

PUBLICATION 146 DE LA CIPR

PROTECTION RADIOLOGIQUE DES PERSONNES ET DE L'ENVIRONNEMENT EN CAS D'ACCIDENT NUCLÉAIRE MAJEUR



PUBLICATION 146 DE LA CIPR

Protection radiologique des personnes et de l'environnement en cas d'accident nucléaire majeur

Mise à jour des Publications 109 et 111 de la CIPR

Édition en langue française supervisée par
Jean-François Lecomte (IRSN), Jacques Lochard (Nagasaki University)
et Thierry Schneider (CEPN),
assistés de Pascal Croüail (CEPN) et d'Odile Lefèvre (IRSN)

L'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) est un organisme public d'expertise et de recherche pour la sûreté nucléaire et la radioprotection. Il intervient comme expert en appui aux autorités publiques. Il exerce également des missions de service public qui lui sont confiées par la réglementation. Il contribue notamment à la surveillance radiologique du territoire national et des travailleurs, à la gestion des situations d'urgence et à l'information du public. Il met son expertise à la disposition de partenaires et de clients français ou étrangers.

Dans son activité d'édition, la collection « lignes directrices », dans laquelle s'insère le présent document, rassemble des guides et des ouvrages de recommandations. L'édition française de la CIPR 146 trouve naturellement sa place dans cette production, contribuant ainsi à aider nombre d'acteurs de la radioprotection dans leur pratique et leur réflexion.

ISBN : 978-2-9545237-9-8

Tous droits de traduction, d'adaptation et de reproduction par tous procédés, réservés pour tous pays. La loi du 11 mars 1957 n'autorisant, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article 41, d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective », et d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation intégrale, ou partielle, faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite » (alinéa 1^{er} de l'article 40). Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles 425 et suivants du code pénal.

© IRSN 2022

Dépôt légal : juin 2022

Édition originale : *Radiological protection of people and the environment in the event of a large nuclear accident: update of ICRP Publications 109 and 111*. ICRP Publication 146. Ann. ICPR 49(4).

Préambule

L'accident de Fukushima, comme celui de Tchernobyl 25 ans plus tôt, a laissé sans voix et complètement désarmées des centaines de milliers de personnes confrontées à la présence de radioactivité dans leur environnement, au quotidien. Il a également déclenché moult commentaires et déclarations qui ont laissé les personnes affectées dans un grand désarroi.

Malgré la pertinence et l'ampleur des efforts déployés à tous les niveaux pour faire face aux conséquences de l'accident, la complexité de la situation est devenue au cours du temps, une source croissante d'interrogations et d'inquiétudes au sein de la population vivant dans les zones affectées. Les conditions de vie dégradées, dues à la présence de radioactivité, conjuguées à la méfiance grandissante à l'égard des autorités, ont progressivement généré dans la population, un sentiment généralisé de perte de contrôle, d'exclusion, voire d'abandon.

C'est dans ce contexte difficile qu'un petit groupe composé de membres de la Commission internationale de protection radiologique (CIPR) et de l'organisation non gouvernementale Radiation Safety Forum Japan, a pris l'initiative, à l'automne 2011, d'organiser un forum de dialogues entre toutes les parties prenantes, dans la Préfecture de Fukushima, avec pour objectif d'identifier les problèmes et les défis associés à la réhabilitation des conditions de vie dans les territoires contaminés. Cette initiative est née du constat partagé de la difficulté à coopérer entre autorités nationales, experts et acteurs locaux durant la phase post-accidentelle et de l'importance d'impliquer la population dans le processus de réhabilitation pour briser cette propension à la perte de contrôle et à l'exclusion (1).

Les recommandations rassemblées dans la présente publication s'appuient largement sur les enseignements tirés de la vingtaine de réunions de dialogues qui s'est tenue depuis 2011. Ces réunions ont permis d'aborder des sujets aussi divers que la gestion des produits contaminés, l'éducation des enfants dans les territoires affectés, le rôle de la mesure de la radioactivité et celui des traditions, des progrès réalisés dans l'amélioration de la qualité radiologique des produits issus de l'agriculture et de la pêche, mais aussi des questions difficiles et douloureuses comme celles de « retourner ou pas dans les territoires affectés » pour les familles évacuées pendant la phase d'urgence ou encore « de rester ou partir » pour celles résidant dans des territoires contaminés.

Ces réunions de dialogues ont permis d'approfondir les leçons tirées de l'accident de Tchernobyl qui avaient servi à la préparation des recommandations de la Commission sur la gestion accidentelle et post-accidentelle présentées dans ses *Publications 109* et *111* parues en 2009 (2, 3). Ces réunions ont ainsi confirmé entre

autres l'importance de donner à chacun, dans les territoires affectés, les moyens de comprendre où, quand et comment il est exposé afin de pouvoir se protéger et protéger efficacement ses proches à travers la mise en œuvre du processus de co-expertise. La caractérisation de la situation radiologique au niveau individuel est le levier le plus efficace pour développer une culture pratique de radioprotection et favoriser l'autoprotection. Pour les personnes qui souhaitent rester dans les territoires affectés, c'est aussi le meilleur moyen de reprendre le contrôle de leur propre situation et de celle de leur communauté. Cette caractérisation nécessite l'accès aux moyens de mesure, pour évaluer les niveaux d'expositions externe et interne des personnes, mais aussi l'implication des experts, pour répondre aux attentes des personnes et des collectivités.

Les réunions de dialogues ont permis de révéler des initiatives locales qui ont émergé dans plusieurs communautés de la Préfecture de Fukushima montrant que la volonté individuelle couplée à la coopération entre tous les acteurs locaux et nationaux sont des vecteurs efficaces pour se protéger face à la radioactivité et contrôler les niveaux d'expositions. Ces réunions ont également corroboré la nécessité de préserver les traditions et la culture locale dans les territoires affectés et de transmettre la mémoire de l'accident aux jeunes générations.

Un quart de siècle sépare les accidents de Tchernobyl et de Fukushima et du point de vue technique, les modalités de la gestion post-accidentelle de Fukushima ont non seulement bénéficié de l'expérience acquise à Tchernobyl, mais également du déploiement d'innovations organisationnelles et techniques qui ont permis de renforcer et d'affiner les recommandations de la CIPR dans ce domaine. Cela étant dit, les dialogues ont également montré que sur le plan des conséquences humaines il n'y a pas de différences significatives entre les sentiments généraux et les attitudes des personnes touchées par l'un ou l'autre de ces deux accidents.

Comme celle de Tchernobyl, l'expérience de Fukushima montre l'importance des conséquences démographiques, psychologiques, éthiques et socio-économiques d'un accident nucléaire majeur. La réhabilitation des conditions de vie à long terme n'est pas qu'une question de science et de technologie, c'est aussi une question de respect de valeurs telles que la prudence et l'équité dans la gestion de la radioprotection, et des valeurs fondamentales de dignité des personnes concernées et de solidarité avec elles.

En mai 2011, deux mois seulement après l'accident, j'ai été interviewé par une jeune journaliste d'un grand quotidien japonais sur les recommandations de la CIPR relatives à la protection des personnes après un accident nucléaire. Après avoir répondu à ses questions, je lui ai demandé comment elle et sa famille avaient vécu l'accident et comment elle avait réagi à la situation. J'ai alors compris qu'elle ne savait presque rien du risque radiologique ni comment s'en protéger.

En fait, le faible niveau de culture de la radioprotection au Japon, révélé par l'accident de Fukushima, n'a rien d'exceptionnel. Partout dans le monde la situation est identique. La radioactivité reste pour la grande majorité des gens une menace invisible effrayante. Au demeurant, face à cette situation, n'est-il pas de notre devoir à nous, professionnels de la radioprotection, de nous interroger sur le fait que, plus d'un siècle après la découverte des rayons X et de la radioactivité et d'accumulation de connaissances sur les effets des rayonnements et les moyens de s'en protéger la population et les médias ne sont pas en mesure de juger de l'importance du risque

radiologique face aux situations d'exposition rencontrées et ignorent les actions élémentaires pour se protéger efficacement contre les rayonnements ionisants.

Puissent, les informations et les recommandations présentées ici, apporter leurs contributions à la compréhension des enjeux radiologiques, techniques, sociétaux et éthiques en cas d'accident nucléaire majeur, du développement de la culture pratique de la radioprotection au sein des populations affectées et aussi de ceux de la préparation à un éventuel accident dans le futur. C'est, en tout cas, le souhait de tous ceux, experts et non experts, qui ont collaboré à cette nouvelle publication de la CIPR.

Jacques Lochar
Professeur à l'Université de Nagasaki, Japon
Ancien Vice-Président de la CIPR

(1) <https://fukushima-dialogue.jp/en/>

(2) ICRP, 2009. Application of the Commission's Recommendations for the Protection of People in Emergency Exposure Situations. ICRP Publication 109. Ann. ICRP 39 (1)

(3) ICRP, 2011. Application of the Commission's Recommendations to the Protection of People Living in Long-term Contaminated Areas After a Nuclear Accident or a Radiation Emergency. ICRP Publication 111. Ann. ICRP 39 (3)

Table des matières

Préambule	3
Éditorial	9
Protection radiologique des personnes et de l'environnement en cas d'accident nucléaire majeur : mise à jour des <i>Publications 109 et 111</i> de la CIPR	
<i>Publication 146</i> de la CIPR	15
Points principaux	17
Synthèse	19
1. Introduction	23
1.1. Contexte	23
1.2. Champ d'application et structure de la publication	24
2. Considérations générales	27
2.1. Les phases de la gestion d'un accident nucléaire	27
2.2. Conséquences d'un accident nucléaire majeur	28
2.3. Principes de protection des personnes et de l'environnement	34
3. Les phases d'urgence et intermédiaire	45
3.1. Caractéristiques des phases d'urgence et intermédiaire	45
3.2. Caractérisation radiologique	46
3.3. Protection des intervenants durant les phases d'urgence et intermédiaire	50
3.4. Protection du public et de l'environnement durant les phases d'urgence et intermédiaire	55
3.5. Passage de la phase intermédiaire à la phase de long terme	67
4. La phase de long terme	69
4.1. Caractéristiques de la phase de long terme	69
4.2. Caractérisation radiologique	70
4.3. Protection des intervenants pendant la phase de long terme	72
4.4. Protection du public et de l'environnement pendant la phase de long terme	73
4.5. Évolution et levée des actions de protection de long terme	80
5. Processus de préparation à un accident nucléaire majeur	81
6. Conclusions	83
7. Introduction aux annexes : panorama des accidents de Tchernobyl et de Fukushima	87
8. Références	89

Annexe A L'accident nucléaire de Tchernobyl	97
A.1. Introduction	97
A.2. Phases d'urgence et intermédiaire	98
A.3. Phase de long terme	105
A.4. Les phases de l'accident de Tchernobyl	113
A.5. Références	113
Annexe B L'accident nucléaire de Fukushima	117
B.1. Introduction	117
B.2. Phases d'urgence et intermédiaire	118
B.3. Phase de long terme	127
B.4. Les phases de la gestion de l'accident de Fukushima	132
B.5. Références	133
Glossaire	137
Remerciements	141

Éditorial

Se préparer

Les accidents sont une réalité. Des avions s'écrasent, des navires sombrent, des trains déraillent, des barrages cèdent, des usines chimiques explosent et des centrales nucléaires ont des accidents. Nous faisons aussi face à des catastrophes naturelles de type inondation, sécheresse, ouragan et cyclone, tremblement de terre, vague de chaleur, éruption volcanique, tornade, chute de météorite, incendie de forêt, tempête de verglas, glissement de terrain et tsunami. Chacun de ces événements peut ébranler une ville, une région ou un pays. Certains ont frappé le monde entier. Leurs conséquences peuvent être politiques, sociétales, environnementales, économiques et surtout humaines.

Les conséquences sur les personnes sont au cœur des accidents et des catastrophes. Les plus importantes d'entre elles sont les blessures physiques et les décès, parfois à grande échelle. Le 3 décembre 1984, une fuite dans une usine de pesticide à Bhopal, en Inde, a tué au moins 3 000 personnes et plus de 100 000 autres sont restées handicapées à vie. Plus d'un demi-million de personnes ont été indemnisées pour leurs préjudices (Broughton, 2005).

Ces chiffres sont saisissants mais si nous examinons les choses de plus près, nous constatons que les conséquences des accidents et des catastrophes vont bien au-delà. Une inondation peut détruire un village, emportant des maisons présentes depuis des générations, détruisant une part du patrimoine culturel et mettant fin ainsi aux liens d'une communauté avec sa propre histoire. Des rejets issus d'installations peuvent marquer des régions entières, qu'il y ait ou non des conséquences immédiates en termes de santé. Même si les populations peuvent continuer d'y vivre, la valeur des maisons diminue, la population décroît et les opportunités d'emploi disparaissent à mesure que de nouvelles personnes et entreprises sont réticentes à venir s'y installer. À y regarder de plus près, nous pouvons aussi voir le désespoir de grands-parents dont les petits-enfants ne viendront plus leur rendre visite, ou de familles qui se séparent en raison de conflits de priorités.

Apprendre à faire face aux accidents et aux catastrophes naturelles est essentiel pour réduire les souffrances humaines et les impacts sur l'environnement.

Nous espérons tous que le monde ne connaîtra plus jamais d'accident nucléaire de l'ampleur de celui qui s'est produit en 2011 à la centrale nucléaire de Fukushima Daiichi, au Japon, ou, pire encore, en 1986 à la centrale nucléaire de Tchernobyl en Ukraine. Aujourd'hui, il existe environ 440 réacteurs nucléaires fournissant de l'électricité dans le monde, et une quinzaine d'autres est en construction (WNA, 2020).

La CIPR n'a pas de position en matière d'énergie nucléaire au-delà des principes éthiques et des recommandations fondamentales qui s'appliquent universellement. D'un point de vue éthique, cela signifie qu'il faut que le bien l'emporte sur le mal, que les actions doivent être prises en toute connaissance de cause et soigneusement réfléchies, et que les personnes doivent être traitées de manière équitable et avec dignité. C'est ce que nous appelons les quatre valeurs éthiques fondamentales : bienfaisance/non-malfaisance, prudence, justice et dignité (ICRP, 2018). Elles sont mises en œuvre à travers les trois principes de la radioprotection : justification, optimisation de la protection et limitation de la dose individuelle. Ces principes garantissent respectivement que le bien l'emporte sur le mal, que la protection est la meilleure possible en fonction des circonstances et qu'aucune exposition indue n'est imposée à quiconque. Pour résumer, l'objectif de la CIPR est de garantir qu'en toutes circonstances en présence de rayonnements ionisants, les personnes et l'environnement sont protégés.

Cependant, la CIPR salue tous les efforts déployés visant à améliorer la sûreté nucléaire (notamment NEA, 2016). Notre mission est de promouvoir la protection radiologique. La prévention et l'atténuation de l'impact radiologique d'accidents nucléaires font partie intégrante de la protection des personnes et de l'environnement contre les expositions aux rayonnements ionisants.

Nous devons toutefois nous tenir prêts à faire face à un autre accident. Il s'agit là d'une partie importante de notre travail qui concerne non seulement l'énergie nucléaire mais aussi, par exemple, l'utilisation des rayonnements en médecine (voir, par exemple, la [Publication 112](#) « Prévention des expositions accidentelles liées aux nouvelles technologies de radiothérapie par faisceau externe » [ICRP, 2009a]).

La présente publication remplace et constitue une mise à jour de deux publications antérieures, publiées incidemment la même année que la [Publication 112](#), et moins de 2 ans avant l'accident de Fukushima Daiichi :

- la [Publication 109](#) : « Application des recommandations de la Commission pour la protection des personnes dans des situations d'exposition d'urgence » (ICRP, 2009b) ; et
- la [Publication 111](#) : « Application des recommandations de la Commission pour la protection des personnes vivant dans des territoires contaminés à long terme » (ICRP, 2009c).

En théorie, le champ d'application de la présente publication est plus limité que celui des [Publications 109](#) et [111](#) car il ne s'applique qu'aux accidents nucléaires majeurs. En fait, les publications précédentes étaient déjà largement focalisées sur ce type d'accidents même si les principes généraux sont également applicables quelle que soit l'ampleur de l'accident. Malgré cela, des recommandations supplémentaires sont envisagées pour la radioprotection lors d'accidents d'un autre type.

L'un des avantages de combiner les deux publications précédentes est de pouvoir envisager une réponse plus holistique et de mieux appréhender le passage entre les différentes phases de l'accident : d'urgence, intermédiaire et de long terme. La publication actuelle apporte un éclairage sur la transition entre la réponse d'urgence et le processus de réhabilitation ainsi que, élément important, des conseils sur la préparation de la phase de long terme.

Comme on peut s'y attendre, la présente publication repose largement sur l'expérience accumulée au cours des 10 années qui ont suivi l'accident de Fukushima Daiichi. Par ailleurs, même si l'accident de Tchernobyl remonte à près de 35 ans, de nouveaux enseignements sont également pris en compte. Ainsi, par exemple, les impacts sociaux apparaissent plus clairement à la lumière de l'accident de Fukushima Daiichi, qui a mis en évidence des impacts considérables affectant un large territoire même en l'absence de conséquences catastrophiques immédiates sur la santé. Dans son rapport sur l'accident de Fukushima Daiichi, le Comité scientifique des Nations unies pour l'étude des effets des rayonnements ionisants a déclaré « [qu'] aucun décès ou maladie aiguë lié aux rayonnements n'a été observé parmi les travailleurs et les personnes exposés aux rayonnements consécutifs à l'accident » et « [qu'] aucune augmentation observable de l'incidence des effets sanitaires liés aux rayonnements n'est attendue parmi les personnes exposées ou leurs descendants » ; cependant « l'effet sur la santé le plus important concerne le bien-être psychologique et social » (UNSCEAR, 2013).

Cette publication s'appuie sur près d'une décennie de travaux de la Commission, ce qui a peut-être représenté le chantier le plus important depuis l'élaboration de ses dernières recommandations générales (ICRP, 2007). La Commission principale de la CIPR a rencontré des délégués du Japon en avril 2011, quelques semaines seulement après l'accident de la centrale nucléaire de Fukushima Daiichi. Peu après, elle a créé le groupe de travail 84 qui a tiré les premiers enseignements sur l'accident survenu au Japon vis-à-vis du système de radioprotection de la CIPR. L'année suivante, la Commission principale a pris en compte les conclusions du groupe de travail (ICRP, 2012) lors de sa réunion à Fukushima, et peu de temps après, les membres du groupe de travail 84 ont publié un article beaucoup plus détaillé (González *et al.*, 2013).

Cette première évaluation allait influencer le programme de travail de la CIPR durant de nombreuses années. Elle est à l'origine notamment de la création du groupe de travail 93 en charge de la mise à jour des *Publications 109* et *111* de la CIPR et qui a élaboré la présente publication.

Parallèlement, la CIPR avait lancé une série de dialogues à Fukushima, le premier d'entre eux s'étant déroulé en novembre 2011. Ces dialogues avaient pour objectifs de créer un forum de discussion libre et ouvert sur les défis du processus de réhabilitation, de partager les expériences des experts et des citoyens du Japon, mais aussi de pays directement impactés par l'accident de Tchernobyl, comme la Biélorussie et la Norvège, de bien connaître la situation à partir de témoignages directs de personnes impliquées afin de s'assurer que les nouvelles recommandations émises pourraient répondre au mieux aux besoins et, bien entendu, de venir en aide aux personnes confrontées à ces défis (Kotoba, 2015). Ce que l'on a appelé par la suite l'« Initiative de Dialogue » a remporté un réel succès dans tous les domaines. En 2020, 22 dialogues avaient été organisés, initialement par la CIPR, puis sous la responsabilité d'acteurs locaux (Lochard *et al.*, 2019).

Cette Initiative de Dialogue a constitué une source inestimable d'information lors de l'élaboration de la présente publication. Non seulement, les échanges avec les personnes directement affectées par les conséquences de l'accident ont permis de mieux comprendre la situation mais plusieurs acteurs locaux ont également participé à la rédaction et à la relecture critique de la présente publication.

Au cours de ce processus, la CIPR a souvent été en contact avec de nombreux experts, des professionnels de santé, des habitants affectés et des autorités, y compris le gouvernement japonais, des institutions d'expertise et des exploitants de centrales nucléaires, afin de s'assurer que tous les aspects de la radioprotection après un accident nucléaire majeur étaient bien pris en compte.

Certaines organisations internationales ont participé à l'élaboration de cette publication, soit en intervenant de manière informelle lors de la rédaction, soit de façon plus formelle lors de la consultation publique à la fin du processus.

En effet, toutes les publications de la CIPR font désormais l'objet d'une consultation publique avant d'être finalisées. Cette étape indispensable donne à chacun la possibilité de commenter le travail de la Commission permettant ainsi à cette dernière de s'assurer qu'elle a bien entendu et pris en compte les différents points de vue exprimés. Étant donné la nature de cette publication et l'intérêt qu'elle a suscité, les commentaires ont été acceptés pour la première fois en anglais et en japonais, et la période de dépôt des commentaires a été prolongée. De même, et pour la première fois, une réunion publique a été organisée au Japon pendant la consultation pour permettre aux personnes intéressées de voir comment les premiers commentaires reçus avaient été pris en compte et d'exprimer également leurs points de vue. Au total, plus de 300 organisations ou personnes ont émis des commentaires, soit près de 10 fois plus que pour la plupart des publications de la CIPR et juste derrière le nombre de celles qui ont commenté les dernières recommandations générales (ICRP, 2007). Je suis persuadé qu'un tel intérêt a contribué à renforcer la qualité de cette publication et souhaite remercier toutes les personnes qui ont consacré du temps pour partager leurs points de vue.

Enfin, sur un plan plus personnel, je tiens à saluer la gentillesse des nombreux Japonais que j'ai eu le plaisir de rencontrer depuis 2011, sur place et en dehors de leur pays, ainsi que mes amis et collègues européens qui ont partagé leurs expériences concernant l'accident de Tchernobyl. J'ai souvent été impressionné par leur savoir-faire, leur persévérance et leur ouverture d'esprit qui m'ont inspiré le respect. Je suis conscient de la souffrance qu'ont provoquée ces accidents et cela m'attriste, mais ils ont aussi donné l'opportunité à de nombreuses personnes de se rencontrer et de nouer des liens d'amitié qui n'auraient pas été possibles autrement. J'espère aussi que ces accidents nucléaires auront au moins permis de mieux comprendre leurs conséquences et d'améliorer la préparation pour l'avenir.

Christopher H. Clément
Rédacteur en chef

Références

Broughton, E., 2005. The Bhopal disaster and its aftermath: a review. *Environ. Health* 4, 6

González, A. J., Akashi, M., Boice, Jr, J. D., et al., 2013. Radiological protection issues arising during and after the Fukushima nuclear reactor accident. *J. Radiol. Prot.* 33, 497–571

ICRP, 2007. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. *Ann. ICRP* 37(2–4)

ICRP, 2009a. Preventing Accidental Exposures from New External Beam Radiation Therapy Technologies. ICRP Publication 112. *Ann. ICRP* 39(4)

ICRP, 2009b. Application of the Commission's Recommendations for the Protection of People in Emergency Exposure Situations. ICRP Publication 109. *Ann. ICRP* 39(1)

ICRP, 2009c. Application of the Commission's Recommendations to the Protection of People Living in Long-Term Contaminated Areas after a Nuclear Accident or a Radiation Emergency. ICRP Publication 111. *Ann. ICRP* 39(3)

ICRP, 2012. Report of ICRP Task Group 84 on Initial Lessons Learned from the Nuclear Power Plant Accident in Japan vis-à-vis the ICRP System of Radiological Protection. Ref 4832-8604-9553. ICRP, Ottawa. Disponible sur : <https://www.icrp.org/docs/ICRP%20TG84%20Summary%20Report.pdf> (consulté pour la dernière fois le 23 septembre 2020)

ICRP, 2018. Ethical Foundations of the System of Radiological Protection. ICRP Publication 138. *Ann. ICRP* 47(1)

Kotoba, 2015. A Web Documentary on the Fukushima Dialogue Initiative. Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire, Fontenay-aux-Roses. Disponible sur : <http://www.fukushima-dialogues.com> (consulté pour la dernière fois le 26 octobre 2020)

Lochard, J., Schneider, T., Ando, R., et al., 2019. An overview of the dialogue meetings initiated by ICRP in Japan after the Fukushima accident. *Radioprotection* 54, 87–101

NEA, 2016. Five Years after the Fukushima Daiichi Accident: Nuclear Safety Improvements and Lessons Learnt. NEA No. 7284. Nuclear Energy Agency of the Organisation for Economic Co-operation and Development, Paris

UNSCEAR, 2013. Report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation to the General Assembly. United Nations, New York

WNA, 2000. Nuclear Power in the World Today. World Nuclear Association, London. Disponible sur : <https://www.world-nuclear.org/information-library/current-and-future-generation/nuclear-power-in-the-world-today.aspx> (consulté pour la dernière fois le 7 juillet 2020)

Protection radiologique des personnes et de l'environnement en cas d'accident nucléaire majeur : mise à jour des Publications 109 et 111 de la CIPR Publication 146 de la CIPR¹

Résumé

Cette publication fournit un cadre pour la protection des personnes et de l'environnement lors d'un accident nucléaire majeur, en s'appuyant sur l'expérience des accidents de Tchernobyl et de Fukushima. Dans la gestion des accidents, la Commission distingue les phases d'urgence et intermédiaire, considérées comme des situations d'exposition d'urgence, et la phase de long terme, considérée comme une situation d'exposition existante. Dans les situations d'exposition d'urgence et d'exposition existante, la réduction des conséquences radiologiques sur l'homme et l'environnement est réalisée en s'appuyant sur les principes fondamentaux de justification des décisions et d'optimisation de la protection. La Commission recommande un ensemble de niveaux de référence pour l'optimisation de la protection de la population générale et des intervenants, sur site et hors site, pour toutes les phases de l'accident. La mise en œuvre d'actions de protection ne devrait pas tenir compte uniquement des facteurs radiologiques mais devrait aborder également les aspects sociétaux, environnementaux et économiques visant à protéger la santé, garantir des conditions de vie durables à la population affectée, assurer de bonnes conditions de travail aux intervenants et maintenir la qualité de l'environnement. Lors de la phase d'urgence d'un accident, des actions de protection immédiates doivent être prises, tout en disposant souvent de peu d'informations. Les décisions reposent sur des actions identifiées lors de la phase de préparation qui semblent le mieux adaptées à la situation réelle. Durant la phase intermédiaire, les actions de protection réduisent progressivement les expositions aux rayonnements. Lorsque la situation radiologique est suffisamment caractérisée, la phase de long terme débute, et d'autres actions de protection sont alors mises en œuvre pour améliorer les conditions de vie et de travail.

1 Approuvée par la Commission en juillet 2020.

Il convient que les autorités invitent les principales parties prenantes représentatives à participer au processus de préparation et à la gestion des différentes phases de l'accident. Il appartient aux autorités de mettre en œuvre la surveillance radiologique et sanitaire et de fournir les conditions et les moyens de partage des informations et des expertises pour permettre aux personnes de développer une culture de radioprotection et de faire des choix éclairés pour leur propre protection.

Mots-clés : accident de Tchernobyl ; accident de Fukushima ; situation d'exposition d'urgence ; situation d'exposition existante ; justification ; optimisation ; niveau de référence ; actions de protection ; implication des parties prenantes ; processus de co-expertise ; culture de radioprotection.

Points principaux

- Un accident nucléaire majeur provoque une rupture dans la société qui affecte tous les aspects de la vie des personnes et des communautés. Il a des conséquences sociétales, environnementales et économiques importantes et durables.
- La caractérisation de la situation radiologique, sur site et hors site, est essentielle pour orienter les actions de protection et il convient de la mener dans les plus brefs délais.
- La Commission recommande d'utiliser des niveaux de référence pour guider la mise en œuvre des actions de protection pendant les phases d'urgence, intermédiaire et de long terme d'un accident.
- L'objectif de la radioprotection est d'atténuer les conséquences radiologiques pour les personnes et sur l'environnement tout en garantissant des conditions de vie durables pour les personnes affectées, des conditions de travail adaptées pour les intervenants et le maintien de la qualité de l'environnement.
- Il convient que les intervenants, personnes *a priori* les plus exposées, bénéficient d'une protection appropriée, en tenant compte des exigences de l'intervention sur site et hors site.
- Il convient que les organisations responsables encouragent les communautés locales à coopérer avec des experts (processus de co-expertise) pour que les personnes affectées puissent mieux appréhender la situation locale, élaborer une culture pratique de radioprotection appropriée et faire des choix éclairés.
- La préparation est essentielle pour atténuer les conséquences durant les phases d'un accident nucléaire majeur et il convient d'impliquer les parties prenantes.

Synthèse

(a) Les accidents nucléaires majeurs se traduisent par le rejet de quantités importantes de matières radioactives dans l'environnement qui peuvent impacter un vaste territoire et une population importante. Ce sont des événements imprévus qui affectent profondément les personnes, la société et l'environnement. Ils génèrent des situations complexes et des préoccupations légitimes, en particulier en matière de santé des personnes affectées par la présence de sources de radioactivité indésirables. La gestion de cette situation nécessite la mobilisation à long terme de ressources humaines et financières considérables. La radioprotection, bien qu'indispensable, n'est qu'une composante parmi les moyens qui doivent être mobilisés pour faire face aux enjeux auxquels les personnes et les organisations affectées sont confrontées.

(b) Pour gérer de tels événements, la Commission distingue les phases d'urgence et intermédiaire, considérées comme des situations d'exposition d'urgence, et la phase de long terme, considérée comme une situation d'exposition existante. La Commission fait aussi la distinction entre sur site et hors site pour différencier respectivement les activités dans l'installation endommagée et celles dans les territoires affectés. Les présentes recommandations peuvent s'appliquer à d'autres types d'urgences radiologiques, en veillant à bien tenir compte des différences qui existent inévitablement entre un accident nucléaire et ces urgences.

(c) La caractérisation de la situation radiologique sur site et hors site est essentielle pour pouvoir orienter correctement les actions de protection. Il convient de la mener dans les plus brefs délais pour lever les incertitudes relatives à l'intensité, la durée et l'étendue de la contamination radioactive.

(d) Dans les situations d'expositions d'urgence et existante, les objectifs de la radioprotection sont atteints en utilisant les principes fondamentaux de justification et d'optimisation. Le principe de justification garantit que les choix pris en matière d'actions de protection apportent un bénéfice pour les personnes affectées et l'environnement, car ces actions peuvent entraîner de sérieux préjudices. Le principe d'optimisation de la protection appliqué avec des niveaux de référence vise à limiter l'iniquité dans la répartition des expositions individuelles et à maintenir ou à réduire toutes les expositions à un niveau aussi bas que raisonnablement possible, compte tenu des facteurs sociétaux, environnementaux et économiques.

(e) Les principes de justification et d'optimisation sont appliqués pour réduire les conséquences radiologiques sur les personnes et l'environnement pendant toutes les phases de l'accident et devraient dûment tenir compte de tous les facteurs non radiologiques afin de préserver ou de rétablir les conditions de vie et de travail de toutes les personnes affectées, y compris leur garantir un mode de vie et des moyens de subsistance décents.

