporelle, confinement, KI, évacuation ^a , décontamination individuelle
Initiale	Retardé et court	Gaz nobles	Probablement le nuage	Irradiation externe	Individuels, stochastiques et non stochastiques	Confinement, contrôle de l'accès

Tableau 4 (suite)

Initiale	Retardé et court	Iode	Probablement le nuage	Irradiation interne par inhalation	Individuels, stochastiques et non stochastiques	Confinement, contrôle de l'accès, KI, évacuation ^a
Initiale	Retardé et prolongé	Gaz nobles	Probablement le nuage	Irradiation externe	Individuels, stochastiques et non stochastiques	Confinement, contrôle de l'accès
Initiale	Retardé et prolongé	Iode	Probablement le nuage	Irradiation interne par inhalation	Individuels, stochastiques et non stochastiques	Confinement, contrôle de l'accès, KI, évacuation ^a
Intermédiaire	Variable	Variable	Protection du réacteur	Irradiation externe	Individuels, stochastiques	Evacuation, relogement ^a
Intermédiaire	Court	Iode	Retombées sur le sol	Irradiation externe	Individuels, non stochastiques	Evacuation ^a , relogement
			Chaîne alimentaire	Irradiation interne par ingestion	Individuels, stochastiques	Contrôle des aliments
Intermédiaire	Court	Produits de fission de longue vie	Retombées sur le sol	Irradiation externe	Individuels, non stochastiques	Evacuation ^a
					Individuels, stochastiques	Relogement
Intermédiaire	Prolongé	Gaz nobles	Nuage	Irradiation externe	Individuels, stochastiques et non stochastiques	Evacuation ^a , relogement

Tableau 4 (suite)

Intermédiaire	Prolongé	Iode	Nuage	Irradiation interne par inhalation	Individuels, stochastiques et non stochastiques	KI → relogement
			Retombées sur le sol	Irradiation externe	Individuels, stochastiques et non stochastiques	Relogement
			Chaîne alimentaire	Irradiation interne par ingestion	Individuels, stochastiques	Contrôle des aliments
Intermédiaire	Prolongé	Produits de fission de longue vie	Nuage	Irradiation interne par inhalation	Individuels, stochastiques et non stochastiques	Relogement
			Retombées sur le sol	Irradiation externe	Individuels, stochastiques et non stochastiques	Relogement
			Chaîne alimentaire	Irradiation interne par ingestion et remise en suspension	Individuels, stochastiques	Contrôle des aliments, relogement
Terminale	Court ou prolongé	Iode	Chaîne alimentaire	Irradiation interne par ingestion	Stochastiques	Contrôle des aliments
Terminale	Court ou prolongé	Produits de fission de longue vie	Retombées sur le sol	Irradiation externe	Stochastiques	Décontamination des zones
			Chaîne alimentaire	Irradiation interne par ingestion et remise en suspension	Stochastiques	Contrôle des aliments, décontamination des zones

^a Seulement sur de courtes distances et pour de petits groupes.

Conséquences psychosociales

L'expérience des accidents nucléaires civils conduit à penser que les personnes qui risquent d'en être les victimes doivent toutes être informées des mesures à prendre pour se protéger. Sachant que des contre-mesures ont déjà été appliquées avec succès, elles éprouveront moins d'anxiété et de tension psychologique. Il faut également informer les médecins, les auxiliaires médicaux, les personnels d'intervention et de sauvetage, ainsi que la population, notamment celle qui vit à proximité des installations nucléaires, des accidents nucléaires potentiels qui risquent de créer des dangers radiologiques pour leur santé et leur sécurité. Ainsi, la *Dauphin County Emergency Management Agency* a-t-elle publié une brochure intitulée *Three Mile Island. Emergency information for Dauphin County*. Il faut bien préciser que ces situations diffèrent du tout au tout de celles d'Hiroshima et de Nagasaki, ainsi que de l'accident de Marshall Island.

Nature du problème

L'individu réagit psychologiquement face aux rayonnements comme il le fait aux maladies ou traumatismes graves. Ses réactions tiennent :

- à l'impossibilité où se trouvent les sens de l'homme de déceler les rayonnements;
- à l'assimilation des effets des bombes atomiques (y compris l'explosion et l'incendie) au potentiel d'accidents de centrales;
- aux informations contradictoires diffusées au sujet des accidents nucléaires, par exemple à Three Mile Island (116-118);
- à l'insuffisance des informations, qui fait paraître irrationnelles les interventions des pouvoirs publics et fait éprouver aux individus des inquiétudes inutiles.

Prise en mains du problème

Il faut se rendre compte que l'inquiétude éprouvée par les populations voisines des installations nucléaires constitue une conséquence sanitaire réelle des accidents nucléaires, encore qu'elle ne soit pas nécessairement proportionnée au volume d'un éventuel rejet accidentel ni à l'exposition qui en résulterait.

C'est pourquoi il faut la considérer comme l'un des problèmes de santé publique à prendre en compte dans la planification des interventions en cas d'accident nucléaire. Cette planification doit s'appuyer sur celle réalisée et mise à l'épreuve dans le cas d'autres dangers potentiels présentés par l'environnement. L'existence d'un plan constitue en soi une mesure de prévention des inquiétudes inutiles de la population.

Préparatifs préalables

Il faut informer le public de l'emplacement et du fonctionnement des centrales nucléaires.

Cette information et la formation à y associer sont à assurer à la fois dans la zone visée par le plan d'urgence et hors de cette zone et doivent s'adresser aux professionnels de la santé (119), aux personnels d'intervention (120), à la population et aux agents des pouvoirs publics (121). Bien que la formule de présentation doive varier nécessairement selon le groupe visé, l'information et la formation doivent porter sur les méthodes de mesure des rayonnements (41-43), sur leurs effets tardifs et rapides (49, 50, 59, 62), ainsi que sur la nature et l'efficacité des contre-mesures; il faut également distribuer des matériels de formation, des brochures d'information et des matériels audiovisuels autopédagogiques, ainsi que réaliser des exercices fictifs d'alerte (122, 123).

Enfin, il faut établir des plans pour communiquer les informations à la population.

Application du plan

Il faut assurer à cette application une certaine souplesse pour pouvoir faire face à des situations diverses.

Il convient aussi d'être prêt à accorder un soutien psychologique spécial en cas de besoin, notamment aux personnels d'intervention, aux populations réunies dans les centres d'évacuation et aux patients qui éprouvent déjà des difficultés psychologiques.

Actions à envisager après l'accident

Il y a lieu d'assurer une éducation intensive concernant chaque opération de retour à la normale et la possibilité de voir les effets sur la santé se manifester après l'événement.

La prise en mains des problèmes psychologiques doit se voir confiée à nouveau aux organismes qui en sont normalement responsables.

Enfin, il y a lieu de procéder à une analyse après coup des résultats du plan d'urgence afin d'améliorer la prise en mains psychologique future des populations touchées par des accidents nucléaires.

Acceptation des plans par le public

L'élaboration de plans d'urgence détaillés, dont les éléments ont été exposés plus haut, ne vise pas exclusivement les accidents nucléaires, mais l'acceptation

des plans par le public pose cependant dans ce cas un problème psychologique qu'il est possible d'atténuer en insistant sur le fait que ce plan doit être intégré avec d'autres plans d'urgence élaborés pour répondre à des accidents naturels ou industriels, par exemple ceux de l'industrie chimique ou pétrochimique.

Il convient également de souligner que les plans d'urgence nucléaire comportent diverses mesures, allant d'actions simples, telles que le fait de rester chez soi et de fermer les fenêtres, à des mesures plus draconiennes telles que l'évacuation, et que la probabilité d'avoir à recourir à ces dernières reste faible.

Choix des seuils de référence

Orientations générales

Les principes des décisions à prendre en cas d'accident nucléaire ne diffèrent pas essentiellement de ceux des décisions qu'appelle toute sorte d'urgence. Dans tous les cas, les personnes amenées à prendre ces décisions disposent d'informations concrètes, d'hypothèses, d'une connaissance des conséquences certaines ou potentielles de l'accident, et de deux options ou davantage parmi lesquelles elles peuvent opérer un choix.

Les décisions concernant l'application de contre-mesures résultent d'une analyse qui compare la dose évitée (c'est-à-dire l'efficacité des contre-mesures) au coût total de ces contre-mesures. Le problème général qui se pose immédiatement tient au fait que les résultats de cette analyse différeront d'un cas à l'autre en fonction de considérations telles que la démographie, l'écologie, la météorologie et la chronologie de l'accident. En outre, comme chaque contre-mesure présente des aspects positifs et négatifs, chacune devra faire l'objet d'une décision spécifique.