(f) Les personnes impliquées dans la gestion directe des conséquences d'un accident nucléaire sont multiples en termes d'expérience, de statut, de préparation et de formation à la radioprotection. Il peut s'agir d'équipes de secours (pompier, policier, personnel médical, etc.), de travailleurs (exposés professionnellement ou non) ou d'autres personnes comme des élus ou des citoyens volontaires. Toutes ces catégories sont considérées par la Commission comme des « intervenants ». Ils méritent d'être protégés de manière adéquate et de bénéficier de conditions de travail appropriées.

(g) En matière de protection des intervenants sur le site, il convient généralement que le niveau de référence pendant la phase d'urgence ne dépasse pas 100 mSv, même si, dans des circonstances exceptionnelles, des niveaux plus élevés, de l'ordre de quelques centaines de millisieverts, peuvent être admis lorsqu'il s'agit de sauver des vies ou pour empêcher une plus forte dégradation de l'installation pouvant conduire à des conditions catastrophiques. Des niveaux de référence inférieurs peuvent être fixés en fonction de la situation, selon la gravité de l'accident. Pendant la phase intermédiaire, il conviendrait que le niveau de référence n'excède pas 100 mSv. Pour la phase de long terme, il ne devrait pas dépasser 20 mSv par an, avec, le cas échéant, des aménagements possibles limités dans le temps. La Commission recommande que les organisations responsables mettent en œuvre toutes les actions pratiques pour éviter une surenchère inutile d'expositions des intervenants engagés dans les phases d'urgence et intermédiaire.

(h) Pour ce qui concerne la protection des intervenants hors site, la Commission recommande un niveau de référence inférieur à 100 mSv pour la phase d'urgence et inférieur à 20 mSv par an pour la phase intermédiaire. Pour la phase de long terme, le niveau de référence devrait être choisi dans la moitié inférieure de l'intervalle recommandé allant de 1 à 20 mSv par an.

(i) Pour la protection des personnes, le niveau de référence devrait généralement rester inférieur à 100 mSv pendant toute la durée des phases d'urgence et intermédiaire. La Commission recommande aux organisations responsables d'adopter un niveau de référence inférieur chaque fois que cela est possible. Pour la phase de long terme, il convient de maintenir le niveau de référence dans la moitié inférieure de l'intervalle recommandé pour les situations d'exposition existante allant de 1 à 20 mSv par an, en tenant compte de la distribution réelle des doses dans la population et des facteurs sociétaux, environnementaux et économiques ayant une influence sur la situation d'exposition. L'objectif de l'optimisation de la protection est de réduire progressivement l'exposition à des niveaux se situant dans la moitié inférieure de l'intervalle ou, si possible, en dessous.

(j) Dans certains scénarios d'accident nucléaire, le rejet d'iode radioactif peut entraîner une forte exposition de la thyroïde par inhalation ou par ingestion. Il convient de tout faire pour éviter, ou du moins réduire, l'absorption d'iode radioactif, en particulier chez les enfants et les femmes enceintes. Pendant la phase d'urgence ou juste après, les populations exposées devraient être surveillées pour détecter toute exposition potentielle à l'iode radioactif.

(k) La gestion de la protection des populations dans les territoires affectés durant les phases intermédiaire et de long terme est un processus complexe qui implique des considérations radiologiques, sociétales, environnementales et économiques.

Ce processus comprend des actions mises en œuvre par les autorités nationales et locales, et des actions d'autoprotection prises par les habitants des territoires affectés. Durant ces phases, les expositions aux rayonnements des populations vivant et travaillant dans ces territoires dépendent principalement du mode de vie de chacun. La Commission recommande aux autorités, aux experts et aux parties prenantes de coopérer dans le cadre du processus dit de « co-expertise » afin de partager les expériences et les informations, d'encourager la participation des communautés locales et de développer une culture pratique de radioprotection pour permettre aux populations de prendre des décisions éclairées. Des mesures individuelles de la radioactivité réalisées avec des appareils adéquats, accompagnées d'informations pertinentes, sont très utiles pour la mise en œuvre de ce processus.

(l) En matière de protection de l'environnement, la Commission recommande de protéger la faune et la flore en utilisant son approche fondée sur la notion d'animaux et de plantes de référence et les niveaux de référence dérivés « bien pesés » (*Derived consideration reference levels* ou DCRL). Il convient également de prendre en compte les impacts des actions de protection sur les animaux de compagnie et le cheptel, ainsi que sur l'environnement, en termes de développement durable, de conservation, de préservation et de maintien de la biodiversité.

(m) La Commission recommande que des plans soient préparés pour éviter des conséquences graves et à long terme d'un accident nucléaire. Ces plans devraient comprendre un ensemble d'actions de protection cohérentes, adaptées aux conditions locales des sites nucléaires, en tenant compte des facteurs sociétaux, environnementaux et économiques qui auront une incidence sur l'impact de l'accident et sur sa réponse.

1

Introduction

1.1. Contexte

(1) Les accidents nucléaires sont gérés par des lignes directrices concernant des actions de protection à court, moyen et long terme. Par le passé, la Commission a élaboré des principes généraux de mise en œuvre d'actions de protection dans de telles situations. Les premières lignes directrices ont été publiées dans la *Publication 40* (ICRP, 1984) mais se limitaient aux actions à court et moyen terme. Elles ont ensuite été révisées et complétées dans la *Publication 63* (ICRP, 1991b) à la lumière des Recommandations générales adoptées en 1990 (ICRP, 1991a). Dans la *Publication 82* (ICRP, 1999), la Commission a traité la question de la protection du public dans les situations d'exposition prolongée aux rayonnements.

(2) À partir de l'expérience acquise avec la gestion de l'accident de Tchernobyl en Europe, la Commission a publié des lignes directrices traitant des actions de protection à court et moyen terme dans la *Publication 109* (ICRP, 2009a), et à long terme dans la *Publication 111* (ICRP, 2009b). Cette dernière publication comprenait les premières recommandations détaillées de la CIPR relatives aux actions à long terme après un accident nucléaire. Les deux publications reposaient sur les *Recommandations générales de 2007* (ICRP, 2007).

(3) Après l'accident nucléaire de Fukushima, en mars 2011 au Japon, la Commission a identifié un premier ensemble de sujets relatifs à la mise en œuvre du système de radioprotection des populations et de l'environnement en cas d'accident nucléaire majeur (ICRP, 2012b). Ces sujets abordaient les difficultés relatives à la quantification des expositions, l'interprétation des effets sanitaires potentiels induits par les rayonnements, la protection spécifique des intervenants, les impacts sociétaux de l'évacuation des populations, la reconnaissance de l'importance des conséquences psychologiques et les défis à relever en matière de réhabilitation des conditions de vie dans les territoires contaminés. Cette publication a pour objectif de traiter ces sujets ainsi que les enseignements tirés au cours de la décennie qui a suivi l'accident.

(4) En novembre 2011, la Commission, en coopération avec des organisations japonaises, a initié une série de séminaires de « dialogue » dans la préfecture de Fukushima sur la réhabilitation des conditions de vie après l'accident de la centrale nucléaire. Ces dialogues réunissaient des résidents locaux, des professionnels, des représentants des villages et des villes affectés, de la préfecture de Fukushima, d'agences nationales et d'organisations non gouvernementales ainsi que des experts et des habitants de Biélorussie et de Norvège (ICRP, 2016 ; Lochard *et al.*, 2019 ; NPO Fukushima Dialogue, 2020). Ces dialogues visaient à faciliter les discussions entre les parties prenantes, à partager l'expérience des communautés affectées par l'accident de Tchernobyl, à s'approprier les défis afin de soutenir les personnes impliquées dans la réhabilitation post-accidentelle et à améliorer les futures recommandations de la CIPR. Ces dialogues ont mis en évidence la grande diversité des conséquences humaines et environnementales de l'accident, ses impacts sociétaux et économiques indirects, l'influence des décisions prises dans l'urgence sur l'évolution de la situation, la complexité du retour des personnes évacuées et de la reprise des activités agricoles et de pêche, les perturbations de la vie quotidienne causées par les restrictions radiologiques, le rôle crucial de l'engagement des parties prenantes et l'importance du respect de la dignité des personnes affectées (Ando, 2016).

1.2. Champ d'application et structure de la publication

(5) Cette publication traite de la protection des personnes et de l'environnement en cas d'accident nucléaire majeur. À la lumière de l'expérience tirée des accidents des centrales nucléaires de Tchernobyl et de Fukushima, elle examine les conséquences sanitaires, sociétales, environnementales et économiques de ces accidents majeurs et constitue une mise à jour des principes de radioprotection recommandés par la Commission qu'il convient d'appliquer dans ces situations. Un accident nucléaire majeur se traduit par le rejet de quantités importantes de matières radioactives dans l'environnement ayant un impact sur un vaste territoire et une population importante (IAEA, 2008). Les présentes recommandations peuvent s'appliquer dans leur majorité à d'autres types d'urgences radiologiques, y compris à des actes de malveillance, en veillant à bien tenir compte des différences qui existent inévitablement entre un accident nucléaire et ces urgences. La Commission a traité la question de la protection des populations en cas d'actes malveillants impliquant des rayonnements dans sa [Publication 96](#) (ICRP, 2005).

(6) Les présentes recommandations reconnaissent le rôle clé des facteurs radiologiques et non radiologiques dans la gestion des conséquences d'un accident nucléaire majeur. Elles soulignent l'importance de la justification des choix relatifs aux actions de protection durant la phase d'urgence d'un accident nucléaire, en particulier pour ce qui concerne les questions sensibles de l'évacuation des populations et de la protection des intervenants. Elles traitent la question de la levée de ces actions et du rôle crucial de la caractérisation de la situation radiologique pour la gestion des phases intermédiaire et de long terme.

(7) Ces recommandations soulignent également l'importance de l'optimisation de la protection pour la réhabilitation des conditions de vie et de travail dans les territoires affectés pendant les phases intermédiaire et de long terme. Elles mettent l'accent

sur le rôle de la coopération entre les autorités, les experts et la population affectée dans le processus de co-expertise afin de faciliter la prise de décisions éclairées pour sa propre protection. Ce processus favorise également l'émergence d'une culture de radioprotection au sein des communautés locales. En outre, les recommandations précisent les dimensions éthiques, sociétales et environnementales qui doivent être prises en compte lors de la mise en œuvre des actions de protection.

(8) Le [chapitre 2](#) traite des considérations générales relatives à la chronologie d'un accident nucléaire majeur, ses conséquences radiologiques et non radiologiques potentielles, et les principes radiologiques pertinents en matière de protection des personnes et de l'environnement. Le [chapitre 3](#) décrit les recommandations de la Commission qui s'appliquent aux phases d'urgence et intermédiaire. Le [chapitre 4](#) décrit celles qui s'appliquent à la phase de long terme. Le [chapitre 5](#) donne un aperçu du processus de préparation et le [chapitre 6](#) présente des remarques conclusives. À l'instar des présentes recommandations, les annexes [A](#) et [B](#) décrivent comment les actions de protection ont été mises en œuvre dans les phases d'urgence, intermédiaire et de long terme lors des accidents de Tchernobyl et de Fukushima.

(9) Cette publication met à jour et remplace les *Publications 109* et *111* (ICRP, 2009a, b). Elle remplace également les recommandations publiées au préalable dans les *Publications 40*, *63* et *82* (ICRP, 1984, 1991b, 1999).

2

Considérations générales

2.1. Les phases de la gestion d'un accident nucléaire

(10) Pour gérer un accident nucléaire majeur, il est utile de distinguer les phases d'urgence, intermédiaire et de long terme. Dans ses [Recommandations 2007](#) (ICRP, 2007), la Commission a introduit trois types de situations d'exposition : existante, planifiée et d'urgence. Dans le cadre de la mise en œuvre du système de radioprotection en cas d'accident nucléaire, la Commission considère que les phases d'urgence et intermédiaire sont des situations d'exposition d'urgence et que la phase de long terme est une situation d'exposition existante. La Commission reconnaît que diverses organisations internationales et nationales ont adopté des termes ou des subdivisions différents pour décrire le déroulement d'un accident et sa gestion (IAEA, 2018). Il appartient à l'organisation chargée de la mise en œuvre de choisir la terminologie la plus adaptée en fonction des considérations nationales.

(11) La phase d'urgence d'un accident, parfois appelée « phase aiguë » ou « phase précoce », débute au moment de la déclaration de l'accident. Cette phase correspond à d'importants rejets radioactifs dans l'environnement. Ces rejets peuvent durer de quelques heures à quelques semaines. Selon le type d'accident, il peut s'écouler un certain temps entre la déclaration de l'accident et le début des rejets radioactifs. C'est au cours de la phase d'urgence que diverses actions de protection doivent être prises rapidement afin d'éviter ou de réduire les expositions aux rayonnements.

(12) La phase intermédiaire, parfois appelée « phase de transition », commence lorsque la source des rejets a été stabilisée et que d'autres rejets accidentels importants sont peu probables. Au cours de cette phase, certaines actions de protection, mises en œuvre lors de la phase d'urgence, sont levées et d'autres sont engagées pour réduire davantage l'exposition aux rayonnements. La caractérisation de la situation radiologique sur site et hors site est également un enjeu au cours de cette phase pour décider des actions les plus adaptées en matière de protection des populations et de l'environnement. Cette phase peut durer de quelques mois à un an, voire davantage.

(13) La phase de long terme d'un accident, souvent appelée « phase de réhabilitation », commence sur le site lorsque la source de rayonnement est considérée comme étant suffisamment sécurisée et que la situation d'exposition a été suffisamment caractérisée pour engager les opérations de démantèlement de l'installation endommagée. Hors site, la phase de long terme commence lorsque la situation radiologique dans les territoires affectés est suffisamment caractérisée pour permettre aux autorités d'étayer leurs décisions sur l'avenir de ces territoires et lorsque des actions de protection à long terme ont été mises en œuvre pour accompagner la réhabilitation des conditions de vie dans les territoires où les populations sont autorisées à rester ou susceptibles de revenir. Les conditions de vie comprennent des considérations d'ordre sanitaire, sociétal, environnemental et économique. La phase de long terme des accidents majeurs peut durer de plusieurs années à plusieurs décennies.

(14) Le passage d'une phase à la suivante est une question de décisions qui dépendent de nombreux facteurs. En pratique, il est généralement formalisé par une déclaration officielle émanant des autorités. La figure 2.1 résume le phasage d'un accident nucléaire majeur. Le passage d'une situation d'exposition d'urgence à une situation d'exposition existante ne se déroule pas forcément au même moment dans tous les territoires affectés.

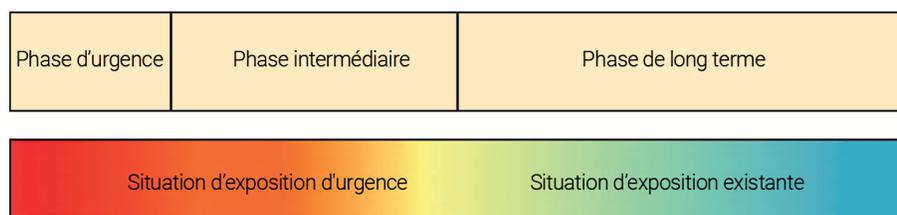


Figure 2.1. Phases de gestion d'un accident nucléaire majeur.

2.2. Conséquences d'un accident nucléaire majeur

(15) Les accidents nucléaires majeurs affectent tous les aspects de la vie individuelle et sociale. En premier lieu, c'est la présence de rayonnements qui préoccupe davantage les populations en raison de leur impact potentiel sur leur santé, d'autant plus qu'il présente un caractère inconnu. D'autres impacts peuvent également présenter des risques immédiats et graves en fonction des circonstances. Le retour d'expérience sur ces situations révèle que tous les aspects de la vie quotidienne des habitants et de l'environnement, y compris les activités socio-économiques, sont affectés et génèrent des situations très complexes (UNDP/UNICEF, 2002). Ces situations ne peuvent pas être gérées uniquement en termes de protection contre les rayonnements mais elles doivent tenir compte également des facteurs sociaux, psychologiques, environnementaux, éducatifs, culturels, éthiques, économiques et politiques associés aux conséquences de l'accident. À cet égard, l'expérience tirée des accidents de Tchernobyl et de Fukushima montre qu'il est essentiel d'accorder une attention toute particulière à la protection de certains groupes vulnérables, notamment les femmes enceintes, les enfants, les personnes soumises à des traitements réguliers et/ou spécifiques et les personnes âgées.

2.2.1. Effets sanitaires induits par les rayonnements

(16) La Commission considère deux catégories principales d'effets sanitaires induits par les rayonnements : les réactions tissulaires induisant des lésions aux tissus et aux organes (également appelés « effets sanitaires déterministes ») et le cancer ainsi que les maladies héréditaires (également appelés « effets sanitaires stochastiques »).

2.2.1.1. Réactions tissulaires

(17) Les lésions des tissus et/ou des organes associées à une exposition aux rayonnements sont caractérisées par une dose seuil au-dessus de laquelle la gravité des effets augmente avec le niveau d'exposition et en dessous de laquelle on estime que l'incidence sera inférieure à 1 %. De telles lésions peuvent apparaître peu de temps après une exposition (quelques heures à quelques mois) ou après une très longue période (quelques années à quelques décennies). Elles peuvent gravement altérer la qualité de vie des personnes exposées. Le tableau 2.1 présente les doses seuils pour certaines réactions tissulaires. La *Publication 118* (ICRP, 2012a) fournit davantage d'informations.

(18) Des doses aiguës aux organes, jusqu'à 100 mGy environ, ne produisent pas d'altérations fonctionnelles immédiates des tissus. Cependant, pour des doses aiguës ou cumulées supérieures à 500 mGy, la gravité des réactions tissulaires augmente progressivement et après des temps longs après l'exposition, en particulier pour le cristallin de l'œil et le système cardiovasculaire. À des doses plus élevées, la gravité des réactions tissulaires augmente davantage et de graves dommages peuvent apparaître, comme l'a illustré l'accident de Tchernobyl.

Tableau 2.1. Doses seuils relatives à certaines lésions des tissus/organes. Les informations entre parenthèses indiquent le délai d'apparition de l'effet.

Effet	Seuil
Mort (en quelques semaines)	Dose aiguë de 2-3 Gy dans l'ensemble du corps avec des soins médicaux adaptés 4 à 8 Gy prolongés sur une semaine 10-14 Gy en 1 à 3 mois avec soins médicaux adaptés
Brûlure de la peau sur une grande surface (2 à 3 semaines)	Dose aiguë de 5 Gy à la peau
Stérilité permanente chez l'homme (3 semaines)	Dose aiguë de 6 Gy aux gonades
Stérilité permanente chez la femme (< 1 semaine)	Dose aiguë de 3 Gy aux ovaires
Risque accru de maladie cardiovasculaire (> 10 ans)	0,5 Gy au cœur ou au cerveau
Induction de la cataracte (> 20 ans)	0,5 Gy au cristallin de l'œil

(19) Plusieurs études épidémiologiques, notamment sur des cohortes de patients traités par radiothérapie, des survivants des bombes atomiques d'Hiroshima et de Nagasaki, et de travailleurs de l'industrie nucléaire, révèlent un risque accru de mortalité par maladie cardiovasculaire associée à des doses au cœur de plusieurs centaines ou milliers de milligrays (Little *et al.*, 2012). La situation pour des doses plus faibles est moins nette. La Commission a recommandé une dose seuil de 500 mGy pour prévenir les maladies cardiovasculaires radio-induites (ICRP, 2012a).

2.2.1.2. Cancer et maladies héréditaires

(20) Les probabilités d'apparition de cancers et d'effets héréditaires sont proportionnelles à la dose, alors que leur gravité est indépendante de la dose reçue. Aux fins de radioprotection, la Commission adopte l'hypothèse que la probabilité d'apparition de ces effets est proportionnelle au niveau d'exposition (c'est-à-dire que même de faibles niveaux d'exposition peuvent conduire à une légère augmentation du risque) (ICRP, 2007).

(21) Un risque accru de cancer, dans des populations exposées, a été rapporté dans de nombreuses études épidémiologiques, parmi lesquelles l'étude des survivants des bombardements atomiques à Hiroshima et à Nagasaki et dans celles portant sur des expositions environnementales, médicales ou professionnelles aux rayonnements. Ces études ont montré que le risque de cancer (c'est-à-dire la fréquence des cas de cancer) était plus élevé chez les personnes exposées que chez les personnes non exposées présentant des caractéristiques similaires (UNSCEAR, 2006).

(22) Des preuves scientifiques fiables démontrent que l'exposition aux rayonnements peut augmenter la probabilité d'apparition de cancers dans une population exposée. De grandes incertitudes subsistent quant aux effets sanitaires associés à une exposition aux rayonnements à de faibles doses et à un faible débit de dose, mais les preuves supportées par les études épidémiologiques d'une relation dose-risque en dessous de 100 mSv sont de plus en plus nombreuses, en particulier dans les études de grande envergure. Aujourd'hui, la plupart des données disponibles convergent vers l'adoption du modèle linéaire sans seuil (NCRP, 2018a ; Shore, 2018). Sur la base des résultats des études épidémiologiques, il est estimé qu'une dose de 100 mSv au-dessus du niveau naturel existant ajoute environ 0,5 % de risque d'apparition de cancer mortel aux 25 % de risque généralement observés au cours d'une vie, dans les populations du monde entier (ICRP, 2007 ; Ogino, 2014).

(23) La glande thyroïde peut être irradiée par des sources externes (exposition externe), mais elle peut en outre accumuler de l'iode radioactif par inhalation ou par ingestion (exposition interne). Un accident nucléaire peut conduire au rejet d'une grande quantité d'iode radioactif et induire une exposition importante de la thyroïde dans la population. Ainsi après l'accident de Tchernobyl, l'incidence du cancer de la thyroïde a augmenté chez les nourrissons ou les jeunes enfants alors exposés à l'iode radioactif. Cette augmentation n'a été observée qu'environ 3 ans après l'accident et persiste encore aujourd'hui, avec un excès du nombre de cas observé parmi les personnes exposées alors qu'elles étaient nourrissons ou jeunes enfants au moment de l'accident (UNSCEAR, 2018).

(24) Il n'existe pas de preuve directe que l'exposition de l'homme aux rayonnements entraîne un excès de maladies héréditaires, mais des effets héréditaires (génétiques) ont été observés chez les animaux. Par conséquent, par prudence, la Commission continue d'inclure le risque des effets héréditaires dans son système de radioprotection.

2.2.2. Conséquences pour la faune et la flore

(25) En cas de rejets radioactifs importants dans l'environnement, les accidents nucléaires peuvent induire une exposition aux rayonnements avec des effets directs sur le biote non humain dans l'environnement immédiat autour de l'installation. Des dommages sur la faune et la flore allant de la disparition de forêts et la réduction du nombre d'invertébrés présents dans les sols, à l'observation de modifications génétiques chez certaines espèces ont été constatés après l'accident de Tchernobyl (UNSCEAR, 2000, 2011 ; IAEA, 2006). Avec le temps, la biodiversité s'est transformée en raison de divers facteurs dont l'absence d'activité humaine. Bien que la présence de radioactivité dans l'environnement après un accident nucléaire soit préoccupante, les effets directement observables sur l'environnement tendent à se limiter, dans la plupart des cas, au territoire sur lequel le dépôt de matières radioactives a été le plus important (UNSCEAR, 2013).

(26) La mise en œuvre d'actions de protection visant à atténuer l'impact d'un accident sur des personnes est également susceptible de réduire l'exposition de certaines espèces de la flore et de la faune. En outre, des effets environnementaux sur un écosystème peuvent découler de la mise en œuvre d'actions de protection, telles que le retrait d'une couche arable ou d'une couverture végétale, ou encore l'utilisation d'améliorants chimiques. Dans ses recommandations pour la protection de l'environnement dans différentes situations d'exposition (ICRP, 2014), la Commission considère que même si les impacts environnementaux peuvent ne pas constituer une priorité immédiate lors de la phase d'urgence d'un accident nucléaire, les conséquences environnementales des actions de protection déployées devraient être considérées lors du choix des options visant à protéger l'homme au cours des phases intermédiaire et de long terme.

2.2.3. Conséquences sociétales

(27) La présence soudaine d'une contamination radioactive est perçue comme indésirable, illégitime et dangereuse, et suscite l'envie de s'en débarrasser. Cette présence dans l'environnement quotidien des populations bouleverse profondément le bien-être des individus et la qualité de vie des communautés affectées. Elle soulève de nombreuses questions, des préoccupations et des craintes, génère des opinions divergentes et aggrave les conflits. Certains habitants choisiront de rester sur les territoires affectés s'ils y sont autorisés, tandis que d'autres choisiront de partir. Parmi ceux qui partent, certains reviendront et d'autres s'installeront ailleurs pour toujours. Ces mouvements peuvent avoir des conséquences importantes sur la vie de la communauté et la démographie, conduisant à une diminution notable du nombre d'habitants, des jeunes en particulier, comme observé après les accidents de Tchernobyl et de Fukushima.

(28) La gestion de l'accident lui-même, sur site et hors site, impacte inévitablement les modes de vie et les relations entre les personnes affectées. Cela entraîne des répercussions d'ordre sociétal, telles que l'organisation des conditions de travail et de vie des intervenants, l'hébergement des personnes déplacées, le zonage des territoires, de multiples restrictions associées aux actions de protection, aux effets collatéraux dus aux actions de décontamination et à l'instauration d'un système de compensation.

(29) Toutes les personnes font face à une situation complexe qui soulève de nombreux dilemmes pour lesquels leurs réponses dépendront de la situation générale de leur communauté et de leur situation personnelle. Les infrastructures et les

activités sociales comme l'éducation, le transport, les soins médicaux, l'aide communautaire, l'espace public, les informations, la protection du public, le sport, les loisirs, l'art et la culture sont toutes affectées.

(30) Les accidents nucléaires de Tchernobyl et de Fukushima ont eu des conséquences similaires en termes d'impacts sociétaux en raison de la contamination radioactive des territoires affectés. Au-delà de la crainte généralisée due à la contamination des territoires impactant tous les secteurs de la vie quotidienne, des études sociologiques ont également révélé un effondrement de la confiance vis-à-vis des experts et des autorités, la dégradation au sein des familles et des liens sociaux, une appréhension de l'avenir, en particulier pour les enfants, et un sentiment progressif de perte de contrôle sur la vie quotidienne. Toutes ces conséquences impactent le bien-être des populations et constituent une menace pour leur autonomie et leur dignité.

(31) À plus long terme, même lorsque les personnes affectées comprennent comment appréhender la situation radiologique et recouvrent leur autonomie et leurs moyens de subsistance, la peur d'être abandonné par les autorités et le reste du pays, ainsi que l'image négative des territoires affectés, demeurent des problèmes qui entravent la dynamique sociale. Un accident nucléaire a également des conséquences sociétales dans les territoires qui ne sont pas directement impactés par la contamination. La gestion de l'accueil des personnes évacuées, surtout lors de la phase d'urgence, constitue un défi tant organisationnel qu'humain. Le retour d'expérience montre qu'un accident nucléaire provoque une attitude de rejet aussi bien vis-à-vis des territoires affectés, que des personnes qui y vivent ou des biens qui y sont produits. Il a été constaté que cette attitude entraîne des discriminations, en particulier envers les jeunes (Sawano *et al.*, 2018). Dans ce contexte, il est important de reconstruire et d'entretenir un esprit de solidarité entre les personnes affectées et le reste du pays et, au-delà, dans le monde entier.

2.2.4. Conséquences économiques

(32) Après un accident nucléaire majeur, l'ensemble du tissu économique des territoires affectés est directement ou indirectement impacté. Le secteur agricole, par exemple, est fortement perturbé par la contamination des sols et du cheptel, avec des répercussions sur la production alimentaire ainsi que sa distribution et sa consommation. L'accident a également des conséquences sur les secteurs de l'industrie et des services dans ces territoires. En raison de la mondialisation, les conséquences économiques peuvent être observées au niveau national et international.

(33) La contamination radiologique est susceptible d'impacter directement les infrastructures essentielles, comme les services de fourniture en énergie, les transports en commun, les systèmes de communication, l'approvisionnement en nourriture et la distribution d'eau. Cela a des conséquences sur les activités des entreprises locales et l'emploi, mais aussi sur les services publics clés tels que les services de l'administration, les services de sécurité, les établissements médicaux, les systèmes financiers, les services de santé publique et les établissements d'enseignement.

(34) Les entreprises qui souhaitent maintenir leur activité économique dans des territoires affectés ou celles qui viennent s'y implanter peuvent être confrontées à des difficultés supplémentaires dues à la contamination. Le personnel, les lieux de travail, les produits et l'image même de ces entreprises peuvent tous en être

impactés. L'expérience a montré qu'il est important d'impliquer à la fois les employés et leur famille dans la réponse apportée en termes d'information et de surveillance. L'évolution de la démographie locale est un autre facteur qui impacte l'économie globale des territoires affectés.

(35) Les conséquences économiques d'un accident peuvent induire des contraintes techniques et financières supplémentaires sur toutes les activités économiques à l'intérieur ou en lien avec un territoire impacté. Le maintien ou le redémarrage d'activités, ou leur création, doivent être soutenus par les autorités locales et nationales pendant plusieurs années. Pour les territoires affectés dans lesquels les autorités décident de laisser les personnes qui le souhaitent résider, l'objectif global est le redéploiement durable des activités sociales et économiques.

2.2.5. Conséquences psychologiques

(36) Un accident nucléaire majeur est susceptible de perturber fortement la vie des gens à la fois dans la réponse immédiate et à plus long terme dès lors que l'attention sera portée sur la réhabilitation des conditions de vie et de travail dans les territoires affectés. Un accident suscite de nombreuses préoccupations et de grandes craintes. Les personnes sont déstabilisées par la complexité de la situation et se posent de nombreuses questions. Au-delà des conséquences directes de l'accident, les bouleversements sociétaux et économiques ont un impact sur la santé mentale des personnes. En outre, les personnes affectées par un accident nucléaire peuvent ressentir de l'angoisse, du désarroi, du découragement, de l'impuissance, de l'insatisfaction, de la frustration et de la colère. Beaucoup d'entre elles déclarent avoir le sentiment de perdre le contrôle sur leurs conditions de vie et de travail, associé à un stress psychologique élevé. Cette situation peut induire des troubles psychologiques et psychosomatiques chez certaines personnes, sans rapport avec l'ampleur réelle de l'exposition aux rayonnements, comme le rapportent plusieurs études réalisées après les accidents nucléaires de Tchernobyl et de Fukushima (Yasumura *et al.*, 2012 ; Kunii *et al.*, 2016 ; Oe *et al.*, 2016a, b).

(37) Ces études font état, chez les intervenants qui ont été directement confrontés à la catastrophe, d'un taux élevé de dépression et de syndromes de stress post-traumatique pouvant mettre leur vie en danger. Des études rapportent également que des personnes confrontées à une contamination radioactive dans leur vie quotidienne, même faible, ou des personnes évacuées, confrontées à des conditions de vie dégradées et en l'absence d'une vision claire de leur avenir, sont plus vulnérables à l'anxiété, au stress et à la dépression (Bromet *et al.*, 2011 ; Bromet, 2014 ; Harada *et al.*, 2015 ; IAEA, 2015a ; Suzuki *et al.*, 2015 ; Maeda et Oe, 2017).

(38) Les parents de jeunes enfants qui s'inquiètent de manière récurrente des effets potentiellement dangereux pour la santé de leurs enfants et de leurs familles sont particulièrement sujets à des troubles psychologiques. Des études ont révélé que l'anxiété des mères face à la contamination dans leur vie quotidienne est un facteur de stress important qui peut induire des comportements inappropriés (manque de sensibilité ou même violence) qui peuvent entraver le développement émotionnel et social de leurs enfants (Maeda et Oe, 2014).

(39) L'expérience a également montré que sur le plan psychologique, la réaction de chaque personne dépend fortement de sa propre situation et peut évoluer dans le temps :

certaines personnes vont souffrir de dépression, d'autres se résigner pour finalement adopter une attitude d'indifférence ou de déni et, d'autres encore, réagir et tout mettre en œuvre pour améliorer leur propre situation et celle des autres. Les effets psychologiques d'un accident nucléaire peuvent impacter les personnes concernées durablement.

2.2.6. Impacts sur la santé des changements de mode de vie associés à des actions de protection

(40) Outre les effets sanitaires induits par les rayonnements après l'accident, d'autres impacts sur la santé peuvent être attribués aux changements de mode de vie dus à la présence de radioactivité et aux actions adoptées pour éviter l'exposition aux rayonnements. De nombreuses études réalisées après les accidents nucléaires de Tchernobyl et de Fukushima ont fait état de divers troubles physiques et psychologiques associés aux actions de protection prises non seulement lors de la phase d'urgence mais aussi lors des phases intermédiaire et de long terme (Hasegawa *et al.*, 2015 ; Luccioni *et al.*, 2016).

(41) Peu après une évacuation, les populations vulnérables, comme les patients hospitalisés et les personnes âgées dans les maisons de retraite, sont particulièrement exposées à l'hypothermie, la déshydratation et l'aggravation de symptômes préexistants. Ces phénomènes peuvent entraîner une hausse de la mortalité (Morita *et al.*, 2017). Parallèlement, les enfants vivant dans les centres d'évacuation sont plus exposés aux maladies infectieuses en raison de la surpopulation et du stress causé par des installations inadaptées. Ils peuvent également être affectés sur le plan psychologique et développer ensuite des troubles émotionnels (Oe *et al.*, 2018). La violence verbale envers les enfants évacués et leur intimidation peuvent constituer une source supplémentaire de stress (Sawano *et al.*, 2018 ; Oe *et al.*, 2019).

(42) Durant les phases intermédiaire et de long terme, les personnes qui résident dans les territoires contaminés, mais aussi celles qui sont temporairement relogées, peuvent subir des effets durables sur leur santé physique en raison de leur changement de mode de vie. Des cas d'obésité, de diabète, de maladies cardiovasculaires, d'hypertension et des problèmes rénaux chroniques ont notamment été observés. Ces effets sont essentiellement dus à une mauvaise alimentation (par exemple, une carence en fruits et légumes) un manque d'exercice, un abus de substances toxiques et un accès limité aux services médicaux ou à l'offre de soins. Par ailleurs, la restriction des activités de plein air due à la présence de rayonnements peut contribuer à augmenter les cas d'obésité infantile (Nomura *et al.*, 2016 ; Ono *et al.*, 2017 ; Tsubokura, 2018).

2.3. Principes de protection des personnes et de l'environnement

(43) Les recommandations de la Commission, relatives à un accident nucléaire majeur, ont pour objectif de guider le choix des actions à prendre pour assurer un niveau adéquat de radioprotection des personnes et de l'environnement. Cela signifie qu'il faut gérer les expositions des personnes de manière à éviter les lésions graves aux tissus

et aux organes, réduire autant que raisonnablement possible les risques de cancer et de maladies héréditaires et prévenir ou réduire la fréquence des effets délétères des rayonnements sur le biote non humain. Ces objectifs devraient être poursuivis en tenant compte des éventuels effets indésirables dus à une exposition aux rayonnements pour les personnes, la faune et la flore et des conséquences sociétales, environnementales et économiques de l'accident et de sa gestion. Cela signifie qu'il convient de préserver, autant que possible, la santé et le bien-être de toutes les personnes affectées, des conditions de travail décentes pour les intervenants, la qualité de vie des communautés affectées ainsi que la biodiversité dans les territoires impactés.

(44) Dans les situations d'expositions d'urgence et existante, les objectifs de la radioprotection reposent sur deux principes fondamentaux : la justification et l'optimisation (voir le paragraphe 203 de la *Publication 103* [ICRP, 2007]). Le principe de justification vise à s'assurer que les décisions prises pour la mise en œuvre d'actions de protection se traduisent par un bénéfice pour les personnes et l'environnement affectés, sachant que ces actions peuvent provoquer de sérieuses perturbations. Le principe d'optimisation de la protection appliqué avec des niveaux de référence vise à limiter l'iniquité dans la distribution des doses individuelles, ainsi qu'à maintenir ou à réduire toutes les expositions à un niveau aussi bas que raisonnablement possible, compte tenu des facteurs sociétaux, environnementaux et économiques.

(45) Le troisième principe fondamental de la radioprotection, relatif à l'application de limites de dose, n'est pas adapté aux situations d'expositions d'urgence et existante après un accident. Ce principe ne s'applique qu'aux situations d'exposition planifiée, lorsque la source a été introduite délibérément et que les expositions sont entièrement sous contrôle et réglementées. Dans ce contexte, la Commission a défini un cadre fondé sur des considérations de risque pour établir des limites de dose (ICRP, 1991a). La limite de dose correspond au niveau de risque (c'est-à-dire au niveau d'exposition) à ne pas dépasser, sur une base raisonnable, dans le cadre d'une utilisation normale de la source considérée. Tout dépassement de cette limite indique une défaillance dans la gestion opérationnelle qui doit être corrigée.

(46) Dans une situation d'exposition d'urgence au cours de laquelle l'objectif est de reprendre le contrôle de la source, et dans une situation d'exposition existante si la présence d'une source n'est pas intentionnelle, les niveaux d'exposition peuvent être supérieurs aux limites fixées pour une situation d'exposition planifiée. Cela ne devrait pas être considéré systématiquement comme une indication d'une mauvaise gestion de ces situations. Plutôt que d'utiliser l'approche par la limite de dose et en s'appuyant sur l'expérience, la Commission a défini des niveaux de référence qu'il convient de sélectionner dans des intervalles d'exposition génériques qui tiennent compte du risque induit par les rayonnements et de la faisabilité de la maîtrise de la situation (ICRP, 2007).

(47) Une fois la situation d'urgence déclarée, les décisions quant aux actions de protection à mettre en place sur site et hors site devraient être prises rapidement pour être efficaces. Étant donné le délai très court de réaction et les nombreuses incertitudes associées, ces actions devraient être anticipées sur la base de scénarios plausibles et adaptés au mieux à la situation réelle. La gestion de la phase d'urgence nécessite une interaction adéquate entre les pays impactés et une coopération internationale, notamment pour traiter la protection des ressortissants, les questions transfrontalières, les restrictions alimentaires et l'assistance en cas de besoin (IAEA, 2015b). Lors de la phase intermédiaire, la caractérisation progressive de la situation

radiologique sur site et hors site est essentielle pour orienter la prise de décision concernant les actions de protection à entreprendre, à poursuivre ou à interrompre. Pendant la phase de long terme, les situations radiologiques sur site et hors site sont mieux appréhendées et peuvent être améliorées avec la mise en œuvre d'actions de protection adaptées aux spécificités locales des territoires affectés.

(48) Dans la phase d'urgence, la protection de l'environnement peut ne pas être une priorité immédiate (ICRP, 2014). Toutefois, pour ce qui concerne les animaux de compagnie et le cheptel, la Commission recommande de prendre des mesures appropriées pour les protéger et de prévoir des dispositions spécifiques dans le processus de préparation visant à préserver leur bien-être et à prévenir la propagation de maladies et de la contamination.

(49) Dans la phase intermédiaire, il convient de prendre en compte les conséquences de l'exposition aux rayonnements sur la faune et la flore ainsi que les conséquences des éventuelles actions de protection sur l'environnement, même si la question de l'exposition humaine prédomine. Ce principe doit notamment s'appliquer lors du choix des actions de décontamination de l'environnement (par exemple du sol), car ces choix peuvent affecter durablement la fertilité organo-minérale du sol et la biodiversité.

(50) Au cours de la phase de long terme, il devrait être possible d'envisager des actions visant à protéger les espèces susceptibles d'être menacées par une contamination durable. Des dispositions spécifiques peuvent également s'avérer nécessaires pour maintenir la qualité de l'environnement impacté par la mise en œuvre des actions de protection. Il convient de considérer ces actions dans une démarche globale incluant l'abondance et la diversité des espèces menacées ou en danger, l'étendue spatiale de l'impact et la valeur intrinsèque de l'environnement (NCRP, 2018b).

2.3.1. Justification des décisions de protection

(51) Le principe de justification stipule que toute décision visant à modifier une situation d'exposition aux rayonnements devrait faire plus de bien que de mal. En effet, faire le bien (bienfaisance) tout en évitant autant que possible de faire le mal (non-malfaisance) est conforme aux valeurs éthiques de bienfaisance et de non-malfaisance telles qu'elles sont introduites dans la [Publication 138](#) (ICRP, 2018). Dans les situations d'expositions d'urgence et existante, le principe de justification est appliqué lorsqu'il s'agit de décider quelles actions il convient de prendre pour éviter ou réduire les expositions potentielles ou réelles. Toutes les décisions visant à réduire l'impact de l'exposition en cas d'accident nucléaire introduisent des contraintes supplémentaires sur les conditions de travail sur site et sur la vie quotidienne dans les territoires affectés, qui ont des effets négatifs plus ou moins importants sur les individus et les communautés concernées. Les décisions prises devraient reposer sur une approche raisonnablement réaliste mais prudente, qui tiennent compte des incertitudes inévitables associées aux situations sur site et hors site, tout en gardant à l'esprit leurs éventuelles conséquences négatives.

(52) La justification fait partie de la radioprotection qui n'a pas pour seul objectif d'éviter ou de réduire l'exposition, mais peut également inclure des effets sanitaires non radiologiques, et des considérations sociétales, économiques et environnementales. La justification est conforme à l'objectif éthique global des sociétés qui est de

contribuer au bien-être des individus, à la qualité de vie des communautés affectées et à la préservation de la qualité de l'environnement pour les générations futures. À cet effet, la justification devrait également considérer plus spécifiquement les groupes les plus vulnérables ou les communautés particulières telles que les populations autochtones.

(53) La responsabilité de la prise de décision sur la justification de la protection incombe généralement aux autorités et aux organisations responsables. L'objectif est d'assurer un bénéfice global, au sens le plus large du terme, pour la société mais pas nécessairement au niveau de chaque individu. Plusieurs aspects de la justification des décisions peuvent toutefois être utilement éclairés par des organisations ou des individus autres que les autorités. La Commission recommande par conséquent d'associer les principales parties prenantes aux processus publics de justification des décisions autant qu'il est possible (NEA, 2006).

(54) La Commission considère également que la justification des décisions devrait être réévaluée régulièrement dès lors que la situation globale résultant de l'accident évolue. En effet, la justification n'est pas fixée une fois pour toutes, ni lors de la planification ni lors de la gestion de l'accident. Il s'agit de vérifier que les actions déjà prises continuent à faire plus de bien que de mal au sens large. La Commission estime également que la justification de la stratégie globale de protection devrait considérer les bénéfices et les inconvénients des actions de protection appliquées séparément ou en combinaison. Elle devrait en fin de compte être jugée en mettant en regard le niveau d'exposition résiduelle des personnes affectées avec les conséquences sociétales, environnementales et économiques.

(55) Lors de la phase d'urgence, la justification s'applique aux décisions d'engager ou non des actions immédiates visant à éviter ou à réduire les expositions. Dans ce contexte, les décisions d'évacuation et de mise à l'abri des populations sont les plus délicates. Alors que ces actions sont efficaces et relativement simples à mettre en œuvre lorsqu'il s'agit de protéger de petites communautés elles s'avèrent beaucoup plus compliquées et potentiellement difficiles à déployer à grande échelle et dans la durée. Les enseignements tirés de l'accident survenu à Fukushima, par exemple, suggèrent que l'évacuation non planifiée des personnes âgées ou assistées médicalement en maison spécialisée pourrait leur avoir causé plus de mal que de bien (Tanigawa *et al.*, 2012). De même, une mise à l'abri stricte peut ne pas être justifiée au-delà de 1 ou 2 jours (voir le [chapitre 3](#) pour plus de détails). La nécessité d'agir au plus vite ne favorise pas l'implication des parties prenantes. Ces dernières devraient toutefois être impliquées dans le processus de préparation et dans les exercices de crise.

(56) Dans la phase intermédiaire, la justification s'applique aux décisions relatives à la mise en œuvre de nouvelles actions de protection, telles que ces actions une fois combinées, forment une stratégie de protection cohérente. La justification s'applique également à la décision fondamentale des autorités concernant le devenir des territoires affectés et marque le début de la phase de long terme. Cette décision doit être prise en coopération avec les personnes et les communautés locales affectées, lorsque la situation radiologique est mieux caractérisée, en tenant compte des résultats des actions de protection déjà déployées. Cette décision devrait également tenir compte des informations disponibles en matière de durabilité des activités sociétales et économiques. Il convient entre autres de désigner, d'une part, les territoires dans lesquels la population n'est pas autorisée à rester en raison des niveaux d'exposition résiduels élevés et de la difficulté à maintenir des conditions de vie et de travail conve-

nables et, d'autre part, ceux dans lesquels la situation d'exposition autorise les personnes qui le souhaitent à y résider. Plusieurs territoires géographiques peuvent être définis pour bénéficier des actions de protection ad hoc qui seront déployées selon une approche graduée en tenant compte du niveau d'exposition prévu et de considérations sociétales, environnementales et économiques. C'est l'approche qui a été adoptée par les autorités après les accidents nucléaires de Tchernobyl et de Fukushima.

(57) L'expérience internationale tirée des accidents nucléaires et d'autres accidents industriels ayant entraîné une contamination importante et durable ainsi que celle tirée de catastrophes naturelles, montrent que ni les nations ni les individus ne sont prêts à abandonner facilement des territoires affectés (Bonaiuto *et al.*, 2016). Toutefois, la décision d'autoriser des personnes à rester dans ces territoires ne devrait être prise que lorsque les conditions nécessaires sont réunies, en particulier la protection contre les conséquences sanitaires potentielles et l'accès à des conditions de vie et de travail convenables, comprenant des modes de vie et des moyens de subsistance durables. L'expérience passée a montré l'importance et les bénéfices qu'il y avait à impliquer les parties prenantes dans ces décisions, en particulier les représentants des autorités locales, les professionnels et les habitants des communautés affectées, en vue d'améliorer le processus décisionnel.

2.3.2. Optimisation de la protection

(58) Dès lors que les décisions de protéger les personnes et/ou l'environnement ont été prises, la Commission recommande la mise en œuvre d'actions de protection conformément au principe d'optimisation de la protection. Ce principe, qui est au cœur du système de radioprotection, signifie que toutes les expositions des personnes devraient être maintenues à un niveau aussi bas que raisonnablement possible, compte tenu des facteurs sociétaux, environnementaux et économiques.

(59) La mise en œuvre du principe d'optimisation de la protection est un processus qui nécessite une bonne compréhension de la situation d'exposition, y compris des différents facteurs en jeu, et des informations et données radiologiques pertinentes qui caractérisent cette situation pour pouvoir choisir les actions de protection les mieux adaptées à ces circonstances particulières. En outre, il convient de prendre en compte les points de vue et les préoccupations des parties prenantes, ainsi que les valeurs éthiques propres à la radioprotection (c'est-à-dire, éviter les expositions inutiles [prudence], assurer une distribution équitable de l'exposition des personnes exposées [justice/équité], et traiter les personnes avec respect [dignité]). La prudence, la justice/équité et la dignité sont des valeurs éthiques fondamentales et universelles qui sous-tendent le système de radioprotection, et, en particulier, le principe d'optimisation (ICRP, 2018).

(60) La mise en œuvre du principe d'optimisation est un processus par étapes qui vise à sélectionner les actions de protection les plus efficaces en fonction des caractéristiques de la situation d'exposition (voir la [figure 2.2](#)).

(61) La comparaison des actions de protection justifiées est un élément essentiel du processus d'optimisation qui implique un examen attentif de toutes les caractéristiques de la situation. Des techniques d'aide à la décision peuvent être utilisées pour orienter le choix des actions de protection. Des conseils pour l'application de ces techniques sont donnés dans les *Publications 37, 55 et 101* (ICRP, 1983, 1990, 2006).

En raison de sa nature décisionnelle, la transparence du processus est essentielle et il convient d'impliquer directement les parties prenantes concernées par la situation d'exposition. Cette transparence implique que toutes les informations, hypothèses et jugements disponibles et pertinents sur les impacts radiologiques et non radiologiques soient transmis aux populations affectées et que la traçabilité du processus de prise de décision soit correctement documentée, de manière à pouvoir prouver que la décision a été prise en toute connaissance de cause (ICRP, 2006, paragraphe 34).

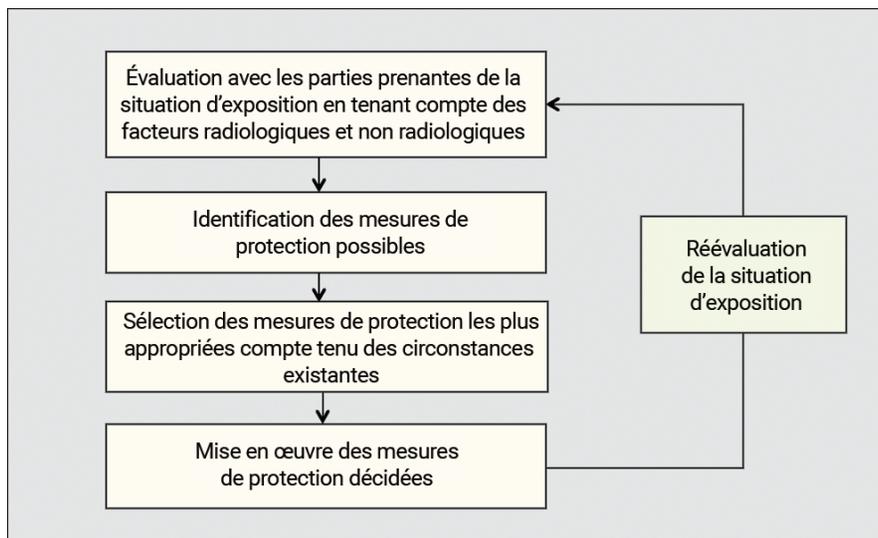


Figure 2.2. Le processus d'optimisation.

(62) L'optimisation est un état d'esprit qui consiste à se demander si les bonnes actions ont été prises compte tenu des circonstances du moment et si tout ce qui pouvait être fait pour maintenir ou réduire les expositions au niveau aussi bas que raisonnablement possible, l'a été. Il incombe aux autorités de fournir de bonnes orientations et un soutien adéquat aux organisations (par exemple dans les secteurs agricole et industriel) et aux personnes (celles ayant des responsabilités ou bien des citoyens concernés) impliquées dans la mise en œuvre pratique de la protection. Par conséquent, le gouvernement, ou l'autorité responsable, doit constamment évaluer l'efficacité des actions de protection, y compris celles réalisées au niveau local ou individuel, afin de pouvoir soutenir de façon appropriée leur mise en œuvre.

(63) Comme pour la justification des décisions, la mise en œuvre sur le plan pratique de l'optimisation durant la phase d'urgence est freinée par les incertitudes et le manque d'informations sur la situation radiologique sur site et hors site. Les hypothèses devraient également tenir compte des conséquences non radiologiques compte tenu des incertitudes par exemple sur l'état des infrastructures ou sur la réaction et le comportement de la population. Pour ces raisons, les actions de protection qui ont été considérées comme justifiées lors de la phase de préparation sont mises en œuvre en premier. À mesure que la caractérisation de la situation radiologique progresse, il devient possible de réviser le processus d'optimisation des différentes actions de protection déployées afin de mieux prendre en compte les particularités des situations d'exposition, tant sur site que hors site.

(64) En raison de la complexité de la situation socio-économique résultant d'un accident nucléaire, la mise en œuvre de l'optimisation au cours des phases d'urgence, intermédiaire et de long terme devrait tenir compte des nombreux jugements de valeur concernant l'importance ou la priorité qui doit être donnée à la protection de groupes de population vulnérables ou spécifiques, ou aux activités sociales et économiques. Il s'agit d'accorder une attention particulière, par exemple, aux femmes enceintes, aux enfants et aux personnes âgées et handicapées. Les activités sociales et économiques stratégiques devraient également faire l'objet de dispositions de protection spécifiques lors de la mise en œuvre du processus d'optimisation.

(65) Le processus d'optimisation est inévitablement confronté à des conflits d'intérêts entre les parties prenantes, et doit chercher à concilier leurs différentes attentes et besoins. Par exemple, les producteurs de biens, de services et de denrées alimentaires souhaitent poursuivre leur production mais leur capacité à le faire est contrainte par la volonté des consommateurs à acheter leurs produits. Un autre exemple est le désir des personnes affectées de continuer à interagir avec les populations nationales et internationales, notamment grâce au tourisme, ce qui n'est pas forcément partagé par les populations visées. Ainsi, les actions de protection devraient contribuer à redonner confiance à toutes les personnes en lien avec le territoire affecté.

(66) L'une des caractéristiques de l'exposition aux rayonnements en cas d'accident est la large distribution des expositions reçues par les intervenants et par les personnes qui vivent et travaillent dans les territoires affectés. L'expérience passée montre que la majorité des personnes est relativement faiblement exposée, même si les doses reçues par une fraction d'entre elles peuvent être plus importantes. Lors de la phase d'urgence, quelques personnes peuvent recevoir des doses élevées qui peuvent générer de graves effets sanitaires radio-induits si des actions de protection ne sont pas rapidement mises en œuvre. La Commission accorde donc une attention particulière à l'équité dans la répartition des expositions au sein des groupes de personnes affectées et recommande, qu'en cas d'accident, l'optimisation de la protection soit mise en œuvre dans le but de réduire en priorité l'exposition des personnes les plus exposées.

(67) En cas d'accident, la protection des personnes vulnérables est également une préoccupation. Notamment, les femmes enceintes et les jeunes enfants sont plus sensibles à l'exposition à l'iode radioactif. L'état de santé des personnes âgées, ainsi que celui des personnes malades et/ou hospitalisées, peut également se détériorer en raison des bouleversements liés à l'événement et aux actions de protection déployées. Les personnes sans domicile fixe peuvent également être plus exposées en raison de leurs mauvaises conditions de vie (Sawano *et al.*, 2019). C'est pourquoi la Commission recommande d'identifier et de prendre en compte les groupes vulnérables dans la mise en œuvre du principe d'optimisation.

(68) Afin de réduire les expositions individuelles et de limiter les iniquités en matière de distribution des expositions, la Commission recommande d'utiliser des niveaux de référence pour guider l'optimisation de la protection au cours des trois phases d'un accident nucléaire. Ces niveaux de référence doivent être adaptés aux différentes phases de l'accident en distinguant l'exposition des intervenants sur site, celles des intervenants hors site et celle des membres du public hors site (voir la [section 3.3](#)). La Commission recommande aussi d'utiliser la dose résiduelle pour évaluer l'efficacité

des actions de protection déployées. Cette dose résiduelle correspond à la dose restante ajoutée par l'accident sans inclure l'exposition naturelle. Comme la meilleure action de protection est toujours spécifique à la situation d'exposition, il n'est pas pertinent de déterminer, *a priori*, un niveau de dose en deçà duquel le processus d'optimisation devrait s'arrêter (ICRP, 2007, paragraphe 218). L'optimisation de la protection, cependant, n'est pas une minimisation des expositions. Elle est le résultat d'un processus visant à équilibrer soigneusement la réduction des expositions et les impacts sociétaux, environnementaux et économiques associés. Cela n'aboutit pas toujours au niveau de dose résiduelle le plus bas pour les individus.

(69) Une fois la phase intermédiaire terminée et la situation radiologique caractérisée, un processus d'optimisation plus détaillé peut être mis en œuvre, étape après étape, qui veille à bien tenir compte des conditions locales, à adapter les actions de protection à l'évolution de la situation radiologique et à inclure les préoccupations et les souhaits des personnes avec celles des communautés locales. Avec l'augmentation progressive du nombre des mesures de la radioactivité dans l'environnement et des expositions individuelles, il devient possible d'identifier les personnes qui restent les plus exposées et les facteurs qui contribuent à leur exposition. La mise en œuvre d'actions de protection ciblées contribue progressivement à réduire les expositions les plus élevées, ainsi que l'exposition moyenne de la population. À plus long terme, l'expérience a montré que, dans les territoires où les populations sont autorisées à résider, il est généralement possible de réduire l'exposition de la plupart des personnes à des niveaux comparables à ceux considérés comme tolérables pour l'exposition du public due aux sources de rayonnement artificielles autorisées par les autorités dans les territoires non affectés.

(70) Pendant les phases intermédiaire et de long terme, l'exposition des personnes dépend non seulement de la situation radiologique résiduelle dans le territoire dans lequel ils résident et travaillent, mais aussi, dans une large mesure, de leur comportement et de leur mode de vie (par exemple, leur alimentation, leurs loisirs, etc.). Ces derniers dépendent en grande partie de la situation de chacun, des ressources disponibles ainsi que de la volonté et de la capacité des individus à évoluer. Dès lors que les personnes sont correctement informées sur les sources de leur exposition, elles sont en mesure de faire des choix et d'agir sur leur mode de vie et leurs habitudes pour réduire davantage cette exposition. La Commission les qualifie d'« actions d'autoprotection » et considère que leur mise en œuvre fait partie intégrante du processus d'optimisation, qu'elle peut être très efficace et qu'elle devrait être encouragée par les autorités et les experts.

(71) La radioprotection supposant que la probabilité d'occurrence des effets stochastiques est proportionnelle à l'exposition, le dilemme pour les individus durant la phase de long terme consiste alors à trouver un équilibre entre les efforts consentis et les conséquences de l'adoption d'autoprotection avec un éventuel risque radiologique résiduel. En outre, il y a généralement une limite quant aux actions que les individus peuvent entreprendre sans modifier de manière déraisonnable leur comportement et restreindre leurs désirs. De telles décisions peuvent être prises à la lumière d'informations pertinentes sur la situation radiologique et par l'accès aux mesures individuelles.

(72) Il incombe aux autorités et aux experts de faciliter les processus qui permettent aux habitants et aux communautés locales de définir, d'optimiser et d'appli-

quer des actions d'autoprotection, s'ils le souhaitent et s'ils le peuvent. Ils devraient répondre aux questions, aider à la mise en œuvre des mesures et à l'interprétation des résultats et fournir des informations et un soutien (voir la [section 3.4.3](#) sur le processus de co-expertise). Toutefois, les actions d'autoprotection peuvent se révéler perturbantes (par exemple, prêter une attention constante aux aliments consommés et aux lieux fréquentés afin de réduire les expositions internes et externes).

(73) Une stratégie de mise en œuvre d'actions de protection devrait être préparée par les autorités dans le cadre de dispositifs nationaux de préparation et de planification. Les actions d'autoprotection ainsi que les conditions permettant aux habitants de les entreprendre devraient être intégrées dans la planification. Bien qu'il soit difficile de prédire l'efficacité des actions de protection visant à réduire l'exposition et de demander à la population de s'y préparer, la Commission recommande aux autorités d'associer des parties prenantes représentatives à l'élaboration de ces plans.

2.3.3. *Optimisation et utilisation des niveaux de référence*

(74) En matière de protection des personnes dans les situations d'expositions d'urgence et existante, la Commission recommande d'utiliser des niveaux de référence, exprimés en termes de dose efficace individuelle (mSv), afin de limiter les inéquités dans la distribution des expositions et de maintenir ou de réduire toutes les expositions à un niveau aussi bas que raisonnablement possible. Lors de la phase de préparation, avant un accident, les niveaux de référence servent de guides pour sélectionner et dimensionner les actions de protection à déployer dans les phases d'urgence, intermédiaire et de long terme pour un scénario d'accident donné. Par conséquent, ils représentent, au stade de la planification, les niveaux d'exposition à ne pas dépasser. Quand une situation d'exposition d'urgence s'est produite ou qu'une situation d'exposition existante a été déclarée, les niveaux de référence deviennent le point de repère pour évaluer l'efficacité des actions de protection. Dans un premier temps, et selon les circonstances, la distribution des expositions résultant de ces actions peut ou non inclure des expositions supérieures au niveau de référence. L'objectif est de réduire davantage les expositions, en mettant l'accent sur la réduction des expositions supérieures au niveau de référence pour les ramener à un niveau inférieur.

(75) La Commission maintient sa position selon laquelle les niveaux de référence ne constituent pas des limites réglementaires prescriptives ne devant pas être dépassées. Dans la pratique, les niveaux de référence peuvent être dépassés par certains individus au début ou au cours du processus d'optimisation sans que cela ne constitue une violation de la réglementation. En tant que tels, les niveaux de référence orientent la mise en œuvre pratique du principe d'optimisation, et constituent des outils qui peuvent être intégrés dans les recommandations internationales et nationales. La [Publication 103](#) (ICRP, 2007) a fourni des intervalles de niveaux de référence génériques à partir desquels des niveaux de référence spécifiques peuvent être sélectionnés, en tenant compte des caractéristiques des situations d'exposition considérées.

(76) La [figure 2.3](#) présente schématiquement comment les niveaux de référence orientent le processus d'optimisation dans toutes les phases d'un accident nucléaire. Au début de chaque phase, une partie des expositions individuelles peut se situer

au-dessus du niveau de référence sélectionné par les autorités. Il convient en priorité d'identifier les personnes les plus exposées (potentiellement ou effectivement) pour prévenir ou réduire leur exposition. Les actions de protection mises en œuvre au cours des trois phases viseront à réduire progressivement le nombre de personnes qui seraient exposées à un niveau supérieur au niveau de référence.

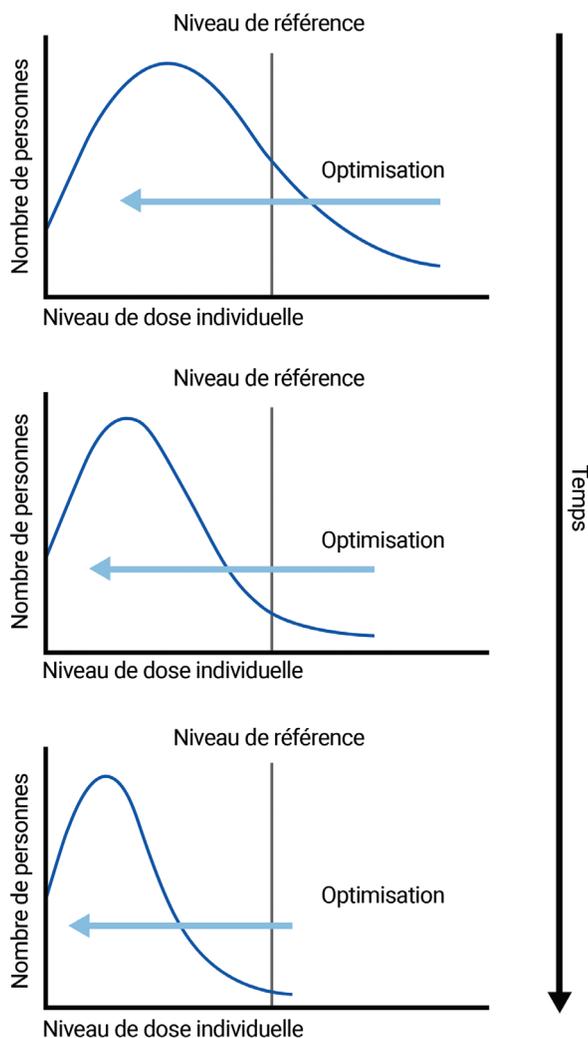


Figure 2.3. Illustration schématique de l'évolution de la distribution des expositions individuelles dans le temps après la mise en œuvre du processus d'optimisation avec un niveau de référence.