On a vu que les décisions devront se fonder, du point de vue radiologique, sur les doses individuelles calculées par projection. Ces doses calculées qui appelleront telle ou telle contre-mesure dépendront du site de l'accident, de l'installation et de l'analyse de la séquence potentielle des événements. On a vu aussi que les contre-mesures doivent s'assortir d'assez de flexibilité pour pouvoir être adaptées aux groupes de population exposés et à toutes les conditions qui existent dans la région au moment de l'accident. De plus, il faudra également tenir compte, dans le calcul des doses accumulées qui appelleront des décisions, des réductions de doses obtenues grâce à des contre-mesures précédentes. Ces principes généraux ont déjà été dégagés par l'AIEA (10, 14), les Communautés européennes (124) et la CIPR (7).

L'un des principaux critères de décision, qui échappe par définition au contrôle de qui que ce soit, est le facteur temps. C'est pourquoi les décisions concernant les mesures à prendre différeront à chaque phase de la séquence accidentelle.

Durant la phase initiale, la caractéristique principale des décisions concernant la population est qu'elles doivent s'appuyer sur la situation qui règne dans l'installation. L'objectif recherché est d'intervenir en fonction des risques individuels probables et, pour cela, il y aura vraisemblablement trois fourchettes

de doses intéressantes, y compris une fourchette supérieure dans laquelle aucun effet non stochastique ne peut se produire, et une fourchette inférieure où le risque potentiel d'irradiation est si faible qu'il ne vaut pas la peine de recourir à des contre-mesures. Il faut donc, en principe, déterminer des seuils d'intervention applicables aux contre-mesures correspondant à la fourchette intermédiaire, qui dépendront des caractéristiques de l'emplacement. Ces seuils doivent pouvoir s'appliquer de façon flexible afin de répondre à toutes les situations qui pourraient se présenter au moment de l'accident.

Durant la phase intermédiaire, et si les retombées au sol ont été fortes, il convient de prendre les décisions selon les mêmes critères que ceux de la phase initiale pour ce qui concerne les populations exposées aux plus fortes doses potentielles. Il faudra également envisager le contrôle des aliments et le relogement ordonné de groupes de population. Ces décisions dépendront probablement de l'étendue de la contamination des sols ainsi que de la nature des activités dans les zones ainsi touchées.

Durant la phase de réoccupation, le problème consistera à choisir les critères de retour de la population et de reprise de la distribution normale de produits alimentaires.

Dans bien des cas, il sera difficile de calculer le coût total des contre-mesures prises, car ce calcul doit faire intervenir de nombreuses données entachées d'importantes incertitudes. On a évalué pourtant diverses mesures (23, 101), et comparé principalement les coûts de l'évacuation et du relogement (c'est-à-dire les coûts par personne évacuée ou relogée). Mais il faut également tenir compte d'autres coûts, par exemple celui des dommages causés aux biens, celui des pertes de récolte, celui de la décontamination, etc. Cela dit, le coût ne sera qu'un seul facteur à considérer lorsqu'il s'agira de se prononcer sur les mesures à prendre dans la phase initiale, que ces mesures soient à la charge des responsables de l'installation nucléaire, de l'autorité chargée de l'opération de secours, ou des autorités nationales compétentes (14).

Seuils de référence

On peut choisir comme références, dans un vaste éventail de doses calculées par projection, un certain nombre de seuils de doses particuliers, et s'y reporter pour déclencher les interventions d'urgence en cas d'accident. Le seuil de référence le plus bas correspond aux doses au-dessous desquelles il n'y aurait pas nécessité de prendre telle ou telle disposition (7, 12, 14). Il s'agirait donc d'un seuil généralement applicable, et il n'y aurait lieu de chercher à évaluer la situation en vue de prendre des décisions que lorsqu'il serait dépassé.

Le seuil de référence supérieur correspond à la dose probable au-delà de laquelle il serait pratiquement nécessaire d'appliquer dans tous les cas des mesures correctives (7, 12, 14). Il est beaucoup plus difficile de définir avec précision que le précédent, car l'efficacité de toute contre-mesure est variable et dépend de nombreux facteurs.

La situation socio-économique et démographique, les caractéristiques de l'environnement des installations nucléaires et les types de centrales concernés en cas d'accident varient d'un pays à l'autre et, comme les seuils de référence doivent tenir compte de tous ces grands facteurs, il n'est pas possible d'en

recommander qui soient universellement applicables. En fait, les seuils de référence recommandés dans les différents pays comportent tous une large fourchette de valeurs, correspondant à ces situations, conditions et facteurs différents (12, 14, 15, 19, 25-30, 125-133, et T. Nagaoka, chiffres inédits, 1981).

Dans la pratique, il faudra retenir des seuils de référence dérivés, à appliquer sur la base des mesures de la radioactivité réalisées dans l'environnement et correspondant aux concentrations de radionucléides dans l'air, dans l'eau de boisson, dans les aliments et sur les surfaces. Il peut s'agir de concentrations de chaque radionucléide ou bien de mélanges dont on peut envisager le rejet accidentel (7, 10, 14). Pour faciliter les décisions, il est recommandé aux autorités responsables d'avoir sous la main des tableaux ou des diagrammes contenant les indications appropriées sur les voies de propagation, les radionucléides, les groupes de population et les seuils dérivés d'intervention à retenir pour se prononcer au sujet de chaque type de contre-mesures.

Les seuils de référence doivent être nationaux, de manière à tenir compte du caractère particulier de chaque rejet accidentel et des expositions qui en résulteront probablement. Les cas les plus vraisemblables de rejet accidentel de matières radioactives sont présentés sous une forme succincte au tableau 4 et, en considérant les divers types possibles d'exposition et les principales contre-mesures à prendre, il est possible de distinguer sept seuils de référence allant de A à G, comme on le voit au tableau 5. Les principales contre-mesures à prendre à chacun de ces seuils sont les suivantes.

Confinement et distribution d'iode stable (A, B, C, D)

Dans toutes les situations qui risquent de se présenter durant la phase initiale, les décisions seront les mêmes. La prise de contre-mesures commencera probablement à être envisagée à des doses voisines des maximums autorisés dans le cas des individus. Ces décisions s'appuieront probablement sur des données non quantitatives et, à titre purement indicatif, le confinement ne sera généralement pas nécessaire en présence de doses à l'organisme entier qui n'atteignent pas la dose annuelle maximale admise pour les individus. Il faudra probablement agir dès que les doses dépassent dix fois cette limite. Toutefois, le chiffre inférieur et le chiffre supérieur de la fourchette ne sont qu'indicatifs et ne doivent servir que de points de référence générale.

Evacuation dans la phase initiale (D)

Il s'agit là d'une évacuation possible destinée à éviter une exposition au nuage radioactif et qui ne sera réaliste qu'en cas d'émission accidentelle prévisible assez tôt pour laisser le temps d'intervenir, ou en cas d'émission très prolongée où le temps nécessaire au déplacement des populations sera bien inférieur à la durée du rejet. Les seuils de référence doivent être élevés, à la fois pour les inhalations et les doses à l'organisme entier, et il conviendrait de n'envisager l'évacuation que lorsqu'elles dépassent dix fois la dose annuelle maximale; la dose à laquelle on y procédera en tout état de cause doit être fixée de manière à éviter tout effet non stochastique.

Tableau 5. Seuils de référence pour la prise de contre-mesures dans différentes situations d'exposition

Situation d'exposition	Seuils de référence et contre-mesures correspondantes						
	A Protection de l'appareil respiratoire	B Administration d'iode	C Confinement	D Confinement/ évacuation	E Evacuation	F Relogement	G Décontamination et restrictions agricoles (sur le lait)
Phase	Initiale				Intermédiaire		
					Terminale		
Source	Nuage				Retombées au sol		Aliments
Voie d'exposition	Inhalation			Nuage	Irradiation externe		Ingestion
Doses à retenir	Doses engagées par inhalation			Dose externe provenant du nuage	Dose projetée sur courte période	Dose externe projetée sur l'année	Dose projetée sur l'année
Risque d'effet aigu	+	+	+	+	+		
Possibilité d'application de la contre-mesure :							
— gaz nobles				+			
— gaz nobles + iode	+	+	+	+	+		+
— gaz nobles + iode + césium, etc.	+	+	+	+	+	+	+

Evacuation dans la phase intermédiaire (E)

On aura affaire en l'occurrence à une dose calculée par projection sur courte période qui appellera une décision urgente en matière d'évacuation. Le calcul de cette dose doit porter sur une durée de l'ordre d'une semaine, et la considération critique peut être ses effets tératogènes. Il faut envisager une évacuation destinée à éviter un équivalent de dose instantané d'environ vingt fois la dose annuelle maximale admise pour les individus, soit par exemple, dans la pratique, quelques mGy/j pour les premiers jours suivant l'accident. L'évacuation devra être décidée lorsque les doses dépassent dix fois ce chiffre.