(77) Lorsque les conditions évoluent et que la distribution de dose change, il peut être approprié de réévaluer le niveau de référence. À mesure que le nombre d'individus pour lesquels les niveaux de doses dépassent le niveau de référence ou s'en approchent diminue, le niveau de référence peut être abaissé pour accompagner

l'amélioration de la situation radiologique. Pour être efficace, le processus de sélection et de réévaluation de la valeur du niveau de référence devrait être adapté aux circonstances. Par ailleurs et dans la mesure du possible, la Commission recommande de solliciter les parties prenantes pour convenir du niveau d'ambition recherché en sélectionnant un niveau de référence donné.

(78) En matière de protection de l'environnement, la Commission recommande l'utilisation de niveaux de référence dérivés « bien pesés » (DCRL) pour prévenir ou réduire la fréquence d'effets délétères sur la faune et la flore dans les territoires affectés (ICRP, 2008). Les DCRL sont définis au moyen d'un intervalle de débits de dose pour les animaux et les plantes de référence (*Reference Animals and Plants*, RAP) dans lequel des effets délétères seraient potentiellement observables. Pendant la phase d'urgence d'un accident, la protection de la faune et de la flore n'est généralement pas la première des priorités. Toutefois, les DCRL peuvent s'avérer utiles pour comprendre les impacts potentiels sur la faune et la flore. Dans les phases intermédiaires et de long terme, lorsque la situation radiologique est mieux caractérisée, la Commission recommande d'examiner comment réduire l'exposition des animaux et des plantes particulièrement exposés, en tenant compte des facteurs sociétaux, environnementaux et économiques.

(79) Dans cette publication, la Commission fournit des recommandations sur la mise en œuvre du principe d'optimisation et la sélection de niveaux de référence appropriés dans les phases d'urgence, intermédiaire et de long terme en cas d'accident nucléaire majeur pour la protection des populations sur site et hors site, ainsi que pour celle des biotes non humains. Ces recommandations sont détaillées aux chapitres 3 et 4 respectivement.

3

Les phases d'urgence et intermédiaire

3.1. *Caractéristiques des phases d'urgence et intermédiaire*

(80) La Commission recommande de gérer les phases d'urgence et intermédiaire d'un accident nucléaire majeur conformément aux principes de radioprotection qui s'appliquent aux situations d'exposition d'urgence. Ces situations, qui sont définies comme le résultat d'une perte de contrôle d'une source de rayonnement ou d'une mauvaise utilisation intentionnelle d'une source, nécessitent de déployer des actions urgentes et appropriées visant à éviter ou à atténuer une exposition indésirable et à reprendre le contrôle de la source. Les situations d'exposition d'urgence peuvent avoir une ou plusieurs des caractéristiques suivantes : de fortes incertitudes en ce qui concerne l'état actuel et futur de la source, des incertitudes relatives aux voies et aux niveaux d'exposition, parfois potentiellement élevés et une évolution rapide des conditions radiologiques et non radiologiques.

(81) Les situations d'exposition d'urgence résultant d'un accident nucléaire majeur entraînent l'exposition des intervenants mais aussi des personnes du public. Ce type de situation peut se prolonger plusieurs semaines, voire plusieurs mois, comme l'ont montré les accidents de Tchernobyl et de Fukushima. Les accidents nucléaires majeurs peuvent concerner une installation, plusieurs installations sur un même site, ou plusieurs sites si des événements extérieurs importants surviennent. Au cours de la phase d'urgence, il est nécessaire d'agir rapidement pour atténuer les conséquences des rejets radioactifs. Progressivement, au cours des phases d'urgence et intermédiaire, les rejets sont maîtrisés et dès lors la situation radiologique mieux caractérisée. Hors site, les incertitudes demeurent concernant les expositions et l'avenir des territoires affectés. Par conséquent, la phase intermédiaire peut durer plus longtemps hors site que sur site.

(82) En cas d'accident nucléaire majeur, les expositions les plus élevées se produisent généralement pendant la phase d'urgence, lorsque la source est hors de contrôle. La Commission recommande que la première des priorités soit d'éviter des

cas graves de lésions directes aux tissus et/ou organes chez les personnes tant sur site que hors site. Les principales actions de protection à considérer au cours de la phase d'urgence sont l'évacuation, la mise à l'abri, la saturation de la thyroïde par la prise d'iode stable, les restrictions concernant l'approvisionnement local en nourriture et la distribution d'eau, et la protection des animaux de compagnie et du cheptel. Comme ces actions doivent être déployées dans les plus brefs délais, il est nécessaire de les anticiper, en particulier pour ce qui concerne les modalités pratiques et leur étendue géographique (Callen et Homma, 2017).

(83) Les actions de protection prises avant tout rejet important devraient être conçues de manière à éviter toute apparition de lésions radiologiques directes graves et aussi généralement à prévenir ou à réduire significativement les expositions aux rayonnements (IAEA, 2015b). Il est également important, lors de la définition de ces actions, de prendre en compte les impacts non radiologiques potentiels afin de les adapter le cas échéant. Étant donné que la situation réelle peut être très différente du scénario prévu et qu'elle peut évoluer rapidement, il peut être nécessaire d'adapter les actions de protection en cours d'intervention.

(84) À mesure que des informations supplémentaires sur la situation radiologique sont disponibles lors de la phase intermédiaire, il peut être nécessaire de modifier la répartition géographique ou temporelle des actions de protection d'urgence et d'en introduire de nouvelles comme le relogement temporaire, la gestion des denrées alimentaires, la décontamination de l'environnement et la gestion des activités commerciales. Au cours de cette phase, d'autres actions devraient être déployées pour mieux caractériser la situation d'exposition afin d'identifier où, quand, et comment les populations sont exposées ou pourraient l'être dans le futur.

(85) Au cours des phases d'urgence et intermédiaire, il convient d'informer les personnes affectées de la situation et de son évolution par le biais de tous les canaux disponibles : radio, télévision, messages textuels, courriels et médias sociaux. Ces informations devraient être diffusées rapidement, en continu et constamment actualisées. L'expérience tirée des accidents nucléaires passés a montré que la diffusion d'informations fiables ne suffit pas. C'est pourquoi la Commission recommande d'encourager la coopération entre les autorités, les experts et les parties prenantes locales dans le cadre du processus de co-expertise pour pouvoir répondre aux préoccupations des personnes affectées et de les aider à prendre des décisions en connaissance de cause.

3.2. Caractérisation radiologique

3.2.1. Voies d'exposition

(86) En cas d'accident nucléaire majeur, les expositions externes et/ou internes proviennent de différentes voies d'exposition. L'exposition externe résulte des matières radioactives présentes en suspension dans l'air du panache émanant de l'installation endommagée et des matières radioactives déposées par ce panache sur le sol, les bâtiments, les vêtements et la peau. L'exposition interne résulte de l'inhalation de matières radioactives présentes dans le panache ou remises en suspension depuis les surfaces contaminées, de l'ingestion de denrées alimentaire et d'eau contaminées, et de l'ingestion par inadvertance de radionucléides déposés sur les sols ou sur les objets.

(87) Dans le cas d'un rejet atmosphérique accidentel, il est probable que les expositions initiales soient relativement élevées en raison de l'inhalation de radionucléides de courte durée de vie présents dans le panache. Il s'ensuit généralement une période de plusieurs jours ou de plusieurs semaines durant laquelle l'exposition interne par l'iode radioactif domine soit directement par la contamination des cultures, soit via son transfert dans le lait, tandis que les expositions externes résultent de la contamination déposée dans l'environnement. Pendant la phase intermédiaire, il est vraisemblable que l'exposition externe devienne prédominante, tout comme la contamination à long terme des denrées alimentaires par le césium radioactif.

(88) Le schéma de dépôt dépend de l'ampleur de l'événement et des conditions météorologiques qui prévalent au moment du rejet, en particulier la direction du vent et les épisodes de pluie ou de neige qui se produisent au moment du passage du panache. En cas de rejet prolongé, il est probable que la direction du vent puisse varier dans le temps. À plus long terme, les précipitations et les intempéries entraînent une redistribution des radionucléides dans le sol et leur migration ultérieure. L'absorption des radionucléides présents dans le sol par les plantes varie en fonction des caractéristiques physiques et chimiques du sol (par exemple, son humidité et sa fertilité), et diminue généralement avec le temps. Les niveaux de dépôt peuvent également varier considérablement d'un territoire à un autre. Par exemple, après l'accident de Tchernobyl, la contamination du sol a pu varier d'un facteur jusqu'à 10 à 100 dans un même village. Généralement, à plus long terme, un seul ou quelques radionucléides concourent à l'essentiel des expositions humaines et des biotes non humains.

(89) L'absorption de radionucléides par l'homme est principalement due à la consommation de légumes, de viande et de lait issus d'exploitations agricoles contaminées, de poissons de rivières, de lacs et de mers contaminés, et de baies et de champignons provenant de forêts contaminées. Le transfert aux animaux et aux produits dérivés dépend de la contamination des aliments pour animaux et des fourrages, ainsi que des techniques de production. L'absorption par la population peut varier considérablement dans le temps en fonction des habitudes alimentaires tandis que les concentrations de radionucléides dans la nourriture dépendent des types de sol et de culture. Par rapport aux terres agricoles, certains territoires peuvent présenter des niveaux de transfert des radionucléides plus élevés vers des aliments en particulier (par exemple les baies et les champignons des forêts, et le cheptel paissant dans les pâturages d'altitude). La consommation de ces aliments peut concourir à augmenter les doses dues à l'ingestion chez certains individus.

(90) L'expérience tirée des accidents passés montre qu'une exposition aux rayonnements est possible à travers les voies aquatiques due au dépôt de matières radioactives, aux rejets de telles matières sous forme liquide et à leurs ruissellements dans la mer ou les eaux de surface. Pour ce qui concerne les rejets directs ou indirects de matières radioactives dans la mer, les personnes peuvent être exposées par voie externe aux radionucléides présents dans l'eau ou dans les sédiments marins. En termes de dose, ces voies d'exposition ne sont pas supposées contribuer de manière significative à l'exposition globale. À l'inverse, le transfert de matières radioactives dans les fruits de mer pourrait constituer une des sources principales d'exposition interne pour certaines personnes du public.

(91) Les animaux et les plantes peuvent subir des expositions à la fois externe et interne. Comme pour les personnes, l'exposition externe résulte des matières radioac-

tives présentes en suspension dans l'air du panache et dans les rejets aquatiques émanant de l'installation endommagée, ainsi que des matières radioactives déposées par ce panache sur le sol et le biote. L'exposition interne résulte de l'inhalation de matières radioactives présentes dans le panache ou remises en suspension depuis des surfaces contaminées, de l'ingestion d'eau, de plantes et d'animaux contaminés, et de l'ingestion par inadvertance de radionucléides présents sur le sol.

(92) Les niveaux de contamination par les radionucléides et leur composition devraient évoluer dans le temps et selon les endroits, aboutissant à une gamme d'exposition pour le biote non humain. Il peut également s'avérer important de bien comprendre comment certains animaux en particulier passent leur temps dans les territoires contaminés, ainsi que l'effectif de la population concernée.

3.2.2. Surveillance de l'environnement et des personnes

3.2.2.1. Surveillance de l'environnement

(93) La surveillance de l'environnement est essentielle pour fournir une image précise de la situation radiologique tant sur site que hors site. Des prédictions en matière d'exposition peuvent être établies à partir d'informations météorologiques, de données de surveillance de l'environnement et de la modélisation. Un nombre suffisant de stations météorologiques devrait être disponible pour caractériser les conditions météorologiques dans les territoires qui s'avèreraient préoccupants sur le plan radiologique (depuis l'environnement immédiat de l'installation jusqu'aux territoires environnants où des dépôts peuvent impacter des zones habitées ou des terres agricoles). Des appareils de surveillance radiologique fixes et mobiles peuvent être utilisés par des opérateurs qualifiés pour évaluer les expositions avec plus de précision. La surveillance aérienne fournit également des informations intéressantes sur le degré et l'étendue de la contamination environnementale lorsque de vastes territoires sont affectés (Saito *et al.*, 2019).

(94) En plus de la surveillance environnementale des débits de dose ambiants, il convient de mesurer les concentrations de radionucléides dans l'air. Ce type d'information permet d'estimer l'exposition interne due à l'inhalation de la radioactivité. La question des expositions interne et externe dues au dépôt de matières radioactives dans l'environnement exige la mise en œuvre de plans de mesure des concentrations des radionucléides à la surface du sol et dans l'eau potable utiles à la prise de décisions quant à l'établissement d'éventuelles restrictions de consommation d'aliments et d'eau ou d'actions de protection élargies (par exemple, un relogement temporaire). La surveillance des sols, des aliments et de l'eau devrait se poursuivre au-delà de la phase intermédiaire et durant la phase de long terme.

(95) Une surveillance détaillée de l'environnement est essentielle pour comprendre la situation radiologique de vastes territoires contaminés et pour mettre fin aux actions de protection initiales déployées au cours de la phase d'urgence. À mesure que les rejets radioactifs cessent et qu'il devient possible d'exercer une surveillance plus précise dans les territoires affectés, de plus en plus de données de mesures environnementales sont disponibles. En plus des mesures officielles réalisées par les instances responsables de la gestion des phases d'urgence et

intermédiaire, les parties prenantes affectées peuvent vouloir cartographier leur propre situation radiologique à l'aide de détecteurs de rayonnement qu'elles auront achetés ou qui auront été mis à leur disposition par des institutions locales (par exemple, des universités, des laboratoires locaux, etc.). Si la collecte de ces données peut commencer dès la phase intermédiaire, il est probable qu'elle augmentera durant la phase de long terme. Il convient de prévoir des ressources pour soutenir ces collectes de données notamment en aidant les personnes affectées à en comprendre le sens pour leur propre situation radiologique d'une part et à prendre des décisions pour leur propre protection d'autre part.

3.2.2.2. *Surveillance des personnes et surveillance sanitaire*

(96) Pendant la phase d'urgence, le tri des personnes est essentiel pour identifier celles qui ont besoin de soins en raison de leur niveau d'exposition (décontamination, traitement médical) et celles qui ont besoin d'une surveillance sanitaire. Ces décisions reposent sur des informations de surveillance limitées et se concentrent sur l'identification de celles qui ont un besoin urgent de traitement. Dans les premières heures, il se peut qu'un dépistage initial utilisant, par exemple, des appareils de surveillance manuels ou portables soit le seul envisageable. Par la suite, des mesures plus précises pourront être effectuées à l'aide de moyens mobiles de surveillance tels que des appareils de mesure de la radioactivité du corps entier ou de la thyroïde. Dans les jours qui suivent, des mesures *in vitro* d'échantillons biologiques (par exemple des radionucléides dans les urines ou des mesures cytogénétiques du sang) ou une dosimétrie rétrospective à partir d'éléments physiques (par exemple d'écrans de téléphones portables, de sel de cuisine) peuvent être réalisées pour estimer les expositions.

(97) En cas de rejets d'iode radioactif, la surveillance de la dose à la thyroïde durant la phase d'urgence est importante pour les enfants et les femmes enceintes. La surveillance de l'environnement ne peut pas fournir une estimation précise des expositions individuelles de la thyroïde. C'est pourquoi des efforts spécifiques devraient être réalisés pour surveiller d'urgence la teneur en iode radioactif de la thyroïde des enfants (jusqu'à l'âge de 15 ans environ au moment de l'exposition) et des femmes enceintes afin de fournir des estimations réalistes des doses à la thyroïde. Les mesures à la thyroïde peuvent être effectuées par du personnel formé et bien équipé dans les centres d'évacuation et dans les centres post-accidentels installés pour la surveillance sanitaire. Étant donné la courte demi-vie de l'iode radioactif, il est important d'effectuer ces mesures dans les quelques semaines qui suivent l'exposition, idéalement le plus tôt possible après l'exposition. La Commission recommande d'exprimer l'exposition à la thyroïde en termes de dose à l'organe. Les informations sur les doses à la thyroïde devraient être communiquées aux personnes concernées avec une explication claire de ce que signifient ces doses pour leur santé.

(98) Au cours de la phase intermédiaire, un appareil de mesure de la radioactivité du corps entier peut être utilisé pour mesurer la contamination qui a été inhalée ou ingérée par les personnes affectées sur site et hors site. Cela permet d'évaluer l'exposition interne et d'aider à identifier les voies d'exposition, principalement les denrées alimentaires, qui méritent une attention particulière. Les mesures de la contamination interne chez les enfants, y compris les nourrissons, fournissent des informations utiles aux mères pour comprendre la situation de leurs enfants et des options pour adapter leur alimentation (Hayano *et al.*, 2014). Avec le temps, les voies d'exposition peuvent évoluer, ce qui doit être pris en compte pour identifier les personnes prioritaires pour la mesure de la radioactivité du corps entier.

(99) Les résultats des mesures devraient être centralisés et mis à la disposition, au plus vite, de toutes les instances concernées chargées de la gestion des phases d'urgence et intermédiaire, pour les aider à prendre des décisions en matière de protection. Dans un souci de responsabilité et de transparence, la Commission recommande de partager ces informations avec les personnes du public, accompagnées d'explications claires, tout en respectant la protection des informations à caractère personnel.

(100) Les programmes de surveillance médicale centrés sur les personnes affectées par les rayonnements durant la phase d'urgence devraient prendre en compte deux groupes cibles : les personnes qui développent des symptômes cliniques et celles dont on sait qu'elles ont été exposées mais qui ne présentent aucun symptôme. Le suivi du premier groupe vise à établir un diagnostic et à traiter les éventuelles complications à long terme. Le suivi du second groupe vise à détecter les effets indésirables ou les maladies potentiellement liées à une exposition aux rayonnements.

3.3. Protection des intervenants durant les phases d'urgence et intermédiaire

(101) Les personnes qui peuvent être impliquées dans l'intervention en cas d'accident ont des statuts divers : équipes de secours (par exemple pompiers, policiers, personnel médical), travailleurs (exposés professionnellement ou non), professionnels et autorités, personnel militaire et citoyens volontaires. Les organisations nationales et internationales utilisent différents termes pour désigner ces personnes. Dans la présente publication, la Commission considère que le terme « intervenant » est approprié pour les désigner dans leur ensemble. Dans la mesure où la situation radiologique causée par l'accident est très éloignée des conditions normales de fonctionnement d'une installation, la protection des intervenants doit être gérée de manière spécifique pour tenir compte du fait que la source d'exposition n'est plus sous contrôle et que les conditions de travail sont inhabituelles. Compte tenu de la grande diversité des expositions au cours des phases d'urgence et intermédiaire, une approche graduée est indispensable. Par ailleurs, la situation résultant d'un accident échappant à toute prédiction, cette approche devrait être suffisamment flexible, tout en restant prudente, pour être efficace. Afin d'organiser la protection des intervenants au cours de ces deux phases, la Commission recommande de distinguer les actions sur site (installation endommagée) et hors site (territoires affectés) d'une part, et de différencier les deux phases d'autre part.

3.3.1. Protection des intervenants durant la phase d'urgence sur site

(102) Les premiers intervenants engagés sur le site sont les travailleurs de l'installation endommagée, en attendant l'arrivée des équipes de secours. Leur rôle est de mettre en œuvre les premières actions pour contrer l'accident, stabiliser l'installation et atténuer les conséquences hors site. En mettant en œuvre ces premières actions, certains d'entre eux peuvent recevoir des expositions élevées. Bien qu'ils restent sous la responsabilité de l'exploitant, la situation radiologique est telle qu'ils ne peuvent plus être gérés conformément aux modalités de gestion de la situation d'exposition

planifiée qui prévalait avant l'accident. Les travailleurs qui ne participent pas à l'intervention devraient être protégés de manière semblable à celle de la population située hors site et qui se trouve dans la même situation, notamment en termes d'évacuation ou de mise à l'abri ou encore d'administration d'iode stable pour saturer la thyroïde, le cas échéant. En revanche, ceux impliqués dans la phase d'urgence devraient être gérés comme des intervenants auxquels s'appliquent les principes de justification des décisions et d'optimisation de la protection. En fonction de la situation, d'autres intervenants extérieurs sont susceptibles de venir en renfort des travailleurs de l'installation. Il peut s'agir d'équipes spécialisées travaillant généralement sous la responsabilité de leurs propres organisations, ou de travailleurs venant d'autres installations, et qui agissent généralement sous la responsabilité de la direction de l'installation endommagée. Dans certaines circonstances, du personnel militaire peut également être mobilisé avec un statut spécial, qui relève de l'organisation militaire.

(103) La justification des décisions qui peuvent affecter l'exposition des intervenants devrait tenir compte de l'état de l'installation endommagée et de son éventuelle évolution, ainsi que des bénéfices attendus en termes d'évitement ou de réduction des expositions de la population hors site et de la contamination de l'environnement. Avant toute chose, ces décisions devraient viser à faire plus de bien que de mal. En d'autres termes, elles devraient garantir que le bénéfice pour les individus concernés et la société dans son ensemble est suffisant pour compenser le préjudice qui pourrait être causé aux intervenants. Compte tenu des incertitudes qui caractérisent l'état de l'installation et l'environnement hors site, il est difficile d'évaluer ces bénéfices et la justification des décisions repose inévitablement sur des jugements de valeur émis par la direction de l'installation.

(104) Comme la situation radiologique de l'installation au cours de la phase d'urgence peut être largement inconnue et instable, la mise en œuvre de l'optimisation de la protection des intervenants est compliquée. De nombreuses tâches sont entreprises sans pouvoir estimer *a priori* les conséquences potentielles pour les intervenants impliqués. De plus, si la source à l'origine de l'exposition s'avère très largement ou totalement hors de contrôle, il devient difficile de prédire, avec suffisamment de précision, les conséquences de l'exposition ou que les tâches effectuées respecteront les critères radiologiques préétablis. Dans ces circonstances, le principe de l'application de limites de dose n'est pas approprié pour le contrôle des expositions des intervenants. La Commission recommande plutôt d'appliquer le principe d'optimisation de la protection en utilisant les niveaux de référence pour gérer les doses individuelles. Ces niveaux de référence devraient être choisis en tenant compte de l'évolution des caractéristiques de la situation et du type d'intervenants.

(105) Comme mentionné aux paragraphes 18 et 22, le risque de développer un cancer augmente avec la dose et la probabilité d'apparition d'effets déterministes à des expositions supérieures à 100 mSv est élevée (ICRP, 2007). Pour cette raison, la Commission considère qu'une exposition supérieure à 100 mSv reçue de manière aiguë ou en un an ne pourrait se justifier que dans des circonstances extrêmes. Par conséquent, pendant la phase d'urgence, la Commission recommande un niveau de référence de 100 mSv ou en dessous pour maîtriser les expositions des intervenants. Des expositions à quelques centaines de millisieverts ne pourraient être justifiées que dans des circonstances exceptionnelles soit pour sauver des vies, soit pour prévenir une dégradation plus importante de l'installation pouvant conduire à des conditions catastrophiques. En outre, des incorporations importantes d'iode radioactif peuvent se produire. Cette situation devrait être considérée séparément et des actions spécifiques de protection être mises en œuvre le cas échéant (voir la [section 3.4.1.3](#)).

(106) L'exposition des intervenants au cours de la phase d'urgence devrait être évaluée et enregistrée. Des équipements de protection individuelle devraient être utilisés si nécessaire. Des soins médicaux et une surveillance médicale ultérieure devraient être assurés en tant que de besoin, en particulier en cas d'expositions susceptibles d'induire des effets déterministes. Les femmes enceintes et les jeunes de moins de 18 ans ne devraient pas faire partie des équipes d'intervention opérant sur site pendant la phase d'urgence.

(107) La Commission recommande que les décisions relatives à la protection des intervenants reposent sur l'ensemble des caractéristiques de la situation d'exposition incluant les autres dangers éventuels. Elle recommande également de former et de préparer un certain nombre de travailleurs des installations nucléaires, en amont de toute éventualité d'accident, et de les intégrer à une équipe de secours dédiée sous la responsabilité de l'exploitant, soit sur chaque site, soit au niveau national (Ohsuga, 2012). Les membres de cette équipe devraient être pleinement conscients des risques radiologiques encourus en cas d'accident et devraient exprimer formellement leur consentement éclairé.

3.3.2. Protection des intervenants durant la phase d'urgence hors site

(108) Plusieurs catégories d'intervenants peuvent être mobilisées en dehors du site pendant la phase d'urgence, notamment des pompiers, des policiers, des équipes de secours et médicales ainsi que du personnel militaire. Dans certains pays, des équipes spécialisées ont été créées pour intervenir hors site en cas d'accidents nucléaires. Des travailleurs ayant des compétences spécifiques, tels que des chauffeurs de bus en cas d'évacuation, des élus et des volontaires peuvent également être impliqués. Tous ces intervenants sont sous la responsabilité directe ou indirecte de l'entité responsable de l'intervention. Leur rôle est de soutenir la mise en œuvre d'actions urgentes de protection de la population et de l'environnement. Les expositions qu'ils sont susceptibles de recevoir peuvent être élevées, mais *a priori* moindres que sur site.

(109) Ces intervenants devraient être identifiés, soit à l'avance (équipes de secours), soit juste avant leur intervention (citoyens, travailleurs comme par exemple, chauffeurs de bus). Les membres des équipes de secours devraient être préparés et formés pour travailler en présence de rayonnements. Pour les intervenants non identifiés à l'avance et non formés, la Commission recommande de leur fournir des informations sur les tâches à accomplir en présence de rayonnements et sur les risques associés, et de les protéger en conséquence (par exemple avec un équipement de protection). Ces intervenants devraient exercer leurs activités en connaissance de cause et sous réserve de leur consentement éclairé.

(110) Certaines personnes travaillant dans des installations nucléaires ou non nucléaires situées à proximité de l'installation endommagée peuvent être amenées à rester sur leur lieu de travail, quelles que soient les circonstances, pour garantir le fonctionnement d'activités ou de réseaux essentiels. Ces travailleurs peuvent être traités comme des intervenants. En particulier, ils devraient être identifiés, à l'avance dans la mesure du possible, informés de ce qu'il convient de faire dans l'éventualité d'un accident nucléaire et formés pour effectuer leur travail avec une protection appropriée.

(111) Pour la protection des intervenants hors site au cours de la phase d'urgence, la Commission recommande d'utiliser un niveau de référence de 100 mSv ou en dessous pour maîtriser les expositions en fonction des circonstances. Comme pour la protection sur site, l'exposition des intervenants hors site au-dessus du niveau de référence ne saurait être justifiée que dans des circonstances exceptionnelles, par exemple pour sauver des vies humaines ou pour prévenir des conséquences radiologiques graves pour certains groupes de la population ou d'animaux. Les doses des intervenants hors site devraient être évaluées et enregistrées au niveau individuel autant que possible. Des soins médicaux et une surveillance médicale ultérieure devraient être organisés en tant que de besoin en cas d'expositions susceptibles d'induire des effets déterministes. Les femmes enceintes et les jeunes de moins de 18 ans ne devraient pas faire partie des équipes d'intervention opérant hors site pendant la phase d'urgence.

3.3.3. Protection des intervenants durant la phase intermédiaire, opérant sur site

(112) La phase intermédiaire sur site débute lorsque la source est déclarée stabilisée (c'est-à-dire qu'il n'y a plus ou presque plus de rejets et que le risque de nouvelle détérioration de la source est limité). Elle s'achève lorsque la source est déclarée sécurisée et que la situation radiologique est suffisamment bien caractérisée pour permettre le démarrage des travaux de démantèlement de l'installation endommagée dans des conditions de travail maîtrisées. Au cours de cette phase, les travailleurs de la centrale et les sous-traitants peuvent être impliqués dans la caractérisation de la situation et la reprise du contrôle de la source. Tous les travailleurs sont généralement sous la responsabilité de l'exploitant de l'installation endommagée, tout en préservant la responsabilité de chaque employeur, le cas échéant. Le site étant endommagé, contaminé et fragilisé, les conditions de travail peuvent s'avérer inédites et difficiles. Toute action inappropriée ou circonstance imprévue peut entraîner une nouvelle situation d'urgence. Toutefois, l'organisation du travail et la gestion des expositions devraient être progressivement améliorées. Dans ces circonstances, les travailleurs sont toujours considérés comme des intervenants, même si la gestion de leurs expositions n'est plus soumise aux mêmes contraintes radiologiques que dans la phase d'urgence.

(113) La Commission recommande que tout nouvel intervenant entrant sur site soit identifié, formé, convenablement équipé pour la tâche qui lui est assignée et qu'il ait exprimé formellement son consentement éclairé. Beaucoup de ces intervenants sont recrutés pour des tâches habituellement exercées en l'absence de rayonnements, tel que le génie civil par exemple, et leur présence dans l'installation endommagée peut ne constituer qu'une courte période de leur vie professionnelle. Leur formation devrait être adaptée aux circonstances particulières et une session spéciale pourrait être organisée par l'exploitant pour pallier leur manque de connaissances et de culture en matière de radioprotection. Ces intervenants étant amenés à travailler dans des conditions de travail difficiles et stressantes, il convient de veiller à leur assurer des conditions de travail et de logement adaptées. La dose individuelle des intervenants devrait être surveillée et enregistrée, et chacun d'eux devrait être informé sur l'exposition reçue.

(114) Pendant la phase intermédiaire, la Commission recommande d'utiliser un niveau de référence de 100 mSv ou en dessous et considère que l'application de

limites de dose n'est pas appropriée. Le niveau de référence peut être réduit pendant la phase intermédiaire en fonction de la reprise progressive du contrôle de la source et de la situation d'exposition dans l'installation. Des soins médicaux et une surveillance sanitaire ultérieure devraient être assurés en tant que de besoin. Les femmes enceintes et les jeunes de moins de 18 ans ne devraient pas faire partie des équipes d'intervention opérant sur site pendant la phase intermédiaire.

3.3.4. Protection des intervenants durant la phase intermédiaire, opérant hors site

(115) La phase intermédiaire hors site débute lorsque la source du rejet a été stabilisée et se termine lorsque la situation d'exposition de la population et des territoires affectés est suffisamment bien caractérisée pour permettre aux autorités de décider du devenir de ces territoires. Les intervenants ont pour tâche principale la caractérisation de la situation radiologique, l'installation d'infrastructures permettant le contrôle radiologique des denrées alimentaires, la surveillance sanitaire de la population, et la décontamination des bâtiments et de l'environnement. Les personnes impliquées dans ces tâches sont une population mixte de travailleurs (considérés ou non comme « travailleurs exposés ») et de volontaires. La situation reste une situation d'exposition d'urgence mais les expositions de ces intervenants peuvent être relativement bien maîtrisées.

(116) La Commission recommande d'organiser la protection des intervenants hors site autant que possible comme pendant les activités de routine. Les intervenants impliqués devraient être enregistrés et informés des tâches nécessaires en présence de rayonnements et des risques associés (droit de savoir). Leur dose devrait être évaluée et les informations communiquées aux intervenants, et conservées, dans la mesure du possible, au niveau individuel. La Commission recommande d'utiliser un niveau de référence de 20 mSv par an ou en dessous, pour maîtriser les expositions individuelles en fonction des circonstances. Un niveau de référence inférieur est recommandé pour les intervenants opérant hors site pendant la phase intermédiaire par rapport à celui recommandé pour les intervenants opérant sur site car un niveau d'exposition supérieur ne devrait pas être nécessaire pour l'exercice de leurs activités. Le niveau de référence peut être réduit pendant cette phase si les conditions radiologiques évoluent favorablement.