Relogement (F)

Les décisions en matière de relogement dépendent de l'étendue du territoire touché ainsi que de la nature des activités qui s'y déroulent normalement. Aucune décision positive ne doit être prise lorsque les doses annuelles sont du même ordre que les doses naturelles. En général, lorsque la dose externe égale la dose annuelle maximale autorisée pour les travailleurs professionnellement exposés, il faudra procéder au relogement. Toutefois, les valeurs retenues doivent rester suffisamment flexibles pour répondre aux circonstances véritables.

Décontamination des zones et séquestre des approvisionnements alimentaires (G)

Il faudra, à ce point, faire intervenir des considérations de coût et d'avantages pour décider de la dose individuelle, résultant de la contamination du sol, à laquelle une vie normale pourra être reprise dans la zone. En général, il ne sera pas besoin de dépasser les doses annuelles maximales admises pour les individus et qui résultent de la consommation de produits alimentaires, à moins d'un risque grave de carence nutritionnelle. Par contre, dans le cas du lait frais, le séquestre des approvisionnements à des doses sensiblement plus faibles pourrait s'assortir d'un bon rapport efficacité/coût.

Bibliographie

1. *Effets génétiques des radiations chez l'homme*. Genève, Organisation mondiale de la santé, 1957.
2. *Diagnostic et traitement des radiolésions aiguës*. Genève, Organisation mondiale de la santé, 1961.
3. *Protection de la population en cas d'accident nucléaire*. Genève, Organisation mondiale de la santé, 1965.
4. *Energie nucléaire et santé : rapport sur la réunion d'un groupe de travail*. Copenhague, OMS, Bureau régional de l'Europe, 1979 (OMS, Publications régionales, Série européenne, N°3).
5. *Energie nucléaire : les éléments transuraniens et la santé*. Copenhague, OMS, Bureau régional de l'Europe, 1985 (OMS, Publications régionales, Série européenne, N°11).
6. *Energie nucléaire : gestion des déchets hautement radioactifs*. Copenhague, OMS, Bureau régional de l'Europe, 1984 (OMS, Publications régionales, Série européenne, N°13).
7. **Commission internationale de protection radiologique**. Recommandations de la CIPR. *Annals of the ICRP*, 1(3), 1977 (CIPR, publication 26).
8. **Commission internationale de protection radiologique**. Statement and recommendations of the 1980 Brighton meeting of the ICRP. *Annals of the ICRP*, 4(3/4) (1980).
9. **Commission internationale de protection radiologique**. The principles and general procedures for handling emergency and accidental exposures of workers. *Annals of the ICRP*, 2(1), 1978 (CIPR, publication 28).
10. *Basic safety standards for radiation protection : rapport d'un groupe consultatif*. Vienne, Agence internationale de l'énergie atomique, 1982.
11. **Collins, H.E. et al.** *Planning basis for the development of state and local government radiological emergency response plans in support of light water nuclear power plants*. Washington, DC, US Nuclear Regulatory Commission, 1978 (report NUREG-0396, EPA 520/1-78-016).
12. *Radiological protection criteria for controlling doses to the public in the event of accidental releases of radioactive material*. A guide on emergency reference levels of dose from the group of experts convened under Article 31 of the Euratom Treaty. Bruxelles, Commission des Communautés européennes, 1982.
13. *Planning for off-site response to radiation accidents in nuclear facilities*. Vienne, Agence internationale de l'énergie atomique, 1979 (Rapport IAEA-TECH DOC 225).

14. *Planning for off-site response to radiation accidents in nuclear facilities.* Vienne, Agence internationale de l'énergie atomique, 1981 (IAEA Safety Series, N° 55).
15. *Emergency plan in the event of an accident in a nuclear installation.* Paris, OMS, Centre international de radiopathologie, 1982.
16. **Jammet, H. et al.** Application of the International Commission on Radiological Protection doctrine to intervention in the case of an accident at a nuclear power station. In : *Proceedings of the International Conference on Current Nuclear Power Plants Safety Issues, Stockholm, 20-24 October 1980.* Vienne, Agence internationale de l'énergie atomique, 1981, Vol. II, pp. 55-65.
17. **Hamard, J. et al.** Basic principles for emergency preparedness. In : *Proceedings, Radiological Protection - Advances in Theory and Practice, Third International Symposium, Society for Radiological Protection, Inverness, Scotland, 6-11 June 1982,* pp. 221-226.
18. **Institut für Reaktorsicherheit der Technischen Überwachungs-Vereine.** *Basic recommendations for disaster control in the environment of nuclear installations.* Bonn, Ministère fédéral de l'intérieur, 1975.
19. **Clarke, R.H.** Revised emergency reference levels of dose for controlling accidental exposure of members of the public in the UK. In : *Proceedings of the International Symposium on the Application of the Dose Limitation System in Nuclear Fuel Cycle Facilities and Other Radiation Practices, Madrid, 19-23 October 1981.* Vienne, Agence internationale de l'énergie atomique, 1982 (rapport IAEA-SM-258/19).
20. *PRA procedures guide : a guide to the performance of probabilistic risk assessments for nuclear power plants.* Appendix F : Liquid-pathway consequence analysis. Washington, DC, US Nuclear Regulatory Commission, 1982 (report NUREG/CR-2300), Vol. 2, Rev. 1.
21. **Hamard, J. & Bousquet-Clayeux, G.** The French emergency plans in the event of nuclear accidents. The 27th Annual Meeting of the Health Physics Society, Las Vegas, Nevada, 27 June-1 July 1982. *Health physics* (sous presse).
22. **Le Grand, J. et al.** Methodology and practical basis for emergency planning in case of accidental release. In : *Proceedings of the International ANS/ENS Topical Meeting on Probabilistic Risk Assessment, Port Chester, 20-24 September 1981.* LaGrange Park, IL, American Nuclear Society, 1982.
23. *Reactor safety study. Appendix VI : Calculation of reactor accident consequences.* Washington, DC, US Nuclear Regulatory Commission, 1975 (report WASH-1400).
24. **Wilson, R.** Nuclear accident scenarios and implications for emergency planning. *Health physics*, **40** : 287-290 (1981).
25. **US Nuclear Regulatory Commission.** Emergency planning; final regulations. *Federal register*, **45**(162) : 55 402-55 418 (1980).
26. *Criteria for preparation and evaluation of radiological emergency response plan and preparedness in support of nuclear power plants.* Washington, DC, US Nuclear Regulatory Commission, 1980 (report NUREG-0654).

27. *Emergency planning for research reactors*. Regulatory Guide 2.6. Washington, DC, US Nuclear Regulatory Commission, 1979.
28. *Functional criteria for emergency response facilities*. Washington, DC, US Nuclear Regulatory Commission, 1981 (report NUREG-0696).
29. *Report to Congress : NRC incident response plan*. Washington, DC, US Nuclear Regulatory Commission, 1980 (report NUREG-0728).
30. *Report to Congress on status of emergency response planning for nuclear power plants*. Washington, DC, US Nuclear Regulatory Commission, 1981 (report NUREG-0755).
31. **Commission internationale de protection radiologique**. Limits for intakes of radionuclides by workers. *Annals of the ICRP*, 2(3/4), 1979 (CIPR, publication 30), Part 1.
32. **Commission internationale de protection radiologique**. Limits for intake of radionuclides by workers. *Annals of the ICRP*, 4(3/4), 1980 (CIPR, publication 30), Part 2.
33. Madelmont, C. et al. Radiological impact of nuclear power plants and other nuclear installations on man and his environment. In : *Joint Radiation Protection Meeting of the Société française de radioprotection and Fachverband für Strahlenschutz e.V., Lausanne, 30 September – 2 October 1981*, pp. 507 – 514.
34. *Atmospheric dispersion in nuclear power plant siting*. Vienne, Agence internationale de l'énergie atomique, 1980 (Safety Series N° 50-SG-S3).
35. Le Grand, J. & Manesse, D. *Modèle IPSN pour le calcul simplifié de la dispersion atmosphérique des rejets accidentels*. Fontenay-aux-Roses, Commission de l'énergie atomique, 1982 (rapport CEA-R-5170).
36. *Methods for estimating atmospheric transport and dispersion of gaseous effluents in routine releases from light-water-cooled reactors*. Regulatory Guide. 1.III, Revision 1. Washington, DC, US Nuclear Regulatory Commission, 1977.
37. *PRA procedures guide : a guide to the performance of probabilistic risk assessments for nuclear power plants*. Chapter 9 : Environmental transport and consequence analysis. Washington, DC, US Nuclear Regulatory Commission, 1982 (report NUREG/CR-2300), Vol. 2, Rev. 1.
38. Clarke, R.H. & Kelly, G.N. *MARC. The NRPB methodology for assessing radiological consequences of accidental releases of activity*. Chilton, National Radiological Protection Board, 1981 (NRPB Report 127).
39. Robeau, D. et al. Atmospheric transfer model for radiological emergency preparedness for complex terrain. In : *Proceedings of the International Meeting on Thermal Nuclear Reactor Safety, Chicago, 23 August – 2 September 1982*. Washington, DC, US Nuclear Regulatory Commission, 1983.
40. *Estimating aquatic dispersion of effluents from accidental and routine reactor releases for the purpose of implementing*. Appendix 1, Regulatory Guide 1.113, Revision 1. Washington, DC, US Nuclear Regulatory Commission, 1977.
41. *Programs for monitoring radioactivity in the environs of nuclear power plants*. Regulatory Guide 4.1, Revision 1. Washington, DC, US Nuclear Regulatory Commission, 1975.

42. *Instrumentation for light-water-cooled nuclear power plants to assess plant and environs conditions during and following an accident*. Regulatory Guide 1.97, Revision 2. Washington, DC, US Nuclear Regulatory Commission, 1980.
43. *Guidance on offsite emergency radiation measurement systems. Phase 1. Airborne release*. Washington, DC, Federal Emergency Management Agency, 1980 (report FEMA-REP-2).
44. **Distenfield, C. & Klemish, J.** *Environmental radioiodine monitoring to control exposure expected from containment release accidents*. Washington, DC, US Nuclear Regulatory Commission, 1978 (report NUREG/CR-0315, BNL-50882).
45. **Commission internationale de protection radiologique**. Problems involved in developing an index of harm. *Annals of the ICRP*, 1(4), 1978 (CIPR, publication 27).
46. *Ionizing radiation : levels and effects*. Rapport du Comité scientifique de l'Organisation des Nations Unies à l'Assemblée générale des Nations Unies sur les effets des rayonnements atomiques. New York, UNSCEAR, 1977.
47. *The effects on populations of exposure to low levels of ionizing radiation*. Report of the Committee on the Biological Effects of Ionizing Radiation, BEIR III. Washington, DC, US National Academy of Sciences, 1980.
48. **Commission internationale de protection radiologique**. Biological effects of inhaled radionuclides. *Annals of the ICRP*, 4(1/2), 1980 (CIPR, publication 31).
49. **Wald, N.** Radiation injury. In : *Cecil's textbook of medicine*. 16th ed. Philadelphie, W.B. Saunders, 1982.
50. **Grosch, D.S. & Hopwood, L.E.** *Biological effects of radiation*, 2nd ed. New York, Academic Press, 1979.
51. **Los Alamos Scientific Laboratory & McDonnell Aircraft Corporation**. Radiation biology and space : environmental parameters in manned spacecraft design and operations. *Aerospace medicine*, 35(2) : Sect. II (1965).
52. **Langham, W.H.**, ed. *Radiobiological factors in manned space flight*. Washington, DC, National Academy of Sciences & National Research Council, 1967 (Publication 1487).
53. **Ellis, F.** Dose, time and fractionation : a clinical hypothesis. *Clinical radiology*, 20 : 1-7 (1969).
54. **Orton, C.C. & Ellis, F.** A simplification in the use of the NSD concept in practical radiotherapy. *British journal of radiology*, 46 : 529-537 (1973).
55. **Turesson, I.** *Fractionation and dose-rate in radiotherapy. An experimental and clinical study of the cumulative radiation effect*. Thèse, Université de Göteborg, 1979.
56. **Turesson, I. & Notter, G.** The response of pig skin to single and fractionated high dose-rate and continuous low dose-rate irradiation — III : Re-evaluation of the CRE-system and the TDF-system according to the present findings. *International journal of radiation oncology, biology, physics*, 5 : 1773-1779 (1979).
57. *Radiation quantities and units*. Washington, DC, International Commission of Radiation Units and Measurements, 1980 (ICRU Report 33).

58. Bond, V.P. et al. *Mammalian radiation lethality : a disturbance in cellular kinetics*. New York, Academic Press, 1965.
59. Norwood, W.D. *Health protection of radiation workers*. Springfield, IL, C.C. Thomas, 1975.
60. Wald, N. & Watson, J.A. Medical modification of human acute radiation injury. *Proceedings of the IVth International Congress of the International Radiation Protection Association*, 4 : 1183-1190 (1977).
61. *Manual on early medical treatment of possible radiation injury*. Vienne, Agence internationale de l'énergie atomique, 1978 (IAEA Safety Series, N° 47).
62. Hubner, K.F. & Fry, S.A. *The medical basis for radiation accident preparedness. Proceedings of the REAC/TS International Conference, Oak Ridge, TN, 18-20 October 1979*. New York, Elsevier North-Holland, 1980.
63. Hahn, F.F. *Early mortality estimates for different nuclear accidents. Final phase 1 report, October 1977-April 1979*. Washington, DC, US Nuclear Regulatory Commission, 1979 (report NUREG/CR-0774).
64. Filipy, R.E. et al. *A mathematical model for predicting the probability of acute mortality in a human population exposed to accidentally released airborne radionuclides*. Washington, DC, US Nuclear Regulatory Commission, 1980 (report NUREG/CR-1261).
65. Fryer, C.J.H. et al. Radiation pneumonitis : experience following a large single dose of radiation. *International journal of radiation oncology, biology, physics*, 4 : 931-936 (1978).
66. Fowler, J.F. & Travis, E.L. Radiation pneumonitis syndrome in half body radiation therapy. *International journal of radiation oncology, biology, physics*, 4 : 1111-1113 (1978).
67. Philips, T.L. & Margolis, L. Radiation pathology and the clinical response of lung and oesophagus. In : Vaeth, J.M., ed. *Frontiers of radiation therapy and oncology*. Bâle, S. Karger, 1972, Vol. 6, pp. 254-273.
68. Rubin, P. & Casarett, G.W. *Clinical radiation pathology*. Philadelphie, W.B. Saunders, 1968.
69. Golden, A.W. & Davey, J.B. The ablation of normal thyroid tissue with iodine-131. *British journal of radiology*, 36 : 340-345 (1963).
70. Beling, N. & Einhorn, J. Incidence of hyperthyroidism and recurrences following ¹³¹I treatment and hyperthyroidism. *Acta radiologica*, 56 : 275-288 (1961).
71. *Protection of the thyroid gland in the event of releases of radioiodine*. Washington, DC, National Council on Radiation Protection and Measurements, 1977 (NCRP Report N° 55).
72. Maxon, H.R. et al. Ionizing irradiation and the induction of clinically significant disease in the human thyroid gland. *American journal of medicine*, 63 : 967-978 (1977).
73. Markson, J.L. & Flatman, G.E. Myxoedema after deep X-ray therapy to the neck. *British medical journal*, 1 : 1228-1230 (1965).
74. Rogoway, W.M. et al. Myxoedema developing after lymphangiography and neck irradiation. *Clinical research*, 14 : 133 (1966).
75. Fletcher, G.H. *Textbook of radiotherapy*, 3rd ed. Philadelphie, Lea and Febiger, 1980.