3.3.5. Gestion des expositions des intervenants durant les phases d'urgence et intermédiaire

(117) Certains intervenants peuvent être impliqués à la fois dans les phases d'urgence et intermédiaire. Pour ces intervenants, la gestion des expositions devrait être guidée par l'objectif de maintenir l'exposition totale durant ces phases en dessous de 100 mSv. Toutefois, compte tenu de l'éventualité d'une intervention dans des conditions difficiles et imprévisibles sur site ou même hors site, en particulier pendant la phase d'urgence, il est important de garder à l'esprit que seul un nombre limité d'intervenants peut recevoir des expositions supérieures à 100 mSv au total, ou même, exceptionnellement, des doses de l'ordre de quelques centaines de millisieverts. La Commission recommande que les expositions reçues pendant la phase d'urgence ne restreignent pas nécessairement la participation de ces intervenants à la phase

intermédiaire. Elle recommande également que soit garantie une surveillance médicale appropriée et durable aux intervenants pour lesquels l'exposition cumulée est supérieure à 100 mSv.

(118) Lorsqu'un travailleur exposé professionnellement est impliqué en tant qu'intervenant, l'exposition reçue pendant l'intervention devrait être comptabilisée et enregistrée séparément de celle reçue au cours des situations d'exposition planifiées et ne devrait pas être prise en compte pour le respect des limites de dose professionnelles. Les dispositions relatives à l'enregistrement des doses des intervenants, reposant sur un accord entre les autorités responsables, les opérateurs, les employeurs et les travailleurs, devraient être établies à l'avance dans le processus de préparation aux accidents d'installation nucléaire.

(119) La Commission recommande de ne pas interdire aux travailleurs exposés professionnellement de reprendre leur emploi et leurs activités habituels s'ils le souhaitent lorsque la phase intermédiaire est terminée. La décision devrait revenir à l'autorité responsable de l'installation au cas par cas, après un examen détaillé de l'historique des expositions reçues avant et pendant l'intervention et après un examen médical approfondi.

3.4. Protection du public et de l'environnement durant les phases d'urgence et intermédiaire

(120) La protection des personnes durant les phases d'urgence et intermédiaire repose sur la mise en œuvre d'un ensemble d'actions de protection qui devraient être justifiées et optimisées en utilisant des niveaux de référence. L'objectif est de maintenir et/ou de réduire toutes les expositions à un niveau aussi bas que raisonnablement possible, compte tenu des facteurs sociétaux, environnementaux et économiques qui façonnent la vie des individus et des communautés résidant et travaillant dans les territoires affectés. Les actions de protection devraient être mises en œuvre avec des critères reposant sur des niveaux de référence afin de limiter l'iniquité dans la distribution des expositions individuelles, dans le but particulier de protéger les groupes vulnérables ou des communautés spécifiques telles que les populations autochtones.

(121) Dans sa *Publication 109* (ICRP, 2009a), la Commission recommande de fixer un niveau de référence situé, pour les situations d'exposition d'urgence, typiquement dans l'intervalle de 20 à 100 mSv et de l'adapter au scénario d'accident potentiel ou réel. Dans ces recommandations, il n'a pas été considéré que la situation d'exposition d'urgence perdure au-delà d'un an.

(122) Dans les recommandations actuelles, la Commission précise qu'au cours des phases d'urgence et intermédiaire, toutes les actions de protection raisonnables devraient être prises pour garantir que les personnes les plus exposées ne reçoivent pas plus de 100 mSv pendant toute la durée de ces deux phases. Ces actions visent à réduire les expositions aiguës et à prévenir les effets déterministes. La Commission admet que la durée de ces phases peut être inférieure ou supérieure à un an selon les circonstances. La Commission admet également que, si possible, le niveau de

référence le plus approprié pendant les phases d'urgence et intermédiaire puisse être inférieur à 20 mSv (voir le [tableau 6.1](#)). Il convient de noter qu'en cas d'une éventuelle incorporation importante d'iode radioactif, des actions de protection spécifiques devraient être mises en œuvre.

(123) Au cours de la phase d'urgence, lorsque la situation radiologique hors site est encore largement inconnue et qu'elle évolue rapidement, le niveau de référence fixé lors de la planification du scénario correspondant en phase préparatoire devrait orienter la mise en œuvre des actions de protection. Ce niveau de référence peut être utilisé pour établir des critères opérationnels qui serviront de déclencheurs pour la mise en œuvre d'actions de protection particulières (IAEA, 2011, 2015b). Toutefois, la situation peut ne pas évoluer comme prévu et, malgré les actions de protection déployées, certaines expositions peuvent être du même ordre de grandeur que le niveau de référence, voire supérieures. À l'inverse, toutes les expositions peuvent être inférieures au niveau de référence, en particulier si l'accident est moins grave que le scénario prévu en amont. Il est donc important de caractériser les expositions le plus tôt possible, à l'aide de modélisations et en procédant à des premières mesures dans l'environnement. Cela permet aux autorités d'ajuster si besoin le périmètre des actions de protection et/ou la valeur du niveau de référence pour optimiser la protection.

(124) Pendant la phase intermédiaire, une fois la situation radiologique mieux caractérisée, il peut être nécessaire de réévaluer le niveau de référence et de le réduire. Par exemple, pendant la phase intermédiaire de l'accident de Tchernobyl, les autorités soviétiques ont progressivement réduit le niveau de référence (Kryuchkov *et al.*, 2011).

(125) Pour la protection de l'environnement, la Commission admet que pendant la phase d'urgence, et éventuellement pendant la phase intermédiaire, il peut s'avérer difficile, voire impossible, de réduire significativement les concentrations ou les quantités de matières radioactives déposées dans l'environnement impacté. Dans la phase d'urgence, le niveau d'exposition de certains animaux et plantes peut être supérieur aux DCRL. Le cadre recommandé par la CIPR, visant à évaluer l'impact potentiel sur la faune et la flore, peut être utilisé pour identifier les espèces qui pourraient être particulièrement affectées et pour envisager de prendre des actions complémentaires.

3.4.1. Actions de protection relatives à la phase d'urgence

3.4.1.1. Mise à l'abri

(126) Certains groupes de la population peuvent faire l'objet d'actions de protection urgentes pour réduire leur exposition si un panache radioactif en suspension dans l'air venait à passer au-dessus de leurs habitations. S'ils ne sont pas évacués, il devrait leur être recommandé de se mettre à l'abri en restant à l'intérieur, en calfeutrant portes et fenêtres, en fermant si possible les systèmes de ventilation et en attendant des instructions complémentaires.

(127) Des bâtiments solidement construits peuvent réduire significativement l'exposition due à un panache aérien et atténuer le rayonnement des matières radioactives déposées sur le sol. Toutefois, la mise à l'abri des résidents peut ne

pas suffire pour prévenir de potentiels effets sanitaires graves. Elle devrait être accompagnée, dans la mesure du possible, par la saturation en iode de la thyroïde.

(128) Dans certains établissements où l'évacuation rapide des personnes dans des conditions sûres est difficile à mettre en œuvre (par exemple, les établissements de santé accueillant des personnes âgées ou des patients dans un état critique), la mise à l'abri pourrait être préférable pendant la phase d'urgence. Le personnel employé à l'encadrement de ces personnes, qui resterait sur place, a besoin d'être formé et équipé pour ce type de situation au même titre que les intervenants dans le cadre de la préparation aux situations d'urgence. Ces personnels volontaires, qui auront à exprimer leur consentement éclairé en fin de formation, devraient être informés, si possible en temps réel, de l'évolution de la situation radiologique et être équipés afin de pouvoir réaliser des mesures et si besoin déployer des actions de protection appropriées.

(129) Une mise à l'abri stricte pour des périodes au-delà de quelques jours peut être difficile à maintenir sans être préjudiciable au bien-être des personnes. L'impossibilité de recevoir des soins médicaux ou de se procurer des traitements médicaux, la nécessité pour les agriculteurs de s'occuper de leur cheptel, ou simplement le désir légitime des familles de se rassembler peuvent créer des situations délicates et générer du stress. Après quelques jours de mise à l'abri stricte, l'évacuation des personnes devrait être envisagée si un risque d'exposition significatif devait persister. L'évacuation pourrait également intervenir alors que les rejets radioactifs se poursuivent. Il conviendrait dans ce cas d'éviter autant que possible les expositions externes et internes des personnes évacuées. Cette opération délicate nécessiterait la mise en œuvre d'actions de protection supplémentaires qu'il conviendrait d'anticiper lors de la phase de préparation.

(130) En raison des délais contraints, la levée de la mise à l'abri peut être décidée sans véritable concertation avec les parties prenantes alors qu'un mécanisme de communication avec les personnes mises à l'abri est essentiel. Cette levée signifie que soit les personnes sont autorisées à rester chez elles et à reprendre leurs activités quotidiennes avec ou sans restrictions, soit elles n'y sont pas autorisées et devraient alors être évacuées ou relogées. Toutefois, avant de prononcer la levée d'une mise à l'abri, il convient de rassembler suffisamment d'informations relatives à la surveillance radiologique pour déterminer si les expositions aux irradiations externes et celles dues à l'inhalation de matières remises en suspension après leur dépôt au sol pourraient être préoccupantes une fois la mise à l'abri levée. La mobilisation et le déploiement des équipes chargées de réaliser des prélèvements et des mesures de la radioactivité dans l'environnement prennent du temps et il est essentiel d'établir des priorités en considérant chaque situation individuellement. S'il n'est pas certain que la situation radiologique permette la levée de la mise à l'abri dans un délai raisonnable, il convient de bien planifier l'évacuation de tous les groupes de personnes pour lesquels une mise à l'abri prolongée pourrait représenter un risque inacceptable ou mal défini.

3.4.1.2. Évacuation et relogement temporaire

(131) L'évacuation consiste en un retrait rapide et temporaire de personnes d'une zone hors site pour éviter ou réduire les expositions aux rayonnements à court terme qui pourraient être suffisamment élevées pour entraîner potentiellement des lésions graves sur les tissus/organes (effets sanitaires déterministes) et augmenter le risque à long terme de cancer et de maladies héréditaires (effets sanitaires stochastiques). Elle est d'autant plus efficace, pour éviter une exposition aux rayonnements, qu'elle

est anticipée à titre de précaution avant tout rejet significatif de matières radioactives. L'évacuation peut toutefois être mise en œuvre après les rejets, ou même pendant les rejets selon les circonstances.

(132) L'évacuation est une action de protection à court terme et sa poursuite peut être nécessaire et justifiée dans certains cas comme, par exemple, s'il n'est pas possible de maîtriser la source du rejet, s'il existe un risque significatif de nouvel accident ou de rejet ultérieur, ou si des niveaux élevés d'exposition aux rayonnements persistent dans l'environnement. Si les conditions radiologiques exigent que les personnes restent éloignées de leur domicile pendant une période supérieure à environ une semaine, l'évacuation initiale peut devoir être suivie par un relogement temporaire, voire permanent.

(133) L'expérience passée a révélé que les évacuations sont efficaces et constituent souvent une réponse aux situations d'urgence impliquant des risques naturels ou artificiels. Cependant, si l'évacuation n'est pas bien planifiée, elle peut être préjudiciable à certaines populations, telles que les patients des hôpitaux et des maisons de retraite, et les personnes âgées (Tanigawa *et al.*, 2012).

(134) L'expérience a également montré qu'une évacuation volontaire peut avoir lieu sans que celle-ci ait été officiellement conseillée. Les autorités devraient tenir compte des avantages et des inconvénients de ce type d'évacuation volontaire lors de la préparation des plans pour la phase d'urgence.

(135) Une fois les personnes évacuées, il convient de décider si elles peuvent rentrer chez elles et à quel moment, dans la mesure où les centres d'hébergement sont généralement équipés pour un accueil de courte durée, comme c'est le cas par exemple dans les bâtiments publics. Ces décisions sont fondées sur la situation radiologique dans le territoire affecté et sur la capacité à offrir des conditions de vie et de travail décentes à la population. La Commission recommande que les autorités chargées de la phase d'urgence, les personnes évacuées et les autorités et professionnels des communautés affectées soient étroitement associés au processus complexe de prise de décision sur la possibilité du retour ou non dans le territoire évacué. Ce processus devrait être conduit de manière transparente en tenant compte de toutes les informations disponibles sur la situation radiologique, y compris la qualité des conditions de vie et de travail dans les territoires où le retour est envisagé.

(136) La caractérisation de la situation radiologique des territoires évacués devrait s'appuyer sur des mesures de la contamination environnementale, ainsi que sur des prévisions concernant l'évolution de la situation radiologique et la capacité à l'améliorer. La rapidité de réalisation des évaluations va dépendre de la composition du rejet, de la complexité du schéma de la contamination et de l'étendue du territoire affecté. Des mesures devraient être réalisées dans différents environnements, en se concentrant tout particulièrement sur les lieux où les personnes passent leur temps et en évaluant les futures expositions auxquelles seraient soumises celles qui vivraient dans les territoires affectés.

3.4.1.3. Saturation de la thyroïde en iode

(137) La saturation de la thyroïde en iode se fait par l'administration d'un composé d'iode stable (généralement de l'iodure de potassium) pour prévenir ou réduire

l'exposition de la thyroïde due à l'inhalation et à l'ingestion d'iode radioactif. La prise d'iode stable ne servant qu'à protéger la thyroïde de l'iode radioactif, elle devrait être accompagnée d'une mise à l'abri ou d'une évacuation. L'efficacité de cette prise d'iode stable pour saturer la thyroïde dépend du moment de son administration. L'efficacité maximale est obtenue avec une prise d'iode stable juste avant ou au moment même de l'exposition à l'iode radioactif. Si l'iode stable est administré trop tôt ou trop tard, la thyroïde a moins de chance d'être protégée efficacement. En cas de rejet prolongé d'iode radioactif, une prise répétée d'iode stable peut être recommandée (Benderitter *et al.*, 2018). Comme l'absorption d'iode radioactif peut augmenter le risque de cancer de la thyroïde, en particulier chez les plus jeunes, l'administration d'iode stable pendant la phase d'urgence est particulièrement importante pour les femmes enceintes et les enfants (WHO, 2017).

(138) En raison du délai contraint, la distribution d'iode stable peut poser un problème pratique, en particulier si cela concerne un grand nombre de personnes. C'est pourquoi les autorités nationales devraient porter une attention particulière sur la manière la plus efficace de mettre l'iode stable à la disposition des populations qui seraient potentiellement affectées, y compris avec une pré-distribution. Aux dosages recommandés par l'Organisation mondiale de la santé, le bénéfice global d'une saturation de la thyroïde par l'iodure de potassium pendant la phase d'urgence l'emporte sur les risques d'effets secondaires dans toutes les tranches d'âge (WHO, 2017).

3.4.1.4. Décontamination des personnes

(139) Décontaminer une personne consiste à lui retirer en totalité ou en partie les matières radioactives sur le corps par un processus physique et chimique délibéré. La décontamination urgente d'une personne peut être conseillée pour réduire les expositions aux rayonnements externes dus à la contamination des vêtements, des cheveux et de la peau, et pour prévenir l'ingestion involontaire d'une telle contamination. Cette action peut être particulièrement utile pour protéger les intervenants. Il est peu probable que procéder à la décontamination de personnes soit nécessaire en dehors du territoire pour lequel une évacuation a été conseillée. L'évacuation d'un groupe de personnes ne devrait pas être retardée du fait d'une action de décontamination individuelle.

3.4.1.5. Restrictions de précaution relatives aux denrées alimentaires

(140) L'ingestion de denrées alimentaires contaminées peut être une voie d'exposition importante peu après l'accident, pour les résidents dans les territoires affectés. Les consommateurs vivant en dehors de ces territoires peuvent également être préoccupés par la mise sur le marché de produits contaminés. Il est donc prudent de mettre en œuvre au plus vite des actions dans les territoires affectés ou potentiellement affectés, dès la phase d'urgence, pour protéger les personnes et l'image des produits. À ce stade, les actions de protection consistent pour l'essentiel à restreindre la consommation des produits issus de l'agriculture et de la pêche, d'eau potable, ainsi qu'à interdire la chasse et la cueillette d'aliments sauvages. La surveillance de toutes les denrées alimentaires en provenance de ces territoires peut s'avérer nécessaire et sa mise en œuvre s'étendre sur quelques jours à quelques semaines. En cas d'interdiction ou de restriction de la consommation de denrées alimentaires, les autorités devraient assurer l'approvisionnement en eau et en nourriture non contaminées des personnes vivant ou travaillant dans ces territoires.

(141) La surveillance de la contamination radioactive du lait, qui constitue une part significative du régime alimentaire des enfants dans la plupart des pays, est particulièrement importante durant la phase d'urgence d'un accident car le lait est une source potentielle d'exposition de la thyroïde à l'iode radioactif. Lorsque de telles restrictions sont nécessaires, il convient de donner pour consigne à la population de ne pas boire de lait de vaches ou de chèvres ayant brouté dans des pâturages contaminés. En outre, la population devrait avoir reçu pour consigne de ne pas consommer de légumes, de fruits ou d'autres aliments frais ayant pu être contaminés par les rejets radioactifs.

3.4.2. Actions de protection relatives à la phase intermédiaire

3.4.2.1. Relogement temporaire

(142) Le relogement temporaire implique le déplacement de personnes, soit déjà évacuées, soit venant directement de leur domicile, vers un logement temporaire pouvant répondre à tous leurs besoins essentiels et où leurs conditions de vie peuvent être correctement prises en charge. Le relogement temporaire peut durer des semaines, des mois voire plusieurs années selon les caractéristiques et l'étendue de la contamination. Il vise à éviter les expositions jugées trop élevées ou lorsque les aliments essentiels et l'eau sont fortement contaminés et ne peuvent être facilement remplacés. Les risques physiques liés au relogement temporaire sont relativement faibles par rapport à ceux liés à une évacuation, car cette action peut être mise en œuvre sans précipitation et en prenant le temps d'interagir avec les personnes concernées. Le relogement temporaire peut toutefois avoir des conséquences psychologiques (Oe *et al.*, 2017 ; Ohto *et al.*, 2017).

(143) La durée maximale pendant laquelle un relogement temporaire peut être toléré dépend d'une série de facteurs socio-économiques. Cela peut se traduire, par exemple, par un mécontentement croissant à l'égard du logement temporaire et des conditions de vie associées ou simplement par la volonté de rétablir des liens sociaux familiaux. À l'inverse, le retour à la maison peut susciter des préoccupations en raison de la persistance d'expositions résiduelles, de la difficulté à trouver un emploi, de la nécessité de réparer ou de reconstruire les maisons abandonnées et du manque d'infrastructures comme les écoles, les hôpitaux et les magasins.

3.4.2.2. Gestion des denrées alimentaires

(144) Dans la phase intermédiaire, la caractérisation radiologique des denrées alimentaires, ainsi que la compréhension de la variation des concentrations de radionucléides selon la saison, les caractéristiques environnementales, etc. permettent d'élaborer une stratégie plus précise et mieux adaptée à la gestion des denrées alimentaires. Celle-ci devrait prendre en compte la qualité radiologique et non radiologique des produits, la restauration de la confiance des consommateurs et la possibilité de maintenir des activités économiques durables. Pour y parvenir, il convient de tenir compte des impacts globaux des actions de protection déployées sur les communautés locales. Lorsque la caractérisation est suffisamment avancée pour qu'elle permette aux autorités d'appréhender correctement la situation globale, la

Commission recommande de fixer des critères radiologiques pour la consommation des produits fondés sur le niveau de référence et exprimés en niveaux mesurables de radionucléides dans les denrées alimentaires (becquerel par kilogramme ou becquerel par litre). La surveillance radiologique des denrées alimentaires à partir de ces critères est essentielle pour faciliter le commerce à l'intérieur et à l'extérieur des territoires affectés, tout en garantissant la protection des personnes.

(145) La Commission reconnaît que la fixation de tels critères radiologiques est complexe et qu'il convient de mettre en balance différentes considérations, dont les intérêts des producteurs, des distributeurs et des consommateurs aux niveaux local, national et international. La Commission recommande d'associer les parties prenantes concernées au processus de prise de décisions (Kai, 2015). Un débat approfondi au niveau national est nécessaire pour maintenir un certain degré de solidarité dans le pays.

(146) La Commission du Codex Alimentarius pour le commerce international a élaboré des niveaux indicatifs destinés au commerce des denrées alimentaires (Commission FAO/WHO du Codex Alimentarius, 2006). Ces niveaux reposent sur un critère de dose de 1 mSv par an en supposant qu'au maximum 10 % du régime alimentaire comprend des aliments contaminés. Cette hypothèse peut ne pas convenir à certaines communautés locales pour lesquelles un autre pourcentage pourra être plus adapté. Dans ce cas, les critères radiologiques relatifs aux denrées alimentaires peuvent être fixés en dessous des niveaux indicatifs du Codex. À l'inverse, si la part des produits contaminés est moins importante dans le régime alimentaire, les critères radiologiques peuvent être fixés à des valeurs plus élevées. Des critères radiologiques plus élevés peuvent également être fixés pour préserver la production locale, soit parce qu'elle est profondément ancrée dans les traditions soit parce qu'elle est essentielle à l'économie de la communauté. De telles décisions doivent être prises en collaboration étroite entre les autorités, les experts, les professionnels locaux et les communautés affectées, comme ce fut le cas en Norvège pour la viande de renne produite par la population Sami après l'accident de Tchernobyl (Skuterud *et al.*, 2005). Par conséquent, les critères radiologiques fixés pour les denrées alimentaires pour gérer une situation locale peuvent être spécifiques et différents de ceux adoptés pour le commerce international. Les critères radiologiques visant à gérer une situation locale peuvent évoluer pour inciter les populations à améliorer davantage la qualité radiologique de leurs denrées alimentaires.

(147) Dans la phase intermédiaire, la contamination radioactive des denrées alimentaires peut être abaissée dans la chaîne alimentaire, de la production à la consommation, par la mise en place de nombreuses actions de protection visant à réduire les transferts de radionucléides (Nisbet *et al.*, 2015). Ces actions incluent par exemple le retrait de la couche arable, le labourage et le traitement chimique des sols, la fourniture d'aliments ou d'additifs alimentaires non-contaminés pour le cheptel et la transformation industrielle des aliments pour éliminer la contamination. Les actions adoptées dépendent des propriétés physiques et chimiques des radionucléides rejetés, de la saison ainsi que des types de sol et de l'utilisation des terres (Bogdevitch, 2012).

(148) Outre la gestion des denrées alimentaires, l'approvisionnement en eau devrait être surveillé régulièrement pendant la phase intermédiaire pour vérifier l'absence d'accumulation progressive de la contamination par ruissellement dans les régions affectées.

3.4.2.3. Gestion des autres produits

(149) Des produits autres que les denrées alimentaires peuvent également être contaminés après un accident nucléaire. Cette contamination peut concerner tous les produits stockés à l'extérieur y compris les véhicules, les emballages et les conteneurs de transport. C'est également le cas des matières premières telles que le bois et les minerais extraits de carrières. Bien que la contamination de ces produits puisse ne pas contribuer de manière significative aux expositions, les parties prenantes la considèrent comme une question essentielle qu'il convient de traiter. La façon de les gérer dépend du niveau de contamination, du type et du nombre de produits et des circonstances d'utilisation. En outre, il est parfois nécessaire de mettre en œuvre un processus de validation de la qualité radiologique des produits potentiellement contaminés.

3.4.2.4. Décontamination de l'environnement

(150) Dans la phase intermédiaire, le retrait de la contamination des surfaces et des sols peut être une action très efficace pour réduire l'exposition. Les techniques de décontamination des bâtiments et des surfaces des routes, des sols et de la végétation sont nombreuses (Nisbet *et al.*, 2015). Cependant, la décontamination de l'environnement conduit potentiellement à la production d'une grande quantité de déchets contaminés. La gestion de ces déchets implique une caractérisation, une séparation, un entreposage (potentiellement sur le long terme) et un stockage appropriés. Un tel retrait de la contamination risque également de provoquer des dommages importants à l'environnement lui-même.

(151) La décontamination des bâtiments (publics et privés), des routes et des zones aménagées, des espaces publics ouverts, des zones de loisirs et des terres agricoles commence pendant la phase intermédiaire et, selon la taille des territoires affectés, peut se poursuivre lors de la phase de long terme. La priorité devrait être donnée aux lieux où les gens passent l'essentiel de leur temps et à ceux qui contribuent le plus à leur exposition. Une évaluation réaliste de l'exposition, adaptée aux conditions locales, peut aider à identifier les principales contributions aux expositions individuelles. Pour ces actions de décontamination, la Commission recommande d'appliquer le principe d'optimisation en utilisant un niveau de référence visant à réduire efficacement les expositions individuelles. Cela devrait se faire en étroite concertation avec la population affectée en tenant compte des caractéristiques réelles de la situation d'exposition ainsi que des facteurs sociétaux, environnementaux et économiques associés, afin de s'assurer que les conséquences négatives ne l'emportent pas sur les bénéfices attendus.

3.4.2.5. Gestions des activités commerciales

(152) Un accident nucléaire peut avoir des conséquences sur les activités économiques de différentes entreprises (voir la [section 2.2.4](#)). Pendant la phase intermédiaire, les entreprises situées dans les territoires affectés peuvent être amenées à déployer des actions de protection pour leurs employés, qui tiennent compte des préoccupations et des attentes de leurs familles. Elles peuvent également être amenées à mettre en œuvre des actions spécifiques pour préserver leur activité, telles que la surveillance radiologique de leurs produits ou visant à préserver leur image. Certaines entreprises peuvent être amenées à se délocaliser.

(153) La première étape pour ces entreprises consiste à caractériser la situation radiologique. La plupart des entreprises n'étant pas familiarisées avec les questions de radioprotection, l'assistance d'experts et l'accès à des lignes directrices adaptées, comprenant des critères radiologiques spécifiques, sont nécessaires. L'objectif de la caractérisation radiologique est d'identifier qui est exposé et ce qui est contaminé, où, quand et comment.

(154) En fonction du niveau de contamination, certaines entreprises et activités économiques pourraient être maintenues dans les territoires affectés avec ou sans actions de décontamination spécifiques. En tout état de cause, les employeurs devraient pouvoir garantir un environnement de travail approprié pour leur personnel et la production, et tenir compte de l'évolution possible de la contamination.

(155) L'exposition au travail dans le cadre d'activités économiques maintenues dans les territoires affectés résulte de la contamination résiduelle de l'environnement et non des activités elles-mêmes, excepté dans des cas particuliers où la nature du travail conduit à une exposition significativement supérieure à celle résultant de la contamination résiduelle. La Commission recommande par conséquent que les travailleurs concernés soient protégés au même titre que la population. Toutefois, il est de la responsabilité des employeurs d'assurer leur protection, notamment en leur fournissant des informations appropriées sur les risques radiologiques, en les aidant à développer un programme de surveillance pour eux-mêmes, s'ils le souhaitent, et éventuellement pour leurs familles, et en examinant comment ils pourraient réduire leurs expositions par des actions d'autoprotection. Pour les travailleurs exerçant des activités comportant des situations d'exposition spécifiques, tels que les forestiers et les employés de scieries dans les régions boisées, par exemple, la Commission recommande de les considérer comme professionnellement exposés.

(156) Un grand nombre d'industries est également confronté à la présence de radioactivité ayant un impact réel ou potentiel sur leurs produits. Certaines d'entre elles pourraient avoir à démontrer la qualité radiologique de ces produits, en particulier s'ils sont destinés à l'exportation. Pour d'autres industries pour lesquelles les produits ou les activités elles-mêmes pourraient être affectés (par exemple, les carrières, les activités forestières, le tourisme), il conviendrait de décider du maintien, ou non, de leur activité économique.

(157) En ce qui concerne les activités économiques dans les territoires affectés, il est nécessaire de développer une culture de radioprotection et de s'assurer que des mécanismes sont mis en œuvre pour établir un dialogue avec les différentes parties prenantes afin d'aider les travailleurs, leurs familles et les consommateurs à prendre des décisions éclairées pour se protéger.

3.4.3. *Le processus de co-expertise*

(158) La Commission recommande d'adopter le processus de co-expertise durant la phase intermédiaire. Ce processus de coopération entre les experts, les professionnels et les parties prenantes locales vise à partager les connaissances locales et l'expertise scientifique afin d'évaluer et de mieux comprendre la situation radiologique, de déployer des actions de protection pour protéger les populations et l'environnement et d'améliorer les conditions de vie et de travail. Le

processus de co-expertise fait intégralement partie de la mise en œuvre pratique du principe d'optimisation qui repose sur l'implication des parties prenantes et leur autonomisation. Il contribue au développement de mécanismes d'autoprotection mis en œuvre par les populations affectées en complément des actions de protection conduites par les instances responsables aux niveaux national et local (ICRP, 2009b, 2016). Les expériences tirées des accidents de Tchernobyl et de Fukushima ont montré l'efficacité de ce processus (Liland et Skuterud, 2013 ; Lochard, 2013 ; Ando, 2018 ; Takamura *et al.*, 2018 ; Yasutaka *et al.*, 2020).

(159) D'un point de vue éthique, le processus de co-expertise vise à restaurer et à préserver la dignité humaine, qui est l'une des valeurs centrales du système de radioprotection (ICRP, 2018). Plus spécifiquement, ce processus peut être considéré comme un facteur d'inclusion, valeur procédurale associée au concept d'implication des parties prenantes. De plus, l'inclusion permet de favoriser l'empathie (en donnant aux experts l'occasion de s'immerger dans les expériences, perspectives et contextes des autres, et d'y réfléchir) ce qui aide à identifier des actions de protection appropriées et durables.

(160) Le processus de co-expertise prend du temps, nécessite des ressources dédiées à la surveillance radiologique locale et individuelle et ne peut être envisagé qu'avec le soutien d'experts en radioprotection ou de professionnels qui s'engagent à travailler avec la population sur une longue période (Gariel *et al.*, 2018 ; Schneider *et al.*, 2019). Le processus de co-expertise est une approche progressive qui contribue à développer une culture de la radioprotection chez toutes les parties prenantes (voir la figure 3.1).

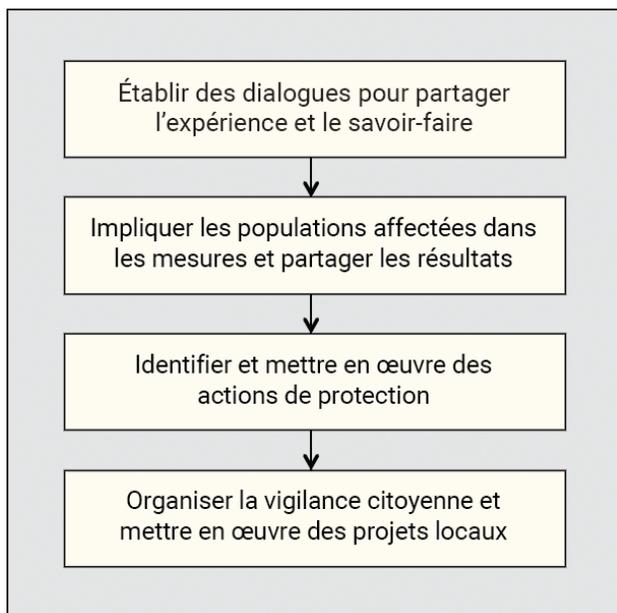


Figure 3.1. Le processus de co-expertise.