76. **Sternberg, J.** Irradiation and radiocontamination during pregnancy. *American journal of obstetrics and gynecology*, **108** : 490-513 (1970).
77. **Brent, R.L. & Gorson, R.O.** Radiation exposure in pregnancy. *Current problems in radiology*, Vol. II, N° 5, septembre-octobre 1972.
78. **Brent, R.L.** Radiation teratogenesis. *Teratology*, **21** : 281-298 (1980).
79. **Mole, R.H.** Radiation effects on prenatal development and the radiological significance. *British journal of radiology*, **52** : 89 (1979).
80. *Instruction concerning prenatal radiation exposure*. Proposed revision 2 to Regulatory Guide 8.13. Washington, DC, US Nuclear Regulatory Commission, 1981 (report Task OP 031-4).
81. **Clarke, R.H. & Smith, H.** *A procedure for calculating the incidence of stochastic health effects in irradiated populations*. Chilton, National Radiological Protection Board, 1980 (NRPB Report R 102).
82. **Shore, R.E. et al.** Radiation and host factors in human thyroid tumors following thymus irradiation. *Health physics*, **38** : 451-466 (1980).
83. *Manual of protective action guides and protective actions for nuclear incidents*. Washington, DC, US Environmental Protection Agency, 1975 (report 520/1-75-001).
84. **Aldrich, D.C. et al.** Examination of off-site emergency protective measures for core melt accidents. In : *Proceedings of the ANS Topical Meeting, Newport Beach, CA, 5-8 October 1978*. LaGrange Park, IL, American Nuclear Society, 1979.
85. *Management of persons accidentally contaminated with radionuclides*. Washington, DC, National Council on Radiation Protection and Measurements, 1980 (NCRP Report N° 65).
86. **Anno, G.H. & Dore, M.A.** *The effectiveness of sheltering as a protective action against nuclide accidents involving gaseous releases*. Washington, DC, US Environmental Protection Agency, 1978 (report 520/1-78-001 A).
87. *Construction et protection contre les retombées radioactives*. Paris, Direction de la sécurité civile, Ministère de l'intérieur, 1976 (Fascicule 1).
88. **Aldrich, D.C. et al.** *Public protection strategies for potential nuclear reactor accidents : sheltering concepts with existing public and private structures*. Albuquerque, NM, Sandia Laboratories, 1977 (report SAND 77-1725).
89. **Aldrich, D.C. & Blond, R.M.** *Examination of the use of potassium iodide as an emergency protective measure for nuclear reactor accidents*. Albuquerque, NM, Sandia Laboratories, 1980 (report SAND 80-0981).
90. **Stemthal, E. et al.** Suppression of thyroid radioiodine uptake by various doses of stable iodine. *New England journal of medicine*, **303**(19) : 1083-1088 (1980).
91. **Volf, V.** Jodtabletten als Schilddrüsenschutz nach Reaktorunfall : Risiko-Nutzen-Überlegungen. *Atomkernenergie-Kerntechnik*, **37**(1) : 50-54 (1981).
92. **Wootton, R. & Hammond, B.J.** A computer simulation study of optimal thyroid radiation protection during investigations involving the administration of radioiodine-labelled pharmaceuticals. *British journal of radiology*, **51** : 265-272 (1978).

93. Aldrich, D.C. & Blond, R.M. Radiation protection : an analysis of thyroid blocking. In : *Proceedings of the International Conference on Current Nuclear Power Plant Safety Issues, Stockholm, 20-24 October 1980*. Vienne, Agence internationale de l'énergie atomique, 1981 (rapport IAEA-CN 38/102), pp. 67-80.
94. Saxena, K.M. et al. Minimum dosage of iodide required to suppress uptake of iodine-131 by normal thyroid. *Science*, **138** : 430-431 (1962).
95. US Food and Drug Administration. Accidental radioactive contamination of human and animals feeds and potassium iodide as a thyroid blocking agent in a radiation emergency. *Federal register*, **43** : 58 798 (1978).
96. Livadas, D.P. et al. The toxic effects of small iodine supplements in patients with autonomous thyroid nodules. *Clinical endocrinology*, **7** : 121-127 (1977).
97. Stone, O.J. What are the non-endocrinal biologic effects of iodides ? *Medical times*, **99** : 143-155 (1971).
98. Shelly, W.B. Generalized pustular psoriasis induced by potassium iodide. *Journal of the American Medical Association*, **201** : 133-137 (1967).
99. Cooper, D.W. et al. *Expedient methods of respiratory protection* : final report. Albuquerque, NM, Sandia Laboratories, 1981.
100. *Acceptable programs for respiratory protection*. Regulatory Guide 8.15. Washington, DC, US Nuclear Regulatory Commission, 1976.
101. Hands, J.M. & Sell, T.C. *Evacuation risk - an evaluation*. Washington, DC, US Environmental Protection Agency, 1974 (report EPA-520/6-74-002).
102. *Dynamic evacuation analyses : independent assessments of evacuation times from the plume exposure pathway emergency planning zones of twelve nuclear power stations*. Washington, DC, Federal Emergency Management Agency, 1981.
103. Aldrich, D.C. et al. *A model of public evacuation for atmospheric radiological releases*. Albuquerque, NM, Sandia Laboratories, 1978 (report SAND 78-0092).
104. Urbanik, T. et al. *Analysis of techniques for estimating evacuation times for emergency planning zones*. Washington, DC, US Nuclear Regulatory Commission, 1980 (report NUREG/CR-1745).
105. *Les statistiques relatives aux accidents de la route* : rapport sur la réunion d'un groupe technique de l'OMS. Copenhague, OMS, Bureau régional de l'Europe, 1981 (Rapports et Etudes EURO, N° 19).
106. Wald, N. The Three Mile Island incident in 1979 : the state response. In : *The medical basis for radiation accident preparedness*. New York, Elsevier North-Holland, 1980, pp. 491- 500.
107. Hull, A.P. Critical evaluation of radiological measurements and of the need for evacuation of the nearby public during The Three Mile Island incident. In : *Proceedings of the International Conference on Current Nuclear Power Plant Safety Issues, Stockholm, 20-24 October 1980*. Vienne, Agence internationale de l'énergie atomique, 1981 (rapport IAEA-CN-39/97), pp. 81-96.
108. Hilbert, G.D. et al. *Mississauga evacuates : a report on the closing of Canada's ninth largest city*. Rockville, MD, NUS Corporation, 1980 (report NUS-3614).

109. **Graff, P.** Evacuation de population dans une situation d'urgence. Exemple de l'éruption de la Soufrière (Guadeloupe) en juillet et août 1976. In : *Proceedings of the International Conference on Current Nuclear Power Plant Safety Issues, Stockholm, 20-24 October 1980*. Vienne, Agence internationale de l'énergie atomique, 1981 (rapport IAEA-CN-39/8.1), pp. 359-377.
110. **Bastien, M.C. et al.** Evacuation risks : a tentative approach for quantification. *Risk analysis* (sous presse).
111. **Lindell, M.K. & Greene, M.R.** *Evacuation planning in emergency management*. Lexington, Lexington Books, 1982.
112. **Smith, J.S. & Fisher, J.H.** Three Mile Island. The silent disaster. *Journal of the American Medical Association*, **245** : 1656-1659 (1981).
113. **Hull, A.P.** Emergency preparedness for what ? (Implication of the TMI-2 accident). *Nuclear news*, avril 1981, pp. 61-67.
114. **Aldrich, D.C. et al.** *Examination of off-site radiological emergency protective measures for nuclear reactor accidents involving core melt*. Albuquerque, NM, Sandia Laboratories, 1978 (report SAND 8-0454).
115. **Aldrich, D.C. et al.** *Effect of revised evacuation model on reactor safety accident consequences*. Albuquerque, NM, Sandia Laboratories, 1979 (report SAND 79-0095).
116. **Kasl, S.V. et al.** The impact of the accident at the Three Mile Island on the behavior and well-being of nuclear workers. *American journal of public health*, **71**(5) : 472-495 (1981).
117. **Bromet, E. et al.** *Three Mile Island : mental health findings*. Université de Pittsburgh, Département de psychiatrie, 1980.
118. **Macleod, G.K.** Some public health lessons from Three Mile Island : a case study in chaos. *Ambio*, **10** : 18-23 (1981).
119. **Weidner, W.A. et al.** The impact of a nuclear crisis on a radiology department. *Radiology*, **135**(3) : 717-723 (1980).
120. *Preparedness of the operating organization (licensee) for emergencies at nuclear power plants. A safety guide*. Vienne, Agence internationale de l'énergie atomique, 1982 (IAEA Safety Series, N° 50-SG-06).
121. *Preparedness of public authorities for emergencies at nuclear power plants. A safety guide*. Vienne, Agence internationale de l'énergie atomique, 1982 (IAEA Safety Series, N° 50-SG-G6).
122. **ANS Standards Committee Working Group.** *American national Standard for radiological emergency preparedness exercises for nuclear power plants*. LaGrange Park, IL, American Nuclear Society, 1979 (report ANSI/ANS-3.7.3).
123. **Wagadarikar, V.K. et al.** Training for handling of radiation emergency situations in nuclear power plants. In : *Proceedings, IAEA Seminar on Radiation Emergency Preparedness (Health Physics and Medical Aspects), Kalpakkam, India, 30 November-11 December 1981*. Kalpakkam, Reactor Research Centre, 1982 (report RRC-55).
124. **Conseil des ministres des Communautés européennes.** Directive du 15 juillet 1980 portant amendement des directives fixant les normes de sécurité de base pour la protection de la population et des travailleurs contre les

- risques des rayonnements ionisants. *Journal officiel des Communautés européennes*, N° L 246, 17 septembre 1980.
125. *Emergency reference levels : interim guidance*. Harwell, National Radiological Protection Board, 1977 (report ERL 1).
 126. *Emergency reference levels : criteria for limiting doses to the public in the event of accidental exposure to radiation*. Harwell, National Radiological Protection Board, 1981 (report ERL 2).
 127. **Betz, B. et al.** *Der Reaktorunfall*. Munich, Schriftenreihe der Bayerischen Landesärztekammer, 1980.
 128. **Hesel, D. & Schadt, H.** Dose limitation in high consequence-low probability nuclear accidents in the Federal Republic of Germany. In : *Proceedings of the International Symposium on the Application of the Dose Limitation System in Nuclear Fuel Cycle Facilities and Other Radiation Practices, Madrid, 19-23 October 1981*. Vienne, Agence internationale de l'énergie atomique, 1982 (rapport IAEA-SM-258/1).
 129. **Pretre, S. et al.** Nuclear emergency planning in Switzerland : a survey. In : *Joint Radiation Protection Meeting of the Société française de radioprotection and Fachverband für Strahlenschutz e.V., Lausanne, 39 September-2 October 1981*.
 130. **Suzuki-Yasumoto, M.** National nuclear emergency planning in Japan. In : *Proceedings, IAEA Seminar on Radiation Emergency Preparedness (Health Physics and Medical Aspects), Kalpakkam, India, 30 November-11 December 1981*. Kalpakkam, Reactor Research Centre, 1982 (report RRC-55).
 131. **Henderson, O.K.** Radiation emergency response planning in Pennsylvania. In : *Proceedings of the International Conference on Current Nuclear Power Plant Safety Issues, Stockholm, 20-24 October 1980*. Vienne, Agence internationale de l'énergie atomique, 1981 (rapport IAEA-CN-39/7.1), pp. 333-341.
 132. **Macleod, G.K.** *Emergency preparedness plan for distribution of a saturated solution of potassium iodide (SSKI) in response to the accident at Three Mile Island nuclear generating plant, March 28, 1979*. Harrisburg, PA, Pennsylvania Department of Health, 1980.
 133. **Owen, D.** The application of decision analysis to crisis decision making. In : *Proceedings of the Executive Conference on Emergency Preparedness, American Nuclear Society, San Antonio, Texas, 10-13 February 1980*.

Annexe 1

COMPOSITION DES SOUS-GROUPES

Sous-groupe 1, Principes généraux

Dr E. Kunz
Dr D.W. Moeller (*modérateur*)
Dr A.A. Moiseev
Dr V.R. Shah

Sous-groupe 4, Estimation des risques

Dr D. Beninson
Dr L.B. Sztanyik
Dr S.S. Yaniv (*modérateur*)

Sous-groupe 2, Seuils de référence

Dr D. Beninson
Dr R.H. Clarke
Dr B. Lindell (*modérateur*)
Dr W. Seelentag

Sous-groupe 5, Problèmes psychosociaux

Dr H. Daw
Dr T. Kumatori
Dr A. Lafontaine
Dr F.E. Stieve
Dr N. Wald (*modérateur*)

Sous-groupe 3, Contre-mesures

Dr F. Breuer
Dr K.F. Hübner
Dr O. Ilari (*modérateur*)

LISTE DES PARTICIPANTS

Conseillers temporaires

Dr D. Beninson, directeur, autorisation des installations nucléaires, Commission nationale de l'énergie atomique, Buenos Aires (Argentine)

Dr F. Breuer, direction de la sécurité et de la protection contre les rayonnements nucléaires, Commission de l'énergie nucléaire (CNEN), Rome (Italie)

Dr R.H. Clarke, secrétaire, National Radiological Protection Board, Chilton, Didcot (Royaume-Uni) (*rapporteur*)

Mme H. De Clercq, section de la radioactivité, département de l'environnement, Institut d'hygiène et d'épidémiologie, Bruxelles (Belgique)

M. G. Fieuw, chef du département de mesure et de contrôle des rayonnements, Centre de recherches nucléaires (CEN/SCK), Mol (Belgique)

Dr K.F. Hübner, président adjoint, division des sciences médicales et sanitaires, Oak Ridge Associated Universities, TN (Etats-Unis d'Amérique)

Dr H.P. Jammet, directeur de la protection, institut de protection et de sûreté nucléaires, Commission de l'énergie atomique (CEA), Fontenay-aux-Roses (France) (*président*)

M. R. Kirchmann, chef de section, département de radiobiologie, Commission de l'énergie nucléaire (CEN/SCK), Mol (Belgique)

Dr T. Kumatori, directeur général, Institut national des sciences radiobiologiques, Chiba-Shi (Japon)

Dr E. Kunz, directeur adjoint du département d'hygiène des rayonnements, Institut d'hygiène et d'épidémiologie, Prague (Tchécoslovaquie)

Dr A. Lafontaine, professeur et directeur, Institut d'hygiène et d'épidémiologie, Bruxelles (Belgique)

Dr B. Lindell, professeur et directeur, Institut national suédois de radio-protection, Stockholm (Suède)

Dr D.W. Moeller, professeur de génie sanitaire de l'environnement, école de santé publique, Université d'Harvard, Boston, MA (Etats-Unis d'Amérique)

Dr A.A. Moiseev, chef du laboratoire des compteurs de radiations, Institut de biophysique, Moscou (URSS)

Dr J.-C. Nénot, chef des services d'hygiène radiologique, département de la protection nucléaire, institut de protection et de sûreté nucléaires, Commission de l'énergie atomique (CEA), Fontenay-aux-Roses (France) (*rapporteur*)

Dr W. Seelentag, chef du service des problèmes médicaux et biologiques de la protection contre les rayonnements, Ministère fédéral de l'intérieur, Bonn (République fédérale d'Allemagne)

Dr V.R. Shah, chef du groupe médical, Centre Bhabha de recherches atomiques, Tromby, Bombay (Inde)

Dr F.E. Stieve, professeur, Société de recherches sur les rayonnements et l'environnement, Neuherberg (République fédérale d'Allemagne)

Dr E. Strambi, conseiller médical, Commission de l'énergie nucléaire (CNEN), Rome (Italie)

Dr L.B. Sztanyik, directeur, Institut national de recherche sur la radiobiologie et la radiohygiène, Budapest (Hongrie)

Dr N. Wald, professeur et directeur, département d'hygiène des rayonnements, institut supérieur de santé publique, Université de Pittsburgh, PA (Etats-Unis d'Amérique)

Dr S.S. Yaniv, spécialiste de la radiologie et des effets sanitaires des rayonnements, section des effets sanitaires, office de la normalisation nucléaire, US Nuclear Regulatory Commission, Washington, DC (Etats-Unis d'Amérique)

Représentants d'autres organisations

Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA)

Dr H. Daw, administrateur principal, division de la sécurité nucléaire, Vienne (Autriche)

Association internationale de protection contre les rayonnements (AIPR)

Dr J.-C. Nénot

Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE)

Dr O. Ilari, directeur adjoint, division de la protection contre les rayonnements et de la gestion des déchets, Agence de l'énergie atomique, Paris (France)

Organisation mondiale de la santé

Bureau régional de l'Europe

Dr M.J. Suess, fonctionnaire régional pour les risques de l'environnement
(*cosecrétaire scientifique*)

Siège

Dr E. Komarov, spécialiste scientifique (rayonnements), section des risques
de l'environnement et de la protection des produits alimentaires, division de
la salubrité de l'environnement (*cosecrétaire scientifique*)