3.4.3.1. Étapes du processus de co-expertise

(a) Établir le dialogue

(161) La première étape consiste à engager un dialogue avec un groupe de personnes issues d'une communauté affectée par l'accident afin de partager des expériences et des connaissances. Dans le cadre de ce dialogue, les personnes affectées apportent leurs connaissances sur leurs conditions de vie et celles de leurs communautés, tandis que les experts apportent leurs connaissances sur la science des rayonnements et leur expérience en matière de mise en œuvre pratique de la radioprotection. Les experts et les personnes affectées partagent également leur perception de la situation et de ses conséquences sur la vie quotidienne, y compris les questions, les préoccupations et les attentes de chacun. Dans un contexte de méconnaissance des questions radiologiques et de méfiance vis-à-vis des experts et des autorités au sein de la population, le véritable défi pour tous consiste à garder un esprit ouvert et à faire preuve de respect mutuel.

(b) Caractérisation partagée de la situation radiologique

(162) La deuxième étape vise à impliquer les personnes dans la réalisation de mesures de manière à rendre « visible » la radioactivité et à les sensibiliser sur ou, quand et comment elles sont exposées dans leur vie quotidienne. Pour y parvenir, il convient d'élaborer une approche inclusive de surveillance sur la base de mesures effectuées par les autorités ou par les personnes affectées (autosurveillance). Les mesures doivent être effectuées étape par étape, partant de la source d'exposition et s'étendant peu à peu pour inclure les expositions reçues par les personnes par diverses voies d'exposition, afin que la situation d'exposition des personnes et de la communauté soit mieux caractérisée. L'expérience a montré que le partage des résultats de mesures, pour pouvoir en discuter et comparer les situations de chacun, est un moyen puissant pour identifier les opportunités d'amélioration de la radioprotection des personnes affectées. Cette caractérisation partagée permet de mieux comprendre la situation locale et de la mettre en perspective, en tenant compte des critères radiologiques et de la comparaison avec d'autres situations d'exposition radiologiques.

(c) Identifier et mettre en œuvre des actions de protection

(163) La troisième étape vise à permettre à la fois à la population locale et aux experts d'identifier les actions de protection possibles, adaptées à la situation locale, pour réduire les expositions individuelles évitables. Elle permet d'identifier des actions d'autoprotection qui peuvent être mises en œuvre par les personnes affectées ainsi que d'évaluer les actions de protection conduites par les autorités avec la possibilité de les adapter si nécessaire. L'expérience acquise au cours de ce processus peut également favoriser une révision des critères radiologiques correspondants. Le processus de co-expertise permet aux parties prenantes locales de prendre des décisions éclairées concernant leur propre protection. La mise en œuvre d'actions de protection mobilise des ressources techniques, humaines et financières et requiert l'assistance des experts et des autorités.

(d) Organiser la vigilance citoyenne et mettre en œuvre des projets locaux

(164) La quatrième étape du processus de co-expertise consiste à organiser un programme de surveillance radiologique au sein de la communauté pour assurer une « vigilance citoyenne » sur la situation radiologique, ainsi qu'à identifier et à mettre en œuvre des projets locaux au niveau des communautés affectées. Ces projets, qui peuvent être très variés (éducatifs, sociaux, commémoratifs, culturels, environnementaux, économiques, etc.), devraient tenir compte des facteurs radiologiques et non radiologiques, et être déployés dans le but d'améliorer la protection des populations et de l'environnement, ainsi que le bien-être des personnes et la qualité de vie de la communauté. L'implication des populations locales dans ces projets, avec le soutien des autorités, des experts et des professionnels locaux, est déterminante en termes d'efficacité et de durabilité. Pour la mise en œuvre des projets locaux, il convient d'établir des structures de gouvernance appropriées impliquant les parties prenantes et visant à garantir la légitimité, la transparence et l'équité du processus décisionnel.

3.4.3.2. Culture de radioprotection

(165) Le processus de co-expertise est efficace pour redonner de l'autonomie aux personnes et aux communautés affectées par les rayonnements pour apprendre à se protéger elles-mêmes et, par conséquent, pour développer une culture pratique de radioprotection nécessaire pour faire face aux conséquences de l'accident nucléaire. La Commission définit cette culture comme la connaissance et les savoir-faire qui permettent aux citoyens de faire des choix éclairés et de faire preuve d'un comportement avisé dans des situations impliquant des expositions potentielles ou réelles aux rayonnements ionisants (ICRP, 2018).

(166) Cette culture devrait être d'ordre pratique pour aider les personnes à traiter les préoccupations de la vie quotidienne. Elle leur permet :

- d'interpréter les résultats des mesures (par exemple, les débits de dose ambiants, les doses internes et externes, la contamination des denrées alimentaires) ;
- de faire face à la présence de la radioactivité dans leur vie quotidienne en comprenant où, quand et comment elles peuvent être exposées ;
- de construire leurs propres repères concernant le niveau de radioactivité auquel elles sont confrontées ;
- de collecter des informations pertinentes pour prendre des décisions éclairées sur leur protection et pour mettre en œuvre des actions (autoprotection) ; et
- de juger de la pertinence et de l'efficacité des actions de protection qu'elles mettent en œuvre elles-mêmes ou qui le sont par les autorités.

(167) Le développement d'une culture pratique de radioprotection repose sur un processus d'apprentissage qui associe les connaissances scientifiques en matière de radioprotection et les actions de la vie quotidienne. Il rend les personnes aptes à retrouver leur autonomie vis-à-vis des décisions qui les concernent, autonomie qui avait été sérieusement altérée au moment de l'accident. En outre, il contribue à rétablir les liens entre les personnes, à renforcer leur solidarité et leur offre l'opportunité d'envisager l'avenir avec plus de confiance.

3.5. Passage de la phase intermédiaire à la phase de long terme

(168) Les actions de protection mises en œuvre au cours des phases d'urgence et intermédiaire devraient être levées, adaptées ou complétées lorsque les autorités et les parties prenantes considèrent que ces actions ont atteint les résultats escomptés, ou lorsque leur poursuite ne se justifie plus (autrement dit, lorsqu'elles causent plus de mal que de bien au sens large). L'expérience a montré cependant que, dans la pratique, la décision de lever les actions de protection mises en œuvre au cours des phases d'urgence et intermédiaire est difficile à prendre. Pour y parvenir, il importe que ces actions soient considérées comme n'ayant plus lieu d'être et que la décision soit consensuelle. La levée d'une action requiert la plupart du temps qu'elle soit remplacée ou complétée par d'autres actions plus adaptées à la situation. Dans la pratique, cette démarche nécessite la coordination et le soutien des différentes organisations impliquées dans la gestion de la situation. Elle requiert également la mise en œuvre de mécanismes efficaces permettant d'informer et d'impliquer correctement les différentes parties prenantes.

(169) Si le niveau de contamination résiduelle dans les territoires affectés est tel que les conditions sanitaires, sociétales, économiques et environnementales durables ne peuvent pas être garanties par des actions de protection, les autorités peuvent ne pas autoriser les populations, préalablement évacuées ou relogées provisoirement, à retourner chez elles. La décision d'interdire le retour dans ces territoires affectés devrait être justifiée tout en reconnaissant la gravité et le caractère irréversible d'une décision aussi difficile pour certaines personnes. Pour les territoires affectés présentant un niveau de contamination moindre, les autorités peuvent autoriser les personnes à rester ou à retourner chez elles pour y résider en permanence compte tenu des niveaux d'exposition attendus et de la capacité à retrouver des conditions de vie et de travail durables et appropriées dans un délai raisonnable. De telles décisions devraient être dûment justifiées en regard de toutes les informations disponibles concernant la situation radiologique et l'état des infrastructures et des services dans ces territoires.

(170) En pratique, autoriser ces personnes à rentrer chez elles et y résider en permanence nécessite d'évaluer leurs expositions futures et les risques associés. Cette évaluation devrait être fondée sur les mesures des débits de dose ambiants et de la contamination de l'environnement et des denrées alimentaires, sur les prédictions concernant l'évolution des expositions individuelles et sur les possibilités d'amélioration de la situation radiologique. Les données de surveillance de l'environnement et des aliments, couplées à une modélisation réaliste, peuvent être utilisées pour prédire l'exposition future (Takahara *et al.*, 2020).

(171) Les décisions permettant le retour dans leurs foyers des personnes provisoirement relogées impliquent l'établissement d'un dialogue approfondi entre ces personnes, les autorités et les professionnels de leur communauté. Il est important de fournir aux habitants toutes les informations sur leurs conditions de vie et de travail, ainsi que sur la qualité de leur environnement, auxquelles ils seront confrontés s'ils décident de rentrer chez eux. Ils sont en droit d'attendre le soutien d'experts dans les processus de co-expertise, ainsi que d'accéder à des services médicaux et à une éducation appropriés (Miyazaki, 2017).

(172) La Commission souligne que les personnes disposent du droit fondamental de décider de leur avenir. Toutes les décisions individuelles concernant le fait de demeurer sur, ou de quitter un territoire affecté, ou de rentrer chez soi ou non, y compris les décisions des personnes évacuées volontairement, devraient être respectées comme une question de dignité et avoir le soutien des autorités. Des stratégies devraient également être développées pour reloger des personnes qui ne souhaitent pas ou ne sont pas autorisées à retourner chez elles.

(173) Le retrait définitif de personnes d'un territoire et l'interdiction de son usage (du moins dans un avenir prévisible) sont des décisions difficiles à prendre. Des considérations radiologiques peuvent servir à délimiter ces territoires, bien que des limites géographiques ou administratives existantes puissent également être prises en compte pour des raisons sociales.

(174) La décision d'autoriser le retour de personnes évacuées peut être accompagnée de la fixation par les autorités d'un critère radiologique au-dessus duquel il est obligatoire de reloger la population de façon permanente et en dessous duquel les habitants sont autorisés à rester sous réserve de la mise en œuvre d'actions de protection visant à maintenir et éventuellement à améliorer la situation radiologique résultant des phases d'urgence et intermédiaire. La Commission ne donne aucune recommandation spécifique concernant la valeur de tels critères radiologiques. Si une valeur est retenue, elle devrait être conforme aux recommandations relatives à la gestion des situations d'exposition existantes (voir le [chapitre 4](#)). Pour une question de cohérence, le choix d'un critère de radioprotection visant à permettre aux populations de vivre dans des territoires affectés devrait être discuté et décidé en même temps que la sélection de la valeur du niveau de référence applicable dans la phase de long terme.

(175) La Commission recommande que la décision des autorités de permettre aux personnes de résider en permanence dans les territoires affectés soit prise en étroite concertation avec les représentants des communautés locales et toutes les autres parties prenantes lorsque, au minimum, les conditions et les moyens suivants sont réunis :

- une caractérisation de la situation radiologique de l'environnement, des denrées alimentaires, des biens et des personnes dans les territoires affectés a été suffisamment bien réalisée pour permettre de prendre des décisions efficaces visant à protéger les personnes et l'environnement, et à améliorer les conditions de vie et de travail ;
- des mécanismes de participation des parties prenantes locales aux processus de décisions ont été établis. Ces mécanismes devraient être transparents et compris par toutes les parties prenantes concernées ;
- un système de surveillance radiologique de l'environnement et de mesure des doses individuelles externe et interne a été mis en place, ainsi qu'un système de surveillance sanitaire, incluant des mécanismes appropriés de collecte, de stockage et d'utilisation des données ;
- des mécanismes appropriés (par exemple de co-expertise) ont été mis en place pour impliquer les personnes affectées dans l'amélioration de leur bien-être et de la qualité de vie dans leurs communautés avec le soutien des autorités locales et des professionnels.

4 La phase de long terme

4.1. *Caractéristiques de la phase de long terme*

(176) La phase de long terme commence, sur site, lorsque les autorités chargées de gérer l'accident estiment que l'installation endommagée est sécurisée. Hors site, elle commence lorsque les autorités ont pris leurs décisions concernant l'avenir des territoires affectés et ont décidé d'autoriser les habitants qui le souhaitent à y résider en permanence. Ces décisions marquent le début de la phase de long terme, que la Commission considère comme une situation d'exposition existante, qui doit être gérée par l'application des principes de justification des décisions et d'optimisation des actions de protection en utilisant des niveaux de référence.

(177) Les expériences tirées des accidents de Tchernobyl et de Fukushima ont souligné qu'au-delà de la prise en compte des aspects radiologiques, la réhabilitation des conditions de vie et de travail après un accident nucléaire majeur est un processus complexe qui concerne et associe toutes les dimensions de la vie individuelle et collective. Ces deux accidents extrêmement déstabilisants sur le plan social ont démontré que la gestion d'une phase de long terme reposant uniquement sur des principes et des critères radiologiques n'était pas suffisante pour répondre aux défis auxquels sont confrontés les individus et les communautés dans les territoires impactés. Une telle gestion ne permet pas de réhabiliter les conditions de vie des habitants et l'expérience a montré qu'elle entraîne également des divisions inutiles qui peuvent nuire au bien-être individuel et à la qualité de vie des communautés concernées (Ando, 2016). Ainsi, si les principes et les critères radiologiques constituent un élément essentiel dans la gestion de la phase de long terme, ils devraient être utilisés de manière appropriée et avec suffisamment de flexibilité pour accompagner la réhabilitation des conditions de vie et de travail des personnes et des communautés affectées.

(178) Comme dans de nombreuses situations d'exposition existantes, le niveau d'exposition des personnes résidant dans les territoires affectés est largement

déterminé par leurs comportements individuels, ce qui se traduit généralement par une répartition très hétérogène des expositions individuelles. L'étendue des expositions peut dépendre de nombreux facteurs, notamment :

- de l'emplacement du domicile et du lieu de travail par rapport aux territoires contaminés ;
- de la profession ou de l'activité et, par conséquent, du temps passé à travailler dans des territoires particuliers touchés par la contamination ; et
- des habitudes individuelles, et en particulier de l'alimentation, qui peuvent dépendre en grande partie de la situation socio-économique.

(179) L'expérience a montré qu'il peut y avoir de grandes différences de niveaux d'exposition entre des communautés voisines, au sein de familles d'une même communauté, voire au sein d'une même famille selon le régime alimentaire, le mode de vie et la profession de chacun. Ces différences se traduisent généralement par une distribution de dose déséquilibrée dans laquelle certaines personnes sont plus exposées que la moyenne.

(180) Les personnes qui résident et travaillent dans les territoires affectés, même provisoirement, devraient être dûment informées de la situation radiologique. Elles devraient recevoir le soutien des autorités et des experts, non seulement pour leur garantir une protection adéquate contre les rayonnements, mais aussi pour leur assurer des conditions de vie et de travail durables, y compris des modes de vie et de subsistance convenables.

(181) Il est de la responsabilité du gouvernement de fournir à la population des recommandations appropriées sur la manière de se protéger, ainsi que les conditions, les moyens et les ressources nécessaires à la mise en œuvre efficace de cette protection. Par conséquent, le gouvernement ou l'autorité responsable conjointement avec les parties prenantes devraient évaluer régulièrement l'efficacité des actions de protection adoptées, y compris les actions d'autoprotection menées au niveau de la communauté ou en individuel, afin de fournir un soutien adéquat sur comment assurer une protection à long terme et comment améliorer davantage la situation.

4.2. *Caractérisation radiologique*

4.2.1. *Voies d'exposition*

(182) Dans la phase de long terme, les voies d'exposition reflètent le niveau et l'étendue du dépôt initial de radioactivité, les résultats des actions de décontamination de l'environnement mises en œuvre et la décroissance radioactive. L'importance des différentes voies d'exposition dépend du type de matière radioactive qui a été dispersée et déposée. Les pluies et l'érosion peuvent avoir influencé la pénétration dans le sol des radionucléides déposés et leur migration par les voies aquatiques ou leur remise en suspension. Certains secteurs géographiques, comme les pâturages alpins, les forêts et les zones de montagne, peuvent présenter une rétention plus longue des radionucléides dans les sols que les terrains agricoles. L'absorption de la contamination par les plantes dépend des espèces. Des niveaux de transfert élevés

de la radioactivité dans certains aliments (par exemple, les baies et les champignons dans les forêts) peuvent concourir à une importante contamination par ingestion. La contamination du cheptel dépend de son régime alimentaire, qui peut être contrôlé, contrairement à celui des poissons et des animaux sauvages. Le transfert de la radioactivité aux animaux dépend de l'incorporation des différents radionucléides absorbés et de leur métabolisme.

(183) À plus long terme, un seul ou un petit nombre de radionucléides deviennent les principaux contributeurs à l'exposition individuelle. Le niveau d'exposition externe due aux dépôts de radionucléides dépend des débits de dose ambiants et du temps passé par les individus en différents lieux, comme à la maison, au travail et pour les loisirs. L'exposition interne résulte quant à elle de l'absorption par ingestion ou par inhalation de matières contaminées. L'ingestion de radionucléides par l'homme peut résulter de la consommation de légumes, de lait, de viande et de poisson. Elle peut varier considérablement dans le temps, en fonction de la saison et des pratiques agricoles associées, des types de sol et de végétation, et des régimes alimentaires individuels.

4.2.2. Surveillance radiologique

(184) Au début de la phase de long terme, après avoir procédé à la caractérisation radiologique des territoires affectés pour bien comprendre la distribution spatiale de la contamination, il est important, dans les territoires où des personnes sont autorisées à résider, de suivre l'évolution de la situation radiologique afin d'adapter, le cas échéant, les actions de protection. Il convient, pour ce faire, de maintenir et si besoin d'adapter le programme de surveillance des expositions externe et interne des personnes mis en place par les autorités, mais aussi par les individus et les communautés.

(185) Ce programme ne fournit pas seulement des données sur l'évolution de la contamination dans les territoires affectés mais aide également à maîtriser la concentration des radionucléides dans les denrées alimentaires. Il fournit des informations sur les débits de dose ambiants en utilisant des dispositifs qui affichent les résultats, en différents lieux. Il permet à chacun d'avoir accès à son exposition et de savoir également où, quand et comment il est exposé. Ces informations sont essentielles pour la mise en œuvre du processus de co-expertise. En pratique, cela devrait permettre aux communautés impactées de disposer de moyens (équipements de mesure et personnel qualifié) permettant de mesurer les niveaux d'exposition ambiants, ceux des expositions individuelles externe et interne et les concentrations de radionucléides dans les denrées alimentaires et dans l'environnement. Il est également important d'apporter un soutien pour aider à la compréhension et à l'interprétation des données obtenues lors de ce suivi. La surveillance environnementale de la faune et de la flore devrait aussi être considérée.

(186) L'efficacité du programme de surveillance repose sur sa capacité à faire face aux spécificités des territoires locaux affectés, ce qui est essentiel pour déterminer les éventuels groupes de personnes à risque. Il convient, pour qu'un tel programme s'inscrive dans la durée, que les autorités nationales et locales assurent une maintenance et une formation continues.

(187) L'expérience montre que la pluralité des organisations impliquées dans la mise en œuvre du programme de surveillance radiologique (autorités, organismes d'expertise, laboratoires locaux et nationaux, organisations non gouvernementales,

instituts privés, universités, parties prenantes locales, exploitants nucléaires, etc.) joue un rôle important pour consolider l'évaluation de la situation radiologique. Elle contribue également à améliorer la confiance de la population affectée dans les mesures.

4.3. Protection des intervenants pendant la phase de long terme

(188) Au cours de la phase de long terme, l'objectif, sur site, est de démanteler l'installation endommagée et de gérer les déchets associés. La situation d'exposition est en grande partie caractérisée et la source est pour l'essentiel sous contrôle, même si certaines difficultés techniques peuvent demeurer et que des situations imprévues peuvent apparaître à tout moment. Pour ce qui concerne la gestion des intervenants sur site, la Commission recommande de fixer un niveau de référence de 20 mSv par an ou moins et d'appliquer, le cas échéant, les conditions requises pour l'exposition professionnelle. La Commission reconnaît que certaines autorités et parties prenantes peuvent souhaiter appliquer des limites de dose. Lorsque la source est correctement caractérisée et contrôlée, cette approche peut être appropriée mais n'est pas essentielle. De nombreux intervenants sont recrutés pour des tâches qui ne sont habituellement pas réalisées en présence de rayonnements, comme les travaux de génie civil. Par conséquent, leur formation devrait non seulement inclure des informations de base sur les risques liés aux rayonnements et les principes de radioprotection, mais également sur les conditions de travail particulières dans lesquelles ils devront intervenir. Certaines circonstances sur site peuvent exiger une planification de l'exposition au-delà du niveau de référence. Dans ce cas, la Commission recommande d'adopter des dispositions spéciales limitées dans le temps qui devraient être préparées avec le plus grand soin après délibération entre les parties concernées dans le but d'optimiser la protection.

(189) Hors site, les tâches à entreprendre par les intervenants pendant la phase de long terme consistent à poursuivre et à achever le nettoyage et la décontamination des bâtiments et de l'environnement engagés au cours des phases d'urgence et intermédiaire. Les intervenants participent également au déploiement d'actions de protection de long terme pour maintenir et/ou réduire les expositions, ainsi que pour améliorer les conditions de vie des personnes résidant et travaillant dans les territoires affectés. Les intervenants hors site ne sont pas censés être confrontés à des situations conduisant à des expositions élevées. Comme dans la phase intermédiaire, de nombreux groupes de personnes peuvent contribuer à la mise en œuvre d'actions de protection, parmi lesquels les résidents eux-mêmes. Il convient de considérer leur exposition comme une exposition de personnes du public qui devrait être gérée selon les mêmes dispositions que pour la population générale dans les territoires affectés.

(190) Pour les intervenants qui participent aux opérations de nettoyage ou de décontamination et à la mise en œuvre d'actions de protection pendant la phase de long terme, la Commission recommande une approche proportionnée au niveau d'exposition et adaptée aux circonstances. Lorsque des actions de protection sont mises en œuvre dans une zone de restriction fermée au public, il est recommandé d'utiliser un niveau de référence de 20 mSv par an ou moins. Toutefois, lorsque des actions de protection sont déployées dans des zones ouvertes au public, la Commission recommande que le niveau de référence se situe dans la moitié inférieure de l'intervalle compris entre 1 et 20 mSv par an.

4.4. *Protection du public et de l'environnement pendant la phase de long terme*

(191) La gestion de la phase de long terme repose sur la mise en œuvre d'un ensemble d'actions de protection qui poursuivent et complètent les actions précédemment adoptées au cours des phases d'urgence et intermédiaire. Pour les personnes, l'objectif est d'optimiser la protection (c'est-à-dire de maintenir et/ou de réduire toutes les expositions au niveau aussi bas que raisonnablement possible et de limiter les iniquités dans la répartition des expositions individuelles). Il convient pour cela de prendre en compte les facteurs sociétaux, environnementaux et économiques qui façonnent la vie des personnes et des communautés résidant et travaillant dans les territoires affectés. Parmi les actions de protection figurent celles mises en œuvre par les autorités sur le plan national et local et les actions d'autoprotection adoptées par la population affectée, dans le cadre fourni par les autorités pour soutenir le processus de co-expertise (voir la [section 3.4.3](#)).

(192) Dans sa [Publication 111](#) (ICRP, 2009b), la Commission a recommandé que le niveau de référence pour l'optimisation de la protection des personnes vivant dans des territoires contaminés soit sélectionné dans la partie inférieure de l'intervalle compris entre 1 et 20 mSv par an en fonction des circonstances, en précisant que 1 mSv par an est une valeur typique pour une situation post-accidentelle de long terme. Cette valeur coïncide avec le souhait des personnes exposées, ainsi que celui des autorités, de « réduire les expositions à des niveaux qui sont de l'ordre de ceux des situations jugées comme "normales" » (ICRP, 2007).

(193) La Commission recommande désormais de mettre en œuvre l'optimisation dans la phase de long terme en utilisant un niveau de référence sélectionné dans la moitié inférieure de l'intervalle de 1 à 20 mSv par an, l'objectif étant de réduire progressivement l'exposition jusqu'à la borne inférieure de cet intervalle, ou en dessous si possible. La sélection du niveau de référence devrait considérer la distribution réelle des expositions au sein de la population et les priorités associées à leur réduction. Comme il est précisé dans sa [Publication 111](#) (ICRP, 2009b), la Commission rappelle également que le processus de sélection du niveau de référence devrait procéder de la recherche d'un équilibre prudent entre différents facteurs interdépendants, notamment la pérennité de la vie sociale et des activités économiques, ainsi que la qualité de l'environnement et qu'il devrait correctement refléter les points de vue de toutes les parties prenantes concernées.

(194) La Commission recommande que certains types d'actions de protection soient maintenus pendant la phase de long terme si une grande partie de la population affectée reçoit une exposition supérieure au niveau de référence. En fonction du scénario de l'accident, cela pourrait prendre plusieurs années, voire des décennies, car l'exposition des personnes vivant et travaillant dans des zones contaminées dépend largement de leurs habitudes et de leurs conditions de vie qui ne peuvent être strictement maîtrisées. Il n'est donc pas possible de garantir que toutes les doses individuelles seront maintenues sous le niveau de référence à long terme. L'expérience passée, rapportée dans la [Publication 111](#) (ICRP, 2009b), montre qu'après

quelques années l'effet combiné de l'érosion, de la décroissance radioactive et de la mise en œuvre d'actions de protection appropriées conduit à une exposition inférieure à 1 mSv par an pour la plupart des personnes vivant et travaillant dans des territoires où elles sont autorisées à résider. Seule une très faible proportion de la population est susceptible de recevoir une exposition supérieure à quelques millisieverts par an.

(195) Pour être efficace, le niveau de référence applicable pour la protection du public, sélectionné à la fin de la phase intermédiaire lorsque les autorités décident de l'avenir des territoires affectés, devrait être en adéquation avec la situation radiologique. Ce choix repose sur le processus de caractérisation en prenant en compte les facteurs sociétaux, environnementaux et économiques pertinents. Le niveau de référence étant censé aider à orienter les efforts d'optimisation, le choix d'une valeur trop élevée peut se révéler peu incitatif pour l'engagement des autorités et des autres parties prenantes dans la réhabilitation de leurs conditions de vie et de celles de leurs communautés. De même, le choix d'une valeur trop faible peut avoir un impact sur les conditions sociétales, nuire aux activités économiques des territoires et s'avérer contre-productif. Pour la gestion de la phase de long terme, le choix du niveau de référence est une décision complexe qui devrait être éclairée par des jugements de valeur sociétaux et éthiques (ARPANSA, 2017). En raison de cette complexité, la Commission recommande que les parties prenantes qui seront confrontées à cette situation soient associées autant que possible à la décision permettant de fixer cette valeur.

(196) L'objectif pour la protection des biotes non humains est de réduire les expositions à un niveau aussi bas que raisonnablement possible dans le but de préserver la biodiversité et la reproduction des espèces, tout en étant compatible avec les actions de protection adoptées pour les personnes. Dans les territoires très affectés par l'accident et là où sont entreposés ou stockés des matériaux fortement contaminés, une caractérisation spécifique visant à protéger les biotes non humains devrait être réalisée conformément au cadre recommandé par la Commission (ICRP, 2014) (voir la [section 2.3.3](#)). Il convient de prendre en compte l'impact sur les biotes non humains dans la justification des décisions et l'optimisation de la protection.

(197) La gestion de la phase de long terme repose sur la mise en œuvre d'un programme de réhabilitation prenant en compte de nombreuses dimensions (sociale, économique, sanitaire, environnementale, etc.) compte tenu du niveau de contamination et de sa répartition spatiale et temporelle. Ce programme devrait inclure une stratégie de protection combinant un ensemble d'actions de protection dédiées répondant aux défis spécifiques de la situation d'exposition pour les communautés affectées. Il devrait également inclure une surveillance sanitaire afin de suivre l'état de santé de la population affectée, ainsi que des mesures d'accompagnement, notamment pour soutenir le développement des initiatives citoyennes et des projets locaux, de même que la diffusion et la transmission de l'expérience acquise dans la gestion de la situation.

4.4.1. Actions de protection pour la phase de long terme

(198) Les nombreuses et diverses actions de protection disponibles pour la phase de long terme vont de l'élimination de la contamination présente dans l'environnement (décontamination et gestion des déchets) à la mise en œuvre d'actions collectives

et d'autoprotection pour maîtriser les expositions externes et internes (gestion des denrées alimentaires, conseils sur le régime alimentaire). Elles peuvent être utilisées isolément ou combinées entre elles, dans le cadre d'une stratégie de protection plus large, notamment dans le secteur agricole (Bogdevich, 2012). Certaines actions à caractère générique, comme l'alimentation saine du cheptel, peuvent être appliquées de manière identique et systématique dans l'ensemble des territoires affectés, alors que d'autres, comme les améliorants du sol, ne peuvent s'appliquer qu'à des lieux particuliers selon les conditions d'exposition. Par exemple, il est possible qu'une action de protection ne soit efficace que pour un type de sol ou un type d'utilisation des terres. D'autres options peuvent générer de grandes quantités de déchets ou n'être efficaces qu'à certaines périodes de l'année ou dans certaines conditions particulières. L'évaluation, la sélection et la combinaison des actions de protection devraient reposer sur une évaluation réaliste de leurs impacts potentiels ainsi que sur la contribution d'un large éventail de parties prenantes. Leur mise en œuvre est un processus dynamique, qui évolue en regard de la situation radiologique.

(199) Les actions d'autoprotection sont essentielles pour assurer la pérennité de la protection et la diffusion de la culture pratique de radioprotection dans les territoires affectés ainsi que sa transmission aux générations futures. L'expérience a montré que le maintien de la vigilance citoyenne est un véritable défi. Pour que cette vigilance soit un succès, les autorités devraient fournir des conseils techniques et un soutien continu lors du développement du processus de co-expertise et de la mise en œuvre des actions d'autoprotection.

4.4.1.1. Décontamination et gestion des déchets

(200) La décontamination des bâtiments et des lieux publics (par exemple les écoles), et de l'environnement proche des habitations, commence lors de la phase intermédiaire et peut se poursuivre un certain temps (plusieurs années) au cours de la phase de long terme. La Commission recommande de procéder à la décontamination des lieux en étroite collaboration avec les résidents et les usagers des bâtiments, des jardins et des espaces publics et de loisir, afin d'identifier ceux qui contribuent à l'exposition de manière significative ou qui constituent la principale préoccupation de ces usagers.

(201) Les actions de décontamination contribuent notamment à réduire l'exposition externe (Tsubokura *et al.*, 2019). En pratique, la responsabilisation des personnes à travers leur implication dans les processus de co-expertise favorise une meilleure gestion de leur propre exposition externe en leur permettant de dresser des cartes locales de débits de dose sur les lieux où elles vivent, travaillent et se détendent. Ce faisant, elles peuvent alors identifier les endroits qui enregistrent les débits de dose ambiants les plus élevés, et/ou ceux qui contribuent significativement à la dose externe, en fonction du temps passé. Dans les deux cas, il convient d'essayer de limiter, autant que possible, le temps passé dans ces lieux.

(202) La question des déchets devrait être considérée lors de la prise de décision concernant les actions de décontamination à adopter. La plupart des déchets dans les territoires affectés proviennent de matériaux issus du nettoyage et de la décontamination des bâtiments, des routes et des voies pavées, des sols et de la végétation, des produits agricoles contaminés, des déchets domestiques et commerciaux, ainsi que du traitement des déchets (par exemple, les cendres après incinération ou les

boues provenant du traitement des eaux). La concentration d'activité peut être faible, modérée ou élevée selon le niveau initial de contamination et le type de traitement.