Les publications de l'OMS peuvent être commandées, soit directement, soit par l'intermédiaire d'un libraire, aux adresses suivantes :

- AFRIQUE DU SUD** : *Adressez-vous aux librairies principales.*
- ALGÉRIE** : Entreprise nationale du Livre (ENAL), 3 bd Zirout Youcef, ALGER.
- ALLEMAGNE RÉPUBLIQUE FÉDÉRALE D'** : Govi-Verlag GmbH, Ginnheimerstrasse 20, Postfach 5360, 6236 ESCHBORN — W.E. Saarbach GmbH, Tradis Diffusion, Neue Eiler Strasse 50, Postfach 900 369, 5000 COLOGNE 1 — Buchhandlung Alexander Horn, Friedrichstrasse 39, Postfach 3340, 6200 WIESBADEN.
- ARGENTINE** : Carlos Hirsch SRL, Florida 165, Galerías Güemes, Escritorio 453/465, BUENOS AIRES.
- AUSTRALIE** : Hunter Publications, 58A Gipps Street, COLLINGWOOD, VIC 3066 — Australian Government Publishing Service (*Mail order sales*) P.O. Box 84, CANBERRA A.C.T. 2601; *or over the counter from* Australian Government Publishing Service Bookshops at : 70 Alinga Street, CANBERRA CITY A.C.T. 2600; 294 Adelaide Street, BRISBANE, Queensland 4000; 347 Swanston Street, MELBOURNE VIC 3000; 309 Pitt Street, SYDNEY N.S.W. 2000; Mt Newman House, 200 St. George's Terrace, PERTH WA 6000; Industry House, 12 Pirie Street, ADELAIDE SA 5000; 156-162 Macquarie Street, HOBART TAS 7000 — R. Hill & Son Ltd., 608 St. Kilda Road, MELBOURNE, VIC 3004; Lawson House, 10-12 Clark Street, CROW'S NEST, NSW 2065.
- AUTRICHE** : Gerold & Co., Graben 31, 1011 VIENNE 1.
- BAHRÉÏN** : United Schools International, Arab Regional Office, P.O. Box 726, BAHRÉÏN.
- BANGLADESH** : Coordonnateur des Programmes OMS, G.P.O. Box 250, DHAKA 5.
- BELGIQUE** : *Pour toute commande hors abonnement* : Office International de Librairie s.a., avenue Marnix 30, 1050 BRUXELLES. *Abonnements* : Office International des Périodiques, avenue Marnix 30, 1050 BRUXELLES — *Abonnements à Santé du Monde seulement* : Jean de Lannoy, 202 avenue du Roi, 1060 BRUXELLES.
- BHOUTAN** : voir Inde, Bureau régional de l'OMS.
- BIRMANIE** : voir Inde, Bureau régional de l'OMS.
- BOTSWANA** : Botsalo Books (Pty) Ltd., P.O. Box 1532, GABORONE.
- BRÉSIL** : Biblioteca Regional de Medicina OMS/OPS, Unidade de Venda de Publicações, Caixa Postal 20.381, Vila Clementino, 04023 SÃO PAULO, S.P.
- CANADA** : Association canadienne d'Hygiène publique, 1335 Carling Avenue, Suite 210, OTTAWA, Ontario K1Z 8N8. (Tel : (613) 725-3769. Telex : 21-053-3841).
- CHINE** : China National Publications Import & Export Corporation, P.O. Box 88, BEIJING (PEKING).
- CHYPRE** : "MAM", P.O. Box 1722, NICOSIA.
- DANEMARK** : Munksgaard Export and Subscription Service, Nørre Søgade 35, 1370 COPENHAGUE K. (Tel : + 45 1 12 85 70).
- EGYPTE** : Osiris Office for Books and Reviews, 50 Kasr El Nil Street, LE CAIRE.
- EQUATEUR** : Libreria Científica S.A., P.O. Box 362, Luque 223, GUAYAQUIL.
- ESPAGNE** : Ministerio de Sanidad y Consumo, Servicio de Publicaciones, Paseo del Prado 18-20, MADRID 14 — Comercial Atheneum S.A., Consejo de Ciento 130-136, 08015 BARCELONE; General Moscardó 29, MADRID 20 — Librería Díaz de Santos, Lagasca 95 y Maldonado 6, MADRID 6; Balmes 417 y 419, 08022 BARCELONE.
- ETATS-UNIS D'AMÉRIQUE** : *Pour toute commande hors abonnement* : WHO Publications Center USA, 49 Sheridan Avenue, ALBANY, NY 12210. *Les demandes d'abonnement ainsi que la correspondance concernant les abonnements doit être adressée à l'Organisation mondiale de la Santé, Distribution et Vente, 1211 Genève 27, Suisse. Les publications sont également disponibles auprès de United Nations Bookshop, NEW YORK, NY 10017 (vente au détail seulement).*
- FIDJI** : Coordonnateur des Programmes OMS, P.O. Box 113, SUVA.
- FINLANDE** : Akateeminen Kirjakauppa, Keskuskatu 2, 00101 HELSINKI 10.
- FRANCE** : Librairie Arnette, 2, rue Casimir-Delavigne, 75006 PARIS.
- GABON** : Librairie Universitaire du Gabon, B.P. 3881, LIBREVILLE.
- GHANA** : Fides Enterprises, P.O. Box 1628, ACCRA.
- GRÈCE** : G.C. Eleftheroudakis S.A., Librairie internationale, rue Nikis 4, ATHÈNES (T. 126).
- HAÏTI** : Max Bouchereau, Librairie « A la Caravelle », Boîte postale 111-B, PORT-AU-PRINCE.
- HONG KONG** : Hong Kong Government Information Services, Beaconsfield House, 6th Floor, Queen's Road, Central, VICTORIA.
- HONGRIE** : Kultura, P.O.B. 149, BUDAPEST 62 — Akadémiai Könyvesbolt, Váci utca 22, BUDAPEST V.
- INDE** : Bureau régional de l'OMS pour l'Asie du Sud-Est, World Health House, Indraprastha Estate, Mahatma Gandhi Road, NEW DELHI 110002.
- INDONÉSIE** : P.T. Kalman Media Pusaka, Pusat Perdagangan Senen, Block 1, 4th Floor, P.O. Box 3433/Jkt, DJAKARTA.
- IRAN (RÉPUBLIQUE ISLAMIQUE D')** : Iran University Press, 85 Park Avenue, P.O. Box 54/551, TÉHÉRAN.
- IRAQ** : Ministry of Information, National House for Publishing, Distributing and Advertising, BAGDAD.
- IRLANDE** : TDC Publishers, 12 North Frederick Street, DUBLIN 1 (Tél : 744835-749677).
- ISLANDE** : Snaebjörn Jonsson & Co., P.O. Box 1131, Hafnarstraeti 9, REYKJAVIK.
- ISRAËL** : Heiliger & Co., 3 Nathan Strauss Street, JÉRUSALEM 94227.
- ITALIE** : Edizioni Minerva Medica, Corso Bramante 83-85, 10126 TURIN; Via Lamarmora 3, 20100 MILAN.
- JAPON** : Maruzen Co. Ltd., P.O. Box 5050, TOKYO International, 100-31.
- JORDANIE** : Jordan Book Centre Co. Ltd., University Street, P.O. Box 301, (Al-Jubeiha), AMMAN.
- KOWEÏT** : The Kuwait Bookshops Co. Ltd., Thunayan Al-Ghanem Bldg, P.O. Box 2942, KOWEÏT.
- LIBAN** : The Levant Distributors Co. S.A.R.L., Box 1181, Makdassi Street, Hanna Bldg, BEYROUTH.
- LUXEMBOURG** : Librairie du Centre, 49 bd Royal, LUXEMBOURG.