(203) La production de déchets radioactifs pendant la décontamination devrait être considérée avec attention en tenant compte des filières d'évacuation disponibles et des alternatives possibles. Dans la phase de long terme, les déchets radioactifs devraient être gérés avec pour objectif de trouver des options durables. L'expérience montre qu'après un accident nucléaire majeur, les principes et les options habituellement utilisés pour la gestion des déchets radioactifs dans le cadre d'opérations normales doivent être adaptés en raison des volumes importants, des caractéristiques radiologiques et de la nature des déchets produits par les processus de décontamination. Les options spécifiques de gestion des déchets à mettre en œuvre, conformément aux principes de justification et d'optimisation, devraient prendre en compte le contexte (c'est-à-dire, le type et la gravité de l'accident), l'étendue de la contamination, le type et le volume des déchets générés, l'exposition aux rayonnements des personnes impliquées dans la gestion des déchets, etc. Les aspects de radioprotection, mais aussi les considérations sociétales, environnementales et économiques qui caractérisent la situation après un accident, devraient aussi être pris en compte.

(204) Pour la gestion des déchets radioactifs générés par les actions de décontamination, la Commission recommande de s'appuyer sur les niveaux de référence fixés pour l'exposition du public ou de l'environnement, en considérant les expositions dues aux déchets radioactifs comme l'une des sources d'exposition. Il convient d'associer, autant que possible, les parties prenantes concernées aux décisions relatives à la gestion des déchets de décontamination (en particulier pour les lieux de stockage) et au choix des actions de protection correspondantes (en particulier pour la surveillance des sites) ainsi qu'à leur réutilisation et à leur recyclage éventuels.

(205) La Commission recommande que la surveillance des sites d'entreposage et de stockage des déchets soit maintenue aussi longtemps que nécessaire. L'expérience montre que l'implication des résidents dans la surveillance des déchets issus de la décontamination est une approche efficace pour maintenir la pérennité de ces sites.

4.4.1.2. *Agriculture, pêche et gestion des denrées alimentaires*

(206) Pendant la phase de long terme, la possible migration persistante de la contamination dans le sol justifie le maintien des actions de protection agricoles (voir la [section 3.4.2.2](#)). Le maintien de restrictions à long terme sur la production et la consommation de denrées alimentaires peut avoir un effet sur le développement durable des territoires affectés. Dans la mesure du possible, les actions de protection devraient être mises en œuvre pour maintenir la production locale. Cependant, dans certains cas, les agriculteurs doivent envisager de modifier le type de production agricole pour qu'elle reste économiquement viable (par exemple, une production d'aliments pour animaux au lieu de denrées alimentaires, des cultures qui concentrent moins de radioactivité, une production de semences et de produits non alimentaires). Ils peuvent même être amenés à envisager un changement d'affectation des terres vers des activités non agricoles.

(207) L'accident de Fukushima a mis en évidence l'importante contamination du milieu marin et ses conséquences sur les activités de la pêche. Il n'est pas possible de

maîtriser les niveaux de contamination des poissons marins. Ces niveaux dépendent de l'espèce et du lieu de pêche. Une surveillance appropriée permet de gérer les activités de la pêche en fonction de ces deux paramètres. Il est également possible d'utiliser les ressources de la pêche dans des produits transformés plutôt que pour la vente directe. Lors des accidents de Tchernobyl et de Fukushima, les poissons d'eau douce ont également été contaminés par le dépôt direct de radioactivité dans les lacs et les rivières, et par le ruissellement provenant des sols contaminés.

(208) La surveillance des voies d'ingestion est un élément important de la protection du public. L'expérience montre que le maintien de la surveillance radiologique des denrées alimentaires dans la phase de long terme est utile pour rétablir progressivement la confiance des distributeurs, des détaillants et des consommateurs, dans et en dehors des territoires affectés (Strand *et al.*, 1992 ; Skuterud et Thorrying, 2012). De plus, le processus de co-expertise, associé à la mise à disposition des communautés locales de dispositifs de surveillance permettant à chacun de contrôler les niveaux de rayonnements dans les produits agricoles locaux, les aliments provenant de jardins privés et les produits sauvages (par exemple, les champignons forestiers, les légumes et les plantes issus de la cueillette, le gibier, les poissons d'eau douce, etc.) devraient contribuer à la mise en œuvre d'actions d'autoprotection.

(209) En pratique, les populations locales peuvent agir en fonction de la qualité radiologique des denrées alimentaires consommées quotidiennement. Cela suppose qu'elles aient accès à la mesure des produits locaux, y compris celle des produits de leurs jardins. Les résultats de ces mesures leur permettent d'identifier les produits qui sont plus fréquemment contaminés que d'autres (par exemple, les champignons sont plus fréquemment contaminés que les fruits et les légumes). Elles peuvent alors adapter leurs habitudes alimentaires afin de réduire la proportion de denrées contaminées ingérées. Les mesures de la radioactivité du corps entier peuvent aider les populations affectées à évaluer l'efficacité des changements apportés dans leur alimentation.

(210) C'est le consommateur qui décide *in fine* d'acheter ou non des produits alimentaires provenant de territoires contaminés. Cela a un impact significatif sur le marché. Pour le développement d'une stratégie durable de la production alimentaire et des activités de la pêche, il est important d'assurer la qualité des produits (radiologique et non radiologique) et de rétablir la confiance des consommateurs. La Commission recommande que les parties prenantes concernées (autorités, syndicats d'agriculteurs et de pêcheurs, industriels et distributeurs de produits alimentaires, détaillants, associations de consommateurs, etc.) et les représentants de la population soient associés aux processus décisionnels relatifs au maintien et à l'adaptation de la production agricole et de la pêche, compte tenu des attentes des consommateurs sur la qualité des produits alimentaires. Il est nécessaire d'instaurer un dialogue approfondi aux niveaux régional et national pour parvenir à un certain degré de solidarité au sein du pays.

4.4.1.3. Activités économiques et commerciales

(211) Dans la phase de long terme, l'évolution et la pérennité des activités économiques nécessitent de maintenir la surveillance radiologique des employés, de l'environnement de travail et des productions, et de l'adapter en fonction de la contamination résiduelle et des attentes des différentes parties prenantes. Cette

surveillance devrait contribuer à la vigilance à long terme, permettant ainsi, le cas échéant, de modifier les actions de protection existantes ou d'en ajouter davantage.

(212) Certaines entreprises, évacuées ou relocalisées au cours des phases d'urgence ou intermédiaire, peuvent envisager de reprendre leurs activités dans les territoires affectés, alors que de nouvelles peuvent envisager de s'y implanter. En fonction de leurs activités, il conviendrait de mettre en œuvre un programme de surveillance spécifique, tel que mentionné ci-dessus. Il est également essentiel de se donner les moyens de maintenir et de développer une culture de radioprotection pour les employés, qui sont en outre des consommateurs.

(213) Comme indiqué dans la [section 3.4.2.5](#), la Commission recommande que les personnes employées dans diverses activités économiques dans les territoires affectés soient traitées comme des personnes du public.

4.4.2. Surveillance sanitaire

(214) Quel que soit le niveau d'exposition dans les territoires affectés, l'expérience montre que la présence d'une contamination et ses effets potentiels sur la santé restent une préoccupation largement répandue au sein de la population, dans la phase de long terme. Il est essentiel de répondre à cette préoccupation en poursuivant et en adaptant la surveillance sanitaire mise en place lors des phases précédentes. Pour ce faire, il convient de faire preuve de prudence vis-à-vis des effets des rayonnements et de respecter l'autonomie des personnes affectées (Oughton *et al.*, 2018).

(215) La surveillance sanitaire pendant la phase de long terme devrait inclure les trois éléments principaux suivants (Oughton *et al.*, 2018 ; WHO, 2006) :

- le suivi médical des personnes – *a priori* peu nombreuses – qui ont reçu des expositions au cours des phases d'urgence et intermédiaire ayant entraîné des lésions cliniquement graves sur les tissus ou les organes (par exemple des brûlures de la peau, des cataractes, etc.) ou ayant été exposées à des niveaux suffisamment élevés pour justifier une surveillance préventive ;
- la surveillance sanitaire de la population générale pour détecter des effets indésirables potentiels (incidence de cancers radio-induits ainsi que des conséquences sanitaires dues aux changements de mode de vie) et des conséquences psychologiques de l'accident. Le suivi des groupes potentiellement vulnérables (par exemple, les jeunes enfants et les femmes enceintes) constitue une sous-catégorie dans la surveillance sanitaire ;
- des études épidémiologiques spécifiques visant à apporter des informations concernant les éventuels effets radiologiques sur la santé à long terme dans la population exposée.

(216) S'agissant du premier élément, outre le traitement médical nécessaire, il convient d'établir des bilans médicaux réguliers des personnes et d'accorder une attention particulière à l'évolution de leur état de santé général.

(217) S'agissant du deuxième élément, un programme dédié de surveillance de la santé de la population exposée devrait être développé, comprenant une

évaluation médicale initiale, une évaluation des doses, le cas échéant des traitements médicaux, un suivi de l'état de santé, des enquêtes sur les conditions sociales et psychologiques de la population et une offre d'assistance adéquate. Le principal objectif de ce programme est de définir et d'améliorer la santé et les conditions de vie des populations affectées. Sa mise en œuvre requiert le développement d'enquêtes sanitaires, de bases de données sanitaires et de mécanismes d'information et d'accès à l'assistance sanitaire.

(218) Un risque accru de cancer de la thyroïde radio-induit ayant été observé chez les enfants exposés après l'accident de Tchernobyl (UNSCEAR, 2018), des programmes spécifiques de surveillance de la thyroïde peuvent s'avérer utiles pour détecter le plus précocement possible des troubles graves de la thyroïde. Toutefois cette surveillance devrait être organisée en veillant à ce que les bénéfices pour la population l'emportent sur les inconvénients (Togawa *et al.*, 2018). Le dépistage systématique peut entraîner un sur-diagnostic du cancer de la thyroïde (Katanoda *et al.*, 2016 ; Ohtsuru *et al.*, 2019) et des troubles psychologiques indésirables (Midorikawa *et al.*, 2017, 2019 ; Midorikawa et Ohtsuru, 2020). À cet égard, un programme à long terme de surveillance sanitaire de la thyroïde devrait être principalement conduit pour les personnes exposées *in utero* ou pendant l'enfance ou à l'adolescence, qui auraient reçu une dose absorbée par la thyroïde située dans l'intervalle de 100 à 500 mGy ou plus (IARC, 2018).

(219) S'agissant du troisième élément de la surveillance sanitaire, le développement d'études épidémiologiques devrait tenir compte des préoccupations de la population affectée (WHO, 2006).

(220) La Commission recommande d'adopter une approche pluridisciplinaire impliquant autant que possible les parties prenantes dans la conception et le suivi du programme de surveillance sanitaire. Le rôle des codes de conduite éthiques peut s'avérer pertinent dans ce genre de situation. La Commission recommande également de se préparer à prendre les mesures appropriées pour faire face à tout changement inattendu de l'état de santé de la population.

4.4.3. Mesures d'accompagnement

(221) Pour rétablir le bien-être individuel et la qualité de la vie communautaire dans les territoires affectés où les personnes sont autorisées à résider, il est nécessaire de mettre en place des mesures d'accompagnement, au-delà des actions de protection elles-mêmes. Le premier objectif est de rétablir les réseaux techniques d'approvisionnement (eau, électricité, téléphone, etc.), les infrastructures (routes, lignes de chemin de fer, etc.) et les services nécessaires à la vie publique (écoles, hôpitaux, poste, banques, magasins, activités sociales, etc.). Il est également important de garantir le développement socio-économique global des territoires concernés (création de zones industrielles, aide au maintien et à l'implantation d'activités agricoles, industrielles et commerciales, etc.).

(222) Des programmes de recherche dédiés devraient être envisagés pour relever les défis que pose le processus de réhabilitation, notamment dans le champ des conséquences sanitaires, socio-économiques et environnementales, et des activités de l'agriculture, de la pêche et de la sylviculture, mais aussi en matière de décontamination, de gestion des déchets et de démantèlement de l'installation endommagée.

(223) Les autorités devraient soutenir les initiatives citoyennes visant à reprendre le contrôle de la situation radiologique (processus de co-expertise, actions d'autoprotection, projets locaux, etc.). Elles devraient faciliter l'établissement de dialogues entre des représentants de la population affectée et des experts compétents (par exemple, les autorités sanitaires et de la protection radiologique, celles de l'agriculture, etc.). Ces dialogues visent à rassembler et à partager des informations et devraient favoriser une évaluation commune de l'efficacité des stratégies menées par la population et les autorités. Ces initiatives citoyennes nécessitant des ressources, il convient d'établir des mécanismes appropriés pour garantir la légitimité, la transparence et l'équité du processus décisionnel d'allocation des ressources (Eikermann *et al.*, 2016).

(224) L'expérience passée a montré que les communautés qui ont participé au processus de réhabilitation ressentent le besoin, après un certain temps, de déployer des projets dans les domaines de la mémoire, de la culture et de l'éducation. Il ne s'agit pas seulement de commémoration mais d'un travail de mémoire servant aussi de rappel vivant pour sensibiliser, rester vigilant, transmettre l'expérience et ainsi construire l'avenir. À cet égard, la participation du système éducatif (écoles et universités) est un vecteur essentiel pour la transmission de l'expérience aux générations futures.

(225) La Commission recommande d'accorder une attention particulière à l'élaboration de mesures d'accompagnement visant à soutenir les initiatives et les projets citoyens dans les domaines de la mémoire, de la culture et de l'éducation, qui contribuent à des conditions de vie décentes et durables pour les générations actuelles et futures.

4.5. Évolution et levée des actions de protection de long terme

(226) Au cours de la phase de long terme, les expositions des personnes, de la faune et de la flore diminuent progressivement au fil du temps grâce aux effets combinés des actions de protection déployées et des processus naturels comme la décroissance radioactive. Par conséquent, des années après un accident nucléaire (voire des décennies plus tard dans le cas d'un accident majeur), il est conseillé d'envisager de maintenir, modifier ou lever ces actions de protection. Une telle décision devrait être prise en comptant sur la participation des parties prenantes concernées. Comme un large éventail d'actions de protection peut être mis en œuvre sur différentes échelles dans le temps au cours de cette phase, il n'est pas nécessairement pertinent de lever toutes ces actions simultanément. Une action peut être levée lorsqu'elle a atteint son objectif ou lorsque son maintien risquerait globalement de causer plus de tort que de bien.

(227) Le fait que les expositions soient inférieures au niveau de référence ne signifie pas automatiquement la fin de la phase de long terme dès lors qu'il est possible de les réduire davantage, conformément au principe d'optimisation. Il est également conseillé de rester vigilant afin d'éviter toute augmentation de l'exposition. La Commission recommande de maintenir un programme approprié de surveillance à long terme et de transmettre la culture pratique de radioprotection, même si les actions de protection sont levées, afin de favoriser une vigilance continue sur la situation radiologique résiduelle et son évolution.

5

Processus de préparation à un accident nucléaire majeur

(228) La préparation est un processus important pour l'élaboration de la stratégie de protection des personnes et de l'environnement en cas d'accident nucléaire. Pour les phases d'urgence et intermédiaire, cette préparation repose sur le développement d'actions de protection préétablies répondant à des scénarios hypothétiques, sur la base d'une évaluation des dangers. Pour la phase de long terme, la préparation vise à identifier les vulnérabilités sociétales, environnementales et économiques des territoires potentiellement affectés et à élaborer des lignes directrices suffisamment flexibles pour faire face à tout ce qui pourrait se passer dans la réalité (Schneider *et al.*, 2018).

(229) Une condition préalable à la préparation consiste à reconnaître qu'un accident nucléaire peut se produire et qu'il faut sensibiliser, sinon l'ensemble de la population, du moins toutes les organisations qui pourraient être potentiellement impliquées dans la gestion des phases post-accidentelles. Bien qu'il soit difficile d'envisager que toute la population puisse être préparée face à un accident nucléaire, la Commission recommande que les principales parties prenantes représentatives puissent participer à la phase de préparation, pour toutes les phases d'un accident.

(230) La préparation nécessite d'impliquer les responsables de différentes organisations en développant des mécanismes de communication et de coordination, entre eux, et une structure pour guider les processus de décision. Un accident pouvant avoir des conséquences transfrontalières, il est également important de se préparer à la coordination avec des organisations semblables dans les pays voisins et avec des organisations internationales.

(231) En pratique, les plans de préparation devraient inclure un ensemble d'actions de protection appropriées et des dispositions pour les mettre en œuvre, y compris des niveaux de référence. Il convient aussi d'envisager des dispositions pour le déploiement des équipements nécessaires à la caractérisation de la situation radiologique et à la mise en œuvre du processus de co-expertise. En outre, des programmes de communication spécifiques pour informer le public et les autres parties prenantes ainsi que des dispositions pour la formation de personnes éventuellement impliquées dans la réponse devraient être développés. Ces plans devraient faire l'objet d'exercices réguliers impliquant les différentes parties prenantes.

(232) Les plans de préparation devraient aborder les détails de la planification, en adéquation avec l'éventail des scénarios prévus, en gardant à l'esprit une souplesse nécessaire pour réagir en fonction de la situation réelle. Ils devraient aussi tenir compte des facteurs radiologiques et non radiologiques. De même, pour la phase d'urgence, ils devraient inclure des critères radiologiques prédéterminés pour les actions de protection qui nécessitent d'être déployées rapidement, comme la mise à l'abri, l'évacuation et la distribution d'iode stable.

(233) La préparation de plans détaillés pour la gestion des accidents et les situations post-accidentelles est une responsabilité nationale. En outre, il existe une coopération entre pays ainsi qu'au niveau international qui se traduit par l'élaboration de prescriptions détaillées, de lignes directrices pratiques et d'exercices conjoints (IAEA, 2015b; Duranova *et al.*, 2016; NEA, 2018; Schneider *et al.*, 2018). La Commission s'attend à ce que les recommandations énoncées dans la présente publication soient utilisées *in fine* par les organisations nationales et internationales.

6

Conclusions

(234) Un accident nucléaire majeur est un événement inattendu qui déstabilise profondément les individus et la société, génère une situation complexe et requiert la mobilisation de ressources humaines et financières considérables. Au-delà des préoccupations légitimes de tous ceux qui sont affectés par les effets délétères de l'exposition aux rayonnements sur la santé, les conséquences sociétales, environnementales et économiques d'un accident nucléaire majeur et la réponse à cet accident peuvent être considérables et durer très longtemps. Compte tenu de la complexité de la situation créée par l'accident et de l'ampleur de ses conséquences, la radioprotection, bien qu'indispensable, ne représente qu'une dimension parmi les ressources susceptibles d'être mobilisées pour faire face aux problèmes auxquels sont confrontés les individus et les organisations affectés.

(235) Dans un tel contexte, le premier objectif de la radioprotection est de prévenir l'apparition de dommages radio-induits graves et immédiats dans les tissus et les organes et de réduire le risque de cancer et d'effets héréditaires dans le futur à un niveau aussi bas que raisonnablement possible, compte tenu des considérations sociétales, environnementales et économiques. Cet objectif est atteint grâce à un ensemble d'actions de protection complémentaires mises en œuvre dès le début de la phase d'urgence et qui peuvent s'étendre sur plusieurs décennies. Les actions de protection sont choisies en tenant compte des aspects radiologiques et non radiologiques.

(236) L'expérience des accidents nucléaires passés a montré que, malgré la volonté de vouloir faire plus de bien que de mal et de maintenir et réduire les expositions radiologiques aussi bas que raisonnablement possible conformément aux principes de justification et d'optimisation, les actions de protection adoptées au cours des phases d'urgence, intermédiaire et de long terme peuvent aussi avoir des répercussions négatives et être une source de complexité supplémentaire.

(237) Sur le plan opérationnel, la principale recommandation de la Commission visant à atténuer les effets potentiels des rayonnements sur la santé et l'environnement repose sur le principe d'optimisation, en utilisant des critères fondés sur des niveaux de référence pour sélectionner et mettre en œuvre des actions de protec-

tion qui tiennent compte des caractéristiques de la situation d'exposition sur site et hors site ainsi que des catégories de personnes exposées. Les niveaux de référence recommandés par la Commission pour l'optimisation de la protection des personnes sont résumés, dans cette publication, dans le tableau 6.1. Les niveaux de référence pertinents recommandés par la Commission pour la protection du biote non humain sont proposés dans la *Publication 124* (ICRP, 2014).

(238) Les recommandations proposées dans cette publication ont été élaborées sur la base du retour d'expérience d'accidents nucléaires précédents et des connaissances scientifiques les plus avancées en matière d'effets des rayonnements sur la santé et l'environnement. Elles ont également été élaborées dans le but de mettre la radioprotection au service de la réhabilitation des conditions de vie et de travail et de la qualité de vie des communautés affectées. Pour atteindre cet objectif, la Commission souligne l'importance cruciale de l'implication des parties prenantes.

(239) L'expérience acquise lors des accidents de Tchernobyl et de Fukushima a montré que les experts et les professionnels de la radioprotection engagés dans les phases d'urgence, intermédiaire et de long terme devraient non seulement maîtriser les bases de la radioprotection et sa mise en œuvre pratique mais aussi coopérer avec les populations affectées dans le cadre de processus de co-expertise, conformément aux valeurs éthiques fondamentales et procédurales qui sous-tendent le système de radioprotection (ICRP, 2018).

Tableau 6.1. Niveaux de référence pour guider l'optimisation de la protection des intervenants et des populations au cours des trois phases d'un accident nucléaire.

	Phase d'urgence	Phase intermédiaire	Phase de long terme
Intervenants sur site	100 mSv ou moins* Pourrait être dépassé en cas de circonstances exceptionnelles†	100 mSv ou moins* Peut évoluer en fonction des circonstances**‡	20 mSv par an ou moins
Intervenants hors site	100 mSv ou moins* Pourrait être dépassé en cas de circonstances exceptionnelles†	20 mSv par an ou moins‡ Peut évoluer en fonction des circonstances	20 mSv par an ou moins dans les zones de restriction non ouvertes au public, Moitié inférieure de l'intervalle compris entre 1 et 20 mSv par an dans toutes les autres zones [¶]
Public	100 mSv ou moins pour la durée totale des deux phases d'urgence et intermédiaire [§]		Moitié inférieure de l'intervalle compris entre 1 et 20 mSv par an, l'objectif étant de réduire progressivement l'exposition jusqu'à la borne inférieure de cet intervalle, ou en dessous si possible [¶]

* Auparavant, la Commission recommandait de sélectionner les niveaux de référence dans l'intervalle de 20 à 100 mSv pour les situations d'exposition d'urgence. Les recommandations actuelles reconnaissent que, dans certaines circonstances, les niveaux de référence les plus appropriés peuvent être inférieurs à cet intervalle.

† La Commission reconnaît que des niveaux plus élevés, de l'ordre de quelques centaines de millisieverts, peuvent être autorisés pour les intervenants afin de sauver des vies ou de prévenir une dégradation supplémentaire de l'installation, qui pourrait avoir des effets catastrophiques.

‡ Certains intervenants pouvant être impliqués à la fois dans les phases d'urgence et intermédiaire, la gestion des expositions devrait donc tenir compte de l'objectif qui vise à maintenir l'exposition totale en dessous de 100 mSv pendant ces phases.

§ Auparavant, la Commission recommandait de sélectionner les niveaux de référence dans l'intervalle de 20 à 100 mSv pour les situations d'exposition d'urgence. La recommandation actuelle reconnaît que, dans certaines circonstances, le niveau de référence le plus approprié peut être inférieur à 20 mSv.

* Cette précision permet de clarifier l'expression « partie inférieure » telle qu'elle est utilisée dans la *Publication 111*.

(240) À cette fin, il conviendrait que les experts et les professionnels adoptent une approche prudente pour gérer les expositions, cherchant à réduire les iniquités dans les expositions, prennent soin des groupes vulnérables et respectent les décisions individuelles tout en préservant l'autonomie de choix des personnes. Il conviendrait également que les experts et les professionnels partagent les informations dont ils disposent, tout en reconnaissant leurs limites (transparence), délibèrent et décident avec les populations affectées des actions à entreprendre (inclusion) et soient en mesure de les justifier (responsabilité). L'enjeu n'est pas de faire accepter le risque aux personnes, mais de les aider à prendre des décisions éclairées pour leur protection et leurs choix de vie (c'est-à-dire de respecter leur dignité).

7 Introduction aux annexes : panorama des accidents de Tchernobyl et de Fukushima

(241) Les deux annexes qui suivent présentent un bref panorama historique des accidents nucléaires de Tchernobyl et de Fukushima. L'intention n'est pas de fournir une présentation détaillée des différents aspects de ces deux accidents majeurs mais de mettre en lumière les facteurs les plus significatifs en termes de radioprotection. La présentation de chaque accident est cohérente avec le texte principal pour ce qui concerne les phases d'urgence, intermédiaire et de long terme. L'objectif est d'illustrer ces phases en mettant l'accent sur les événements et les décisions qui, au fil des ans, ont marqué la gestion de ces deux accidents et qui ont servi de référence pour l'élaboration des présentes recommandations.

(242) Les lecteurs souhaitant de plus amples informations peuvent se référer aux documents publiés par les principales organisations internationales qui ont significativement contribué à l'analyse des événements et des conséquences des accidents de Tchernobyl et de Fukushima (IAEA, 1991, 2015a; WHO, 1995, 2012, 2013; UNSCEAR, 2000, 2011, 2013, 2018 ; NEA, 2002, 2013). Afin d'aider le lecteur, les références à ces documents sont mentionnées dans les annexes ainsi que dans la liste complète des références.

8

Références

Ando, R., 2016. Measuring, discussing, and living together: lessons from 4 years in Suetsugi. *Ann. ICRP* 45 (1S), 75–83

Ando, R., 2018. Trust – what Connects Science to Daily Life. *Health Phys.* 115, 581–589

ARPANSA, 2017. Guide for Radiation Protection in Existing Exposure Situations. Radiation Protection Series G-2. Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency, Yallambie. Disponible sur : <https://www.arpansa.gov.au/sites/g/files/net3086/f/rpsg-2-existing-exposure.pdf> (consulté pour la dernière fois le 28 août 2020)

Benderitter, M., Pourcher, T., Martin, J. C., *et al.*, 2018. Do multiple administrations of stable iodine protect population chronically exposed to radioactive iodine: what is PRIODAC research program (2014–22) teaching us? *Radiat. Prot. Dosimetry* 182, 67–79

Bogdevitch, I., 2012. Fertilization as a remediation measure on soils contaminated with radionuclides ¹³⁷Cs and ⁹⁰Sr. In: *Fertilizing Crops to Improve Human Health: a Scientific Review. Volume 3, Risk Reduction*. IPNI, Norcross, GA, pp. 275–290

Bonaiuto, M., Alves, S., De Dominicis, S., *et al.*, 2016. Place attachment and natural hazard risk: research review and agenda. *J. Environ. Psychol.* 48, 33–53

Bromet, E. J., Havenaar, J. M., Guey, L. T., 2011. A 25 Year Retrospective Review of the Psychological Consequences of the Chernobyl Accident. *Clin. Oncol.* 23, 297–305

Bromet, E. J., 2014. Emotional Consequences of Nuclear Power Plant Disasters. *Health Phys.* 106, 206–210

Callen, J., Homma, T., 2017. Lessons Learned in Protection of the Public for the Accident at the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant. *Health Phys.* 112, 550–559

Eikermann, I-M., Heriard Dubreuil, G., Baude, S., *et al.*, 2016. Local Populations Facing Long-term Consequences of Nuclear Accidents: Lessons Learnt from Fukushima

and Chernobyl. Mutadis. Disponible sur : https://archive.iges.or.jp/en/fairdo/pdf/MUTADIS_BROCHURE_E.pdf

FAO/WHO Codex Alimentarius Commission, 2006. Codex Guideline Levels for Radionuclides in Foods Contaminated Following a Nuclear or a Radiological Emergency for Use in International Trade. General Standard for Contaminants and Toxins in Food and Feed, CXS 193-1995

Gariel, J-C., Rollinger, F., Schneider, T., 2018. The role of experts in post-accident recovery: lessons learnt from Chernobyl and Fukushima. *Ann. ICRP* 47(3/4), 254-259

Harada, N., Shigemura, J., Tanichi, M., *et al.*, 2015. Mental health and psychological impacts from the 2011 Great East Japan Earthquake Disaster: a systematic literature review. *Disast. Milit. Med.* 1, 1

Hasegawa, A., Tanigawa, K., Ohtsuru, A., *et al.*, 2015. Health effects of radiation and other health problems in the aftermath of nuclear accidents, with an emphasis on Fukushima. *The Lancet* 386, 479-488

Hayano, R. S., Yamanaka, S., Bronson, F. L., *et al.*, 2014. BABYSCAN: a whole body counter for small children in Fukushima. *J. Radiol. Prot.* 34, 645

IAEA, 1991. The International Chernobyl Project. Assessment of Radiological Consequences and Evaluation of Protective Measures. Technical Report. International Atomic Energy Agency, Vienna

IAEA, 2006. Chernobyl Forum: Chernobyl's Legacy: Health, Environmental and Socio-economic Impacts and Recommendations to the Governments of Belarus, the Russian Federation and Ukraine. Second revised version. International Atomic Energy Agency, Vienna

IAEA, 2008. The International Nuclear and Radiological Event Scale. User's Manual. International Atomic Energy Agency, Vienna

IAEA, 2011. Criteria for Use in Preparedness and Response for a Nuclear or Radiological Emergency. IAEA Safety Standards Series No. GSG-2. International Atomic Energy Agency, Vienna

IAEA, 2015a. Non-radiation effects: mental health. The Fukushima Daiichi accident. In: Radiological Consequences. Tech. Vol 4. International Atomic Energy Agency, Vienna, Chapter 4.4.6

IAEA, 2015b. Preparedness and Response for a Nuclear or Radiological Emergency. IAEA Safety Standards Series No. GSR Part 7. International Atomic Energy Agency, Vienna.

IAEA, 2018. Arrangements for the Termination of a Nuclear or Radiological Emergency. IAEA Safety Standards Series No. GSG-11. International Atomic Energy Agency, Vienna.

IARC, 2018. Thyroid Health Monitoring after Nuclear Accidents. IARC Technical Publication 46. International Agency for Research on Cancer, Lyon

ICRP, 1983. Cost-Benefit Analysis in the Optimization of Radiation Protection. ICRP Publication 37. Ann. ICRP 10(2/3)

ICRP, 1984. Protection of the Public in the Event of Major Radiation Accidents – Principles for Planning. ICRP Publication 40. Ann. ICRP 14(2)

ICRP, 1990. Optimization and Decision Making in Radiological Protection. ICRP Publication 55. Ann. ICRP 20(1)

ICRP, 1991a. 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60. Ann. ICRP 21(1–3)

ICRP, 1991b. Principles for Intervention for Protection of the Public in a Radiological Emergency. ICRP Publication 63. Ann. ICRP 22(4)

ICRP, 1999. Protection of the Public in Situations of Prolonged Radiation Exposure. ICRP Publication 82. Ann. ICRP 29(1/2)

ICRP, 2005. Protecting People against Radiation Exposure in the Event of a Radiological Attack. ICRP Publication 96. Ann. ICRP 35(1)

ICRP, 2006. The optimisation of Radiological Protection: Broadening the Process. ICRP Publication 101b. Ann. ICRP 36(3)

ICRP, 2007. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. Ann. ICRP 37(2–4)

ICRP, 2008. Environmental Protection: the Concept and Use of Reference Animals and Plants. ICRP Publication 108. Ann. ICRP 38(4–6)

ICRP, 2009a. Application of the Commission's Recommendations for the Protection of People in Emergency Exposure Situations. ICRP Publication 109. Ann. ICRP 39(1)

ICRP, 2009b. Application of the Commission's Recommendations to the Protection of People Living in Long-Term Contaminated Areas after a Nuclear Accident or a Radiation Emergency. ICRP Publication 111. Ann. ICRP 39(3)

ICRP, 2012a. ICRP Statement on Tissue Reactions/Early and Late Effects of Radiation in Normal Tissues and Organs – Threshold Doses for Tissue Reactions in a Radiation Protection Context. ICRP Publication 118. Ann. ICRP 41(1/2)

ICRP, 2012b. Report of ICRP Task Group 84 on Initial Lessons Learned from the Nuclear Power Plant Accident in Japan vis-à-vis the ICRP System of Radiological Protection, Ottawa. Disponible sur : <https://www.icrp.org/docs/ICRP%20TG84%20Summary%20Report.pdf> (consulté pour la dernière fois le 2 septembre 2020)

ICRP, 2014. Protection of the Environment under Different Exposure Situations. ICRP Publication 124. Ann. ICRP 43(1)

ICRP, 2016. Proceedings of the International Workshop on the Fukushima Dialogue Initiative. Ann. ICRP 45(2S)

ICRP, 2018. Ethical Foundations of the System of Radiological Protection. ICRP Publication 138. Ann. ICRP 47(1)

Kai, M., 2015. Experience and current issues with recovery management from the Fukushima accident. Ann. ICRP 44(1S), 153–161

Katanoda, K., Kamo, K., Tsugane, S., 2016. Quantification of the increase in thyroid cancer prevalence in Fukushima after the nuclear disaster in 2011 – a potential overdiagnosis? *Jpn. J. Clin. Oncol.* 46, 284–286

Kryuchkov, V. P., Kochetkov, O. A., Tsoviyanov, A. G., *et al.*, 2011. Chernobyl Accident: Doses to the Emergency Responders, Accidental Monitoring, Dose Reconstruction. FMBC Publishing House, Moscow

Kunii, Y., Suzuki, Y., Shiga, T., *et al.*, 2016. Severe Psychological Distress of Evacuees in Evacuation Zone Caused by the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant Accident: the Fukushima Health Management Survey. *PLoS One* 11, e0158821

Liland, A., Skuterud, L., 2013. Lessons Learned from Chernobyl Accident in Norway. In: Oughton, D., Hansson, S. O. (Eds.), *Social and Ethical Aspects of Radiation Risk Management, Radioactivity in the Environment*, Vol. 9. Elsevier, Amsterdam, pp. 159–176

Little, M. P., Azizova, T. V., Bazyka, D., *et al.*, 2012. Systematic Review and Meta-Analysis of Circulatory Disease from Exposure to Low-Level Ionizing Radiation and Estimates of Potential Population Mortality Risks. *Environ. Health Perspect.* 120, 1503–1511

Lochard, J., 2013. Stakeholder Engagement in Regaining Decent Living Conditions after Chernobyl. In: Oughton, D., Hansson, S. O. (Eds.), *Social and Ethical Aspects of Radiation Risk Management, Radioactivity in the Environment*, Vol. 9. Elsevier, Amsterdam, pp. 311–331

Lochard, J., Schneider, T., Ando, R., *et al.*, 2019. An overview of the dialogue meetings initiated by ICRP in Japan after the Fukushima accident. *Radioprotection* 54, 87–101

Luccioni, C., Kornevich, O., Rozhko, A., *et al.*, 2016. Health check-ups of children living in a Belarus district contaminated after the Chernobyl accident. *Radioprotection* 51(2), 91–99

Maeda, M., Oe, M., 2014. Disaster Behavioral Health: Psychological Effects of the Fukushima Nuclear Power Plant Accident. In: Tanigawa, K., Chhem, R. (Eds.), *Radiation Disaster Medicine: Perspective from the Fukushima Nuclear Accident*. Springer, New York, pp. 79–88

Maeda, M., Oe, M., 2017. Mental Health Consequences and Social Issues after the Fukushima Disaster. *Asia Pac. J. Publ. Health* 29, Issue 2, 36S–46S

Midorikawa, S., Ohtsuru, A., Suzuki, S., *et al.*, 2017. Psychosocial Impact on the Thyroid Examination of the Fukushima Health Management Survey. In: Yamashita, S., Thomas, G. (Eds.), *Thyroid Cancer and Nuclear Accidents: Long-term After-effects of Chernobyl and Fukushima*. Academic Press, Elsevier, pp. 165–173

Midorikawa, S., Murakami, M., Ohtsuru, A., 2019. Harm of overdiagnosis or extremely

early diagnosis behind trends in pediatric thyroid cancer. *Cancer* 125, 4108–4109

Midorikawa, S., Ohtsuru, A., 2020. Disaster-zone research: make participation voluntary. *Nature* 579, 193

Miyazaki, M., 2017. Four and a Half Years of Experience of a Clinician Born and Raised in Fukushima: Discrepancy Found Through Dialogues and Practices. *Ann. ICRP* 45(2S), 23–32

Morita, T., Nomura, S., Tsubokura, M., et al., 2017. Excess mortality due to indirect health effects of the 2011 triple disaster in Fukushima, Japan: a retrospective observational study. *J. Epidemiol. Commun. Health* 71(10), 974–980

NCRP, 2018a. Implication of Recent Epidemiological Studies for the Linear Nonthreshold Model and Radiation Protection. Commentary No. 27. National Council on Radiation Protection and Measurements, Bethesda, MD

NCRP, 2018b. Management of Exposure to Ionizing Radiation: Radiation Protection Guidance for the United States, No. 180. National Council on Radiation Protection and Measurements, Bethesda, MD

NEA, 2002. Chernobyl. Assessment of Radiological and Health Impacts. 2002 Update of Chernobyl: Ten Years On. Nuclear Energy Agency, Paris

NEA, 2006. Stakeholders and Radiological Protection: Lessons from Chernobyl 20 Years After. NEA No. 6170. Nuclear Energy Agency, Paris

NEA, 2013. The Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant Accident: OECD/NEA Nuclear Safety Response and Lessons Learnt. NEA No. 7161. Nuclear Energy Agency, Paris

NEA, 2018. Experience from the Fifth International Nuclear Emergency Exercise (INEX-5). NEA No. 7379. Nuclear Energy Agency, Paris

Nisbet, A., Watson, S., Brown, J., 2015. UK Recovery Handbooks for Radiation Incidents 2015. Version 4. PHE-CRCE-018. Public Health England, London. Disponible sur : <https://www.gov.uk/government/publications/uk-recovery-handbooks-for-radiation-incidents-2015> (consulté pour la dernière fois le 2 septembre 2020)

Nomura, S., Blangirido, M., Tsubokura, M., et al., 2016. School restrictions on outdoor activities and weight status in adolescent children after Japan's 2011 Fukushima nuclear power plant disaster: a mid-term to long-term retrospective analysis. *BMJ Open* 6(9), e013145

NPO Fukushima Dialogue, 2020. Records of Dialogues (FY2011-FY2018). NPO Fukushima Dialogue. Disponible sur : https://fukushima-dialogue.jp/index_e.html (consulté pour la dernière fois le 2 septembre 2020)

Oe, M., Fujii, S., Maeda, M., et al., 2016a. Three-year trend survey of psychological distress, post-traumatic stress, and problem drinking among residents in the evacuation zone after the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident [The Fukushima Health Management Survey]. *Psychiatr. Clin. Neurosci.* 70, 245–252

Oe, M., Maeda, M., Nagai, M., et al., 2016b. Predictors of severe psychological distress trajectory after nuclear disaster: evidence from the Fukushima Health Management Survey. *BMJ Open* 6(10), e013400

Oe, M., Takahashi, H., Maeda, M., et al., 2017. Changes of Posttraumatic Stress Responses in Evacuated Residents and Their Related Factors: a 3-Year Follow-up Study from the Fukushima Health Management Survey. *Asia Pac. J. Publ. Health* 29, Issue 2, 182S–192S

Oe, M., Maeda, M., Ohira, T., et al., 2018. Trajectories of emotional symptoms and peer relationship problems in children after nuclear disaster: evidence from the Fukushima Health Management Survey. *Int. J. Environ. Res. Publ. Health* 15(1), 82

Oe, M., Maeda, M., Ohira, T., et al., 2019. Parental Recognition of Bullying and Associated Factors among Children after the Fukushima nuclear disaster: a 3-Year Follow-up Study from the Fukushima Health Management Survey. *Front. Psychiatry* 10, 283

Ogino, H., Hattori, T., 2014. Calculation of Background Lifetime Risk of Cancer Mortality in Japan. *Jpn. J. Health Phys.* 49, 194–198

Ohsuga, Y., 2012. Safety review of worldwide nuclear power plants after the Fukushima Daiichi accident. *Nucl. Saf. Simul.* 3, 17–30

Ohto, H., Yasumura, S., Maeda, M., et al., 2017. From Devastation to Recovery and Revival in the Aftermath of Fukushima's Nuclear Power Plant Accident. *Asia Pac. J. Publ. Health* 29, Issue 2, 10S–17S

Ohtsuru, A., Midorikawa, S., Ohira, T., et al., 2019. Incidence of Thyroid Cancer among Child and Young Adults in Fukushima, Japan, Screened with 2 Rounds of Ultrasonography within 5 Years of the 2011 Fukushima Daiichi Nuclear Power Station Accident. *JAMA Otolaryngol. Head Neck Surg.* 145, 4–11

Ono, A., Isojima, T., Yokoya, S., et al., 2017. Effect of the Fukushima earthquake on weight in early childhood: a retrospective analysis. *BMJ Paediatr. Open* 2, e000229

Oughton, D., Albani, V., Barquinero, F., et al., 2018. Recommendations and procedures for preparedness and health surveillance of populations affected by a radiation accident. SHAMISEN Project. ISGlobal Publisher, Barcelona. Disponible sur : <https://www.isglobal.org/en/-/recommendations-and-procedures-for-preparedness-and-health-surveillance-of-populations-affected-by-a-radiation-accident> (consulté pour la dernière fois le 2 septembre 2020)

Raskob, W., Schneider, T. (Eds.), 2016. Innovative integrated tools and platforms for radiological emergency preparedness and post-accident response in Europe. Key results of the PREPARE European research project. *Radioprotection* 51, HS2

Saito, K., Mikami, S., Andoh, M., et al., 2019. Temporal Change in Radiological Environments on Land after the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant Accident. *J. Radiat. Protect. Res.* 44(4), 128–148

Sawano, T., Nishikawa, Y., Ozaki, A., et al., 2018. The Fukushima Daiichi Nuclear Power

Plant accident and school bullying of affected children and adolescents: the need for continuous radiation education. *J. Radiat. Res.* 59, 381–384

Sawano, T., Kambe, T., Seno, Y., et al., 2019. High internal radiation exposure associated with low socio-economic status six years after the Fukushima nuclear disaster - a case report. *Medicine* 98, e17989

Schneider, T., Andronopoulos, S., Camps, J., et al., 2018. The work programme of NERIS in post-accident recovery. *Ann. ICRP* 47(3/4), 221–228

Schneider, T., Maître, M., Lochard, J., et al., 2019. The role of radiological protection experts in stakeholder involvement in the recovery phase of post-nuclear accident situations: some lessons from the Fukushima-Daïchi NPP accident. *Radioprotection* 54, 259–270

Shore, R. E., Beck, H. L., Boice, J. D., et al., 2018. Implications of recent epidemiologic studies for the linear nonthreshold model and radiation protection. *J. Radiol. Prot.* 38, 1217–1233

Skuterud, L., Gaare, E., Eikelman, M., et al., 2005. Chernobyl radioactivity persists in reindeer. *J. Environ. Radioact.* 83, 231–252

Skuterud, L., Thorring, H., 2012. Averted Doses to Norwegian Sami Reindeer Herders after the Chernobyl Accident. *Health Phys.* 102, 208–216

Strand, P., Selnaes, TD., Bøe, E., et al., 1992. Chernobyl Fallout: Internal Doses to the Norwegian Population and the Effect of Dietary Advice. *Health Phys.* 63, 385–392

Suzuki, Y., Yabe, H., Yasumura, S., et al., 2015. Psychological distress and the perception of radiation risks: the Fukushima Health Management Survey. *Bull. World Health Organ.* 93, 598–605

Takahara, S., Iijima, M., Watanabe, M., 2020. Assessment Model of Radiation Doses from External Exposure to the Public after the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant Accident. *Health Phys.* 118, 664–677

Takamura, N., Orita, M., Taira, Y., et al., 2018. Recovery from nuclear disaster in Fukushima: collaboration model. *Radiat. Prot. Dosimetry* 182, 49–52

Tanigawa, K., Hosoi, Y., Hirohashi, N., et al., 2012. Loss of life after evacuation: lessons learned from the Fukushima accident. *The Lancet* 379, 889–891

Togawa, K., Ahn, H. S., Auvinen, A., et al., 2018. Long-term strategies for thyroid health monitoring after nuclear accidents: recommendations from an expert group convened by IARC. *Lancet Oncol.* 19, 1280–1283

Tsubokura, M., 2018. Secondary health issues associated with the Fukushima Daiichi nuclear accident, based on the experiences of Soma and Minamisoma Cities. *J. Natl. Inst. Publ. Health* 67, 71–83

Tsubokura, M., Murakami, M., Takebayashi, Y., et al., 2019. Impact of decontamination

on individual radiation doses from external exposure among residents of Minamisoma City after the 2011 Fukushima Daiichi nuclear power plant incident in Japan: a retrospective observational study. *J. Radiol. Prot.* 39, 854–871

[UNDP/UNICEF, 2002](#). The human consequences of the Chernobyl nuclear accident: a strategy for recovery. United Nations Development Programme, New York

[UNSCEAR, 2000](#). Sources and Effects of Ionizing Radiation. Vol. II. Effects. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation 2000 Report to the General Assembly. Annex J. United Nations, New York

[UNSCEAR, 2006](#). Sources and Effects of Ionizing Radiation. Vol. I. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation 2006 Report to the General Assembly. Annex A. United Nations, New York

[UNSCEAR, 2011](#). Sources and Effects of Ionizing Radiation. Vol. II. Effects. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation 2008 Report to the General Assembly. Annex D. United Nations, New York.

[UNSCEAR, 2013](#). Sources and Effects of Ionizing Radiation. Vol. I. Effects. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation 2013 Report to the General Assembly. Annex A. United Nations, New York

[UNSCEAR, 2018](#). Evaluation of data on thyroid cancer in regions affected by the Chernobyl accident. A white paper to guide the Scientific Committee's future programme of work. United Nations, New York

[WHO, 1995](#). Report of the international programme on the health effects of the Chernobyl accident. World Health Organization, Geneva

[WHO, 2006](#). Health effects of the Chernobyl accident and special health care programmes. In: Bennett, B., Repacholo, M., Carr, Z. (Eds.), Report of the UN Chernobyl Forum, Expert Group 'Health'. World Health Organization, Geneva, p. 160

[WHO, 2012](#). Preliminary dose estimation from the nuclear accident after the 2011 Great East Japan earthquake and tsunami. World Health Organization, Geneva

[WHO, 2013](#). Health risk assessment from the nuclear accident after the 2011 Great East Japan earthquake and tsunami, based on a preliminary dose estimation. World Health Organization, Geneva

[WHO, 2017](#). Iodine thyroid blocking: Guideline for use in planning for and responding to radiological and nuclear emergencies. World Health Organization, Geneva

[Yasumura, S., Hosoya, M., Yamashita, S., et al., 2012](#). Study Protocol for the Fukushima Health Management Survey. *J. Epidemiol.* 22, 375–383

[Yasutaka, T., Kanai, Y., Kurihara, M., et al., 2020](#). Dialogue, radiation measurements and other collaborative practices by experts and residents in the former evacuation areas of Fukushima: a case study in Yamakiya District, Kawamata Town. *Radioprotection* 55(3), 215–224

Annexe A

L'accident nucléaire de Tchernobyl

A.1. Introduction

(A1) L'accident de Tchernobyl s'est produit le 26 avril 1986 à 1 h 23 du matin, dans le réacteur n° 4 de la centrale nucléaire Lénine, située sur un affluent du Dniepr à environ 15 km de Tchernobyl et 110 km de Kiev. À cette époque, la centrale se trouvait en République socialiste soviétique d'Ukraine, en URSS (voir la figure A.1). Lors d'un essai technique de faible puissance, les systèmes de sécurité ont été désactivés et le mauvais pilotage du réacteur a entraîné un excès de puissance incontrôlable provoquant des explosions de vapeur successives qui ont gravement endommagé le bâtiment du réacteur et ont complètement détruit ce dernier (UNSCEAR, 2000). L'accident a été classé au niveau 7, le plus élevé sur l'échelle internationale des événements nucléaires (IAEA, 2013).



Figure A.1. Emplacement de Tchernobyl.

(A2) Les rejets de radionucléides du réacteur endommagé se sont étalés principalement sur une période de 10 jours dans des proportions variables. Le dépôt de radioactivité au sol a essentiellement affecté les territoires de Biélorussie, de Russie et d'Ukraine proches du réacteur, même si de la radioactivité a été détectée dans quasiment tous les pays de l'hémisphère nord (UNSCEAR, 2000).

A.2. Phases d'urgence et intermédiaire

(A3) La phase d'urgence a commencé le 26 avril 1986 avec l'accident. Début mai 1986, les rejets de radionucléides dans l'environnement avaient diminué de plusieurs ordres de grandeur. Au cours du mois de mai 1986, des actions ont été mises en œuvre pour limiter de nouveaux rejets (IAEA, 1991). Il peut être considéré que cette étape marque la fin de la phase d'urgence et le début de la phase intermédiaire.

(A4) Le 26 avril 1986, le gouvernement soviétique a créé la Commission pour l'atténuation des conséquences de l'accident de Tchernobyl. Cette Commission, présidée par le vice-premier ministre de l'ex-URSS, se composait de divers experts (médecins, spécialistes des situations d'urgence et de la radioprotection, etc.) et de représentants du gouvernement. Bien que des experts spécialisés dans différents domaines traitant des situations d'urgence aient été impliqués dans les activités de la Commission, seuls les représentants du gouvernement étaient autorisés à prendre des décisions.

(A5) Sur site, il est considéré que la phase intermédiaire a pris fin lorsque le sarcophage qui a permis de contenir et de sécuriser la source de rayonnement a été terminé en novembre 1986. Hors site, il est considéré que la phase intermédiaire a pris fin pendant la période de février à mai 1991 avec l'adoption de lois relatives à la gestion de la phase de long terme.

(A6) Au cours de la phase d'urgence, les autorités ont procédé à la mise à l'abri, à l'évacuation, à la distribution d'iode stable et à des restrictions alimentaires. Au cours de la phase intermédiaire, des actions supplémentaires ont été mises en œuvre, comme des procédures de relogement et de décontamination et la gestion des déchets. Cependant, s'agissant de ces deux phases, ces actions n'ont pas toujours été déployées en temps voulu ni de manière systématique dans tous les territoires affectés.

(A7) Au cours des phases d'urgence et intermédiaire, de nombreux intervenants civils et militaires ont participé à l'atténuation des conséquences de l'accident sur site et hors site. Certains d'entre eux ont subi des niveaux d'exposition très élevés, causant des dommages précoces graves au niveau de tissus et d'organes et, à plus long terme, des cancers.

A.2.1. Surveillance des rayonnements

(A8) Dans les premiers jours suivant l'accident, un vaste programme de mesures des débits de dose a été engagé autour de la centrale nucléaire de Tchernobyl. La première carte des débits de dose a ainsi été établie le 1^{er} mai 1986. Le programme de surveillance des rayonnements mis en œuvre en Union soviétique après l'accident de Tchernobyl comprenait un important programme de mesures des débits de dose ambiants, de la contamination des denrées alimentaires et d'échantillons de sol et d'herbe. L'accent a été mis sur l'étude des radionucléides importants du point de vue radiologique tels que les isotopes de l'iode, du césium, du strontium et du plutonium. Pendant la phase d'urgence, le retard pris dans le lancement du programme de surveillance a entraîné un manque de mesures de l'iode radioactif dans les échantillons de sol. Par manque d'équipement et de spécialistes, et du fait de l'étendue des territoires à surveiller, la caractérisation détaillée de la situation radiologique a pris plusieurs années. Au-delà des territoires affectés en Union soviétique, de nombreux pays européens impactés ont également réalisé leurs propres mesures (EC, 1992).

A.2.2. Niveaux de contamination

(A9) Entre le 26 avril et la mi-mai 1986, les rejets radioactifs ont dispersé un large éventail de radionucléides, comme l'iode et le césium radioactifs, sur la plupart des pays de l'hémisphère nord.

(A10) L'Ukraine, la Biélorussie et la Russie ont été les républiques soviétiques les plus touchées par les retombées. Ces vastes territoires affectés (près de 150 000 km²) ont reçu environ 60 % de la radioactivité totale rejetée : le césium-137 (Cs-137) a, en moyenne, dépassé 37 000 becquerels par mètre carré (Bq.m⁻²) et souvent atteint plusieurs centaines de milliers de becquerels par mètre carré (voir la figure A.2). La radioactivité s'est déposée de manière hétérogène à travers l'Europe, variant selon la distance à la source et les conditions météorologiques (voir la figure A3).

(A11) Les autorités ont considéré que, là où, dans ces républiques, l'activité surfacique du Cs-137 dépassait 37 000 Bq.m⁻², les territoires étaient contaminés et éligibles au déploiement d'actions de protection. Sur la base de ce critère, les territoires affectés représentaient 46 500 km² en Biélorussie, 57 700 km² en Russie et 41 900 km² en Ukraine. Les territoires contaminés par le plutonium se limitaient essentiellement au voisinage de l'installation endommagée, alors que pour le strontium, ils s'étendaient jusqu'à 100 km autour du site (UNSCEAR, 2000).

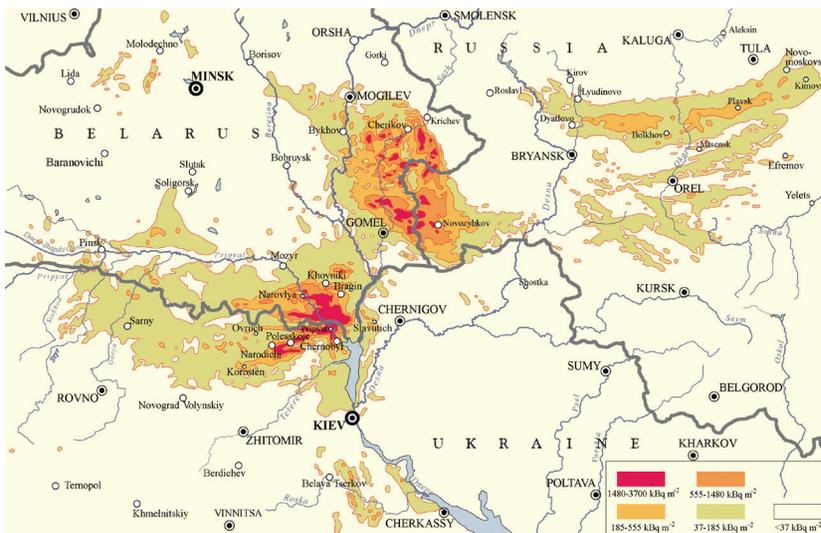


Figure A2. Dépôts de Cs-137 à la surface du sol observés dans certaines régions de la Biélorussie, de la Russie et de l'Ukraine proches du site de l'accident (IAEA, 1991).

(A12) En Europe, des dépôts de césium supérieur à 37 000 Bq.m⁻² ont été observés en Scandinavie (au sud de la Finlande, dans les parties centrale et orientale de la Suède, au centre de la Norvège), en Europe centrale (notamment au sud de la Roumanie, à la frontière entre la République tchèque et la Pologne), en Autriche et au nord de la Grèce, ainsi que dans des régions plus limitées au Royaume-Uni, en Suisse, en Allemagne (essentiellement en Bavière) et en Italie.

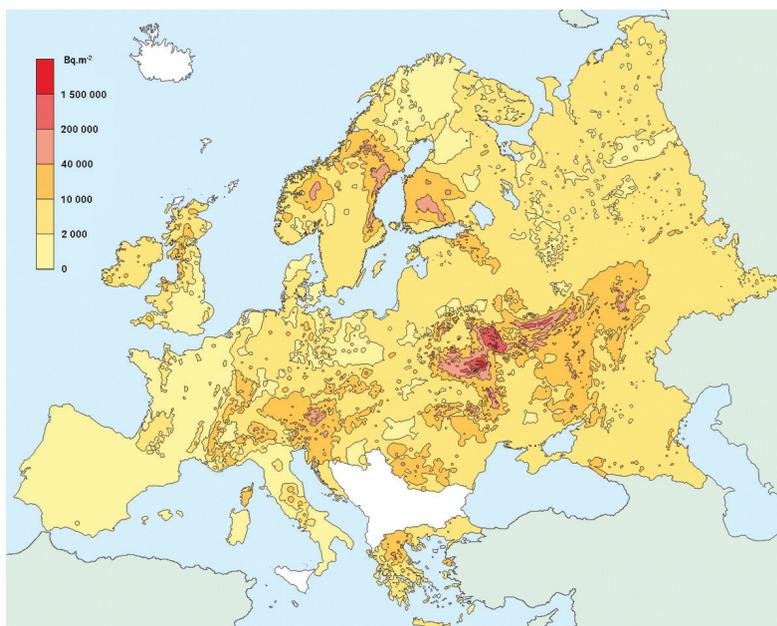


Figure A3. Carte des dépôts de Cs-137 observés après l'accident de Tchernobyl à travers l'Europe. Source : atlas européen CE/IGCE 1998. Aucune donnée n'est disponible pour les Balkans.

A.2.3. Niveaux d'exposition individuelle

(A13) Au cours de la phase d'urgence, la principale voie d'exposition pour les populations était l'incorporation d'iode radioactif. En mai-juin 1986, une vaste étude de surveillance de la teneur en iode dans la thyroïde a été menée en Biélorussie, en Russie et en Ukraine. Au total, plus de 400 000 personnes ont fait l'objet de mesures directes de la thyroïde à la fin du mois de juin 1986 (Zvonova et Balonov, 1993 ; Likhtarev *et al.*, 1996 ; Stepanenko *et al.*, 1996 ; Gavrilin *et al.*, 1999).

(A14) Pour la plupart de ces personnes, la consommation de lait de vache frais provenant d'animaux mis au pâturage avant l'accident a été la principale voie d'incorporation de radioactivité. Cela s'est traduit par des doses importantes à la thyroïde, plus particulièrement chez les enfants vivant en milieu rural à proximité du réacteur endommagé. Environ 95 % des jeunes enfants de moins de 3 ans, des villages évacués et non évacués des trois régions du sud de l'oblast de Gomel, en Biélorussie, ont reçu une dose à la thyroïde supérieure à 0,25 gray (Gy). Un nombre important d'entre eux a reçu des doses supérieures à 2,5 Gy (Savkin et Shinkarev, 2007). Les estimations les plus élevées des doses à la thyroïde reçues par les enfants, dérivées de mesures directes de la thyroïde, ont été évaluées jusqu'à 50 Gy (Shinkarev *et al.*, 2008).

(A15) Outre l'exposition à l'iode radioactif, les doses reçues par les populations des territoires affectés au cours des phases d'urgence et intermédiaire résultaient

en grande partie de l'exposition externe due au césium radioactif déposé sur le sol et de l'exposition interne due à la consommation de denrées alimentaires contaminées. Les doses efficaces moyennes reçues par les habitants des territoires affectés sont estimées à environ quelques dizaines de millisieverts (mSv). La dose efficace médiane reçue était d'environ quelques mSv. On estime qu'environ 10 000 personnes ont reçu des doses efficaces supérieures à 100 mSv (UNSCEAR, 2000).

A.2.4. *Intervenants*

(A16) Au cours de la phase d'urgence, environ 600 intervenants, dont le personnel de la centrale nucléaire, les pompiers participant aux actions d'urgence, le personnel de sécurité et le personnel sanitaire du centre médical local, se trouvaient sur place, à la centrale, la nuit de l'accident. Par la suite, environ 600 000 intervenants, surnommés les « liquidateurs » (personnel civil ou militaire), ont participé au retrait des débris radioactifs, à la construction du sarcophage et à la construction d'hébergements pour le personnel du réacteur et pour les intervenants. Il s'agissait notamment d'intervenants chargés du transport et de la sécurité, ainsi que de scientifiques et de membres du personnel médical (UNSCEAR, 2000).

(A17) Les expositions les plus conséquentes étaient dues à l'irradiation externe. Des maladies aiguës causées par les rayonnements ont été confirmées pour 134 intervenants. Quarante et un d'entre eux ont reçu des doses dues à l'irradiation externe, pour le corps entier, inférieures à 2,1 Gy. Quatre-vingt-treize d'entre eux ont reçu des doses plus élevées et présentaient des symptômes plus graves de maladie aiguë due aux rayonnements : 50 intervenants ont reçu des doses de 2,2 à 4,1 Gy, 22 intervenants ont reçu des doses de 4,2 à 6,4 Gy et 21 intervenants ont reçu des doses de 6,5 à 16 Gy. Les doses ont été principalement estimées par le biais de méthodes de dosimétrie clinique (c'est-à-dire, sur la base de l'analyse des composants sanguins ou des paramètres cytogénétiques des lymphocytes sanguins). Au total, 28 personnes sont décédées dans les mois qui ont suivi l'accident (UNSCEAR, 2000).

(A18) Avant l'accident, le critère de dose pour les employés était de 50 mSv par an en conditions normales et, en cas d'incident ou d'accident, cette valeur pouvait être portée à 250 mSv avec le consentement éclairé du personnel concerné (SRS-76, 1977). En 1986, ce règlement a été appliqué aux intervenants au moment de l'accident.

(A19) En 1987, le critère de dose annuelle maximale pour les intervenants a été abaissé à 100 mSv. Toutefois, le ministère de la santé a autorisé une dose pouvant atteindre 250 mSv pour un nombre restreint d'intervenants lors d'interventions extrêmement importantes. En 1988, le critère de dose a été réduit à 50 mSv pour tous les travailleurs, y compris pour les intervenants, à l'exception de ceux participant à la décontamination de la salle des machines à l'intérieur du sarcophage. Dans leur cas, le critère de dose annuelle a été maintenu à 100 mSv. À partir de 1989, le critère de dose a été fixé à 50 mSv pour tous les intervenants, sans exception (Kryuchkov *et al.*, 2011).

(A20) Un critère de dose de 500 mSv, correspondant aux expositions aux rayonnements autorisées en temps de guerre, a été appliqué notamment pour les intervenants militaires, jusqu'au 21 mai 1986. Il a ensuite été abaissé à 250 mSv par le ministère de la défense (Chvyrev et Kolobov, 1996). À partir de 1987, le critère de dose a été le même pour les intervenants militaires et civils.

(A21) Tous les intervenants ont été recensés dans un registre officiel établi en 1986. Dans ce registre