Les publications de l'OMS peuvent être commandées, soit directement, soit par l'intermédiaire d'un libraire, aux adresses suivantes :

- MALAISIE** : Coordonnateur des Programmes OMS, Room 1004, 10th Floor, Wisma LIM FOO YONG (formerly Fitzpatrick's Building), Jalan Raja Chulan, KUALA LUMPUR 05-10; P.O. Box 2550, KUALA LUMPUR 01-02; Parry's Book Center, K. L. Hilton Hotel, Jln. Treacher, P.O. Box 960, KUALA LUMPUR.
- MALAWI** : Malawi Book Service, P.O. Box 30044, Chichiti, BLANTYRE 3.
- MALDIVES** : voir Inde, Bureau régional de l'OMS.
- MAROC** : Editions La Porte, 281 avenue Mohammed V, RABAT.
- MEXIQUE** : Libreria Internacional, S.A. de C.V., Av. Sonora 206, 06100-MÉXICO, D.F.
- MONGOLIE** : voir Inde, Bureau régional de l'OMS.
- MOZAMBIQUE** : INLD, Caixa Postal 4030, MAPUTO.
- NÉPAL** : voir Inde, Bureau régional de l'OMS.
- NIGÉRIA** : University Bookshop Nigeria Ltd, University of Ibadan, IBADAN.
- NORVÈGE** : J. G. Tanum, A/S, P.O. Box 1177 Sentrum, OSLO 1.
- NOUVELLE-ZÉLANDE** : Government Printing Office, Publications Section, Mulgrave Street, Private Bag, WELLINGTON 1; Walter Street, WELLINGTON; World Trade Building, Cubacade, Cuba Street, WELLINGTON. *Government Bookshops at* : Hannaford Burton Building, Rutland Street, Private Bag, AUCKLAND; 159 Hereford Street, Private Bag, CHRISTCHURCH; Alexandra Street, P.O. Box 857, HAMILTON; T & G Building, Princes Street, P.O. Box 1104, DUNEDIN — R. Hill & Son Ltd, Ideal House, Cnr Gillies Avenue & Eden Street, Newmarket, AUCKLAND 1.
- PAKISTAN** : Mirza Book Agency, 65 Shahrah-E-Quaid-E-Azam, P.O. Box 729, LAHORE 3; Sasi Limited, Sasi Centre, G.P.O. Box 779, I.I. Chundrigar Road, KARACHI.
- PAPOUASIE-NOUVELLE-GUINÉE** : Coordonnateur des Programmes OMS, P.O. Box 646, KONEDOBUI.
- PAYS-BAS** : Medical Books Europe BV, Noorderwal 38, 7241 BL LOCHEM.
- PHILIPPINES** : Bureau régional de l'OMS pour le Pacifique occidental, P.O. Box 2932, MANILLE — The Modern Book Company Inc, P.O. Box 632, 922 Rizal Avenue, MANILLE 2800.
- POLONNE** : Składnica Księgarska, ul Mazowiecka 9, 00052 VARSOVIE (*sauf périodiques*) — BKWZ Ruch, ul Wronia 23, 00840 VARSOVIE (*périodiques seulement*).
- PORTUGAL** : Livraria Rodriguez, 186 Rua do Ouro, LISBONNE 2.
- RÉPUBLIQUE DE CORÉE** : Coordonnateur des Programmes OMS, Central P.O. Box 540, SÉOUL.
- RÉPUBLIQUE DÉMOCRATIQUE ALLEMANDE** : Buchhaus Leipzig, Postfach 140, 701 LEIPZIG.
- RÉPUBLIQUE DÉMOCRATIQUE POPULAIRE LAO** : Coordonnateur des Programmes OMS, P.O. Box 343, VIENTIANE.
- RÉPUBLIQUE POPULAIRE DÉMOCRATIQUE DE CORÉE** : voir Inde, Bureau régional de l'OMS.
- ROYAUME-UNI** : H.M. Stationery Office: 49 High Holborn, LONDRES WC1V 6HB; 13a Castle Street, EDIMBOURG EH2 3AR; 80 Chichester Street, BELFAST BT1 4JY; Brazenrose Street, MANCHESTER M60 8AS; 258 Broad Street, BIRMINGHAM B1 2HE; Southey House, Wine Street, BRISTOL BS1 2BQ. *Toutes les commandes postales doivent être adressées de la façon suivante* : HMSO Publications Centre, 51 Nine Elms Lane, LONDRES SW8 5 DR.
- SIERRA LEONE** : Njala University College Bookshop (University of Sierra Leone), Private Mail Bag, FREETOWN.
- SINGAPOUR** : Coordonnateur des Programmes OMS, 144 Moulmein Road, SINGAPOUR 1130; Newton P.O. Box 31, SINGAPOUR 9122 — Select Books (Pte) Ltd, Tanglin Shopping Centre, 19 Tanglin Road 03-15, SINGAPOUR 10.
- SRI LANKA** : voir Inde, Bureau régional de l'OMS.
- SUÈDE** : *Pour toute commande hors abonnement* : Aktiebolaget C.E. Fritzes Kungl. Hovbokhandel, Regeringsgatan 12, 103 27 STOCKHOLM. *Abonnements* : Wennergren-Williams AB, Box 30004, 104 25 STOCKHOLM.
- SUISSE** : Medizinischer Verlag Hans Huber, Länggass Strasse 76, 3012 BERNE 9.
- TCHÉCOSLOVAQUIE** : Artia, Ve Smeckach 30, 111 27 PRAGUE 1.
- THAÏLANDE** : voir Inde, Bureau régional de l'OMS.
- TUNISIE** : Société Tunisienne de Diffusion, 5 avenue de Carthage, TUNIS.
- TURQUIE** : Haset Kitapevi, 469 Istiklal Caddesi, Beyoglu, ISTANBUL.
- URSS** : *Pour les lecteurs d'URSS qui désirent les éditions russes* : Komsomolskij prospekt 18, Medicinskaja Kniga, MOSCOU — *Pour les lecteurs hors d'URSS qui désirent les éditions russes* : Kuzneckij most 18, Meždunarodnaja Kniga, MOSCOU G-200.
- URUGUAY** : Libreria Agropecuaria S. R. L., Casilla de Correo 1755, Alzaibar 1328, MONTEVIDEO.
- VENEZUELA** : Libreria del Este, Aptdo 60.337, CARACAS 106 — Libreria Médica Paris, Apartado 60.681, CARACAS 106.
- YUGOSLAVIE** : Jugoslovenska Knjiga, Terazije 27/II, 11000 BELGRADE.
- ZAÏRE** : Librairie universitaire, avenue de la Paix N° 167, B.P. 1682, KINSHASA 1.

Des conditions spéciales sont consenties pour les pays en développement sur demande adressée aux Coordonnateurs des Programmes OMS ou aux Bureaux régionaux de l'OMS énumérés ci-dessus ou bien à l'Organisation mondiale de la Santé, Service de Distribution et de Vente, 1211 Genève 27, Suisse. Dans les pays où un dépositaire n'a pas encore été désigné, les commandes peuvent être adressées également à Genève, mais le paiement doit alors être effectué en francs suisses, en livres sterling ou en dollars des États-Unis. On peut également utiliser les bons de livres de l'Unesco.

Prix: Fr. s. 12.—

Prix sujets à modification sans préavis.

La généralisation de l'emploi des rayonnements oblige à savoir comment protéger les populations contre les accidents qui, encore que peu probables, se produisent parfois. Le présent ouvrage propose des indications sur la façon de répondre à des événements et à des situations survenant de façon inattendue dans des centrales nucléaires et qui peuvent libérer dans l'environnement des matières radioactives dépassant les maximums autorisés.

L'ouvrage indique aux autorités nationales comment se donner les moyens de réagir en cas d'accident nucléaire. D'après l'expérience de Three Mile Island, il est évident que deux des facteurs principaux de la planification en cas d'urgence consistent à coordonner l'activité des autorités concernées et à éviter les difficultés psychosociales que pose le maintien des personnes dans l'incertitude, à la fois avant et pendant un accident.

Les principes directeurs présentés ici s'appuient sur ceux qu'ont adoptés des organismes tels que la Commission internationale de protection radiologique. Le rapport décrit les contre-mesures à prendre et leurs effets, bons ou mauvais.

Il faut mettre en balance d'une part l'intérêt de ces contre-mesures, d'autre part leurs effets, et la décision dépendra également de la source et de la chronologie des rejets radioactifs accidentels.

Le rapport traite également des principaux critères de décision et de la façon de définir et d'arrêter des seuils de référence sur la base desquels il sera décidé de prendre des mesures d'urgence.

Il s'agit d'un ouvrage important pour tous ceux qu'intéressent les problèmes de la sécurité des centrales nucléaires, à la fois parmi le personnel de ces centrales et dans les administrations responsables de la santé publique.

La réaction à un accident, et en particulier le choix des contre-mesures et du moment de leur application, dépendent largement de la situation, y compris la nature de l'accident, la topographie des lieux et les conditions météorologiques du moment.

Les auteurs de l'ouvrage se sont gardés de faire des recommandations strictes, de façon que celles proposées ici puissent servir au maximum dans le plus grand nombre de circonstances possibles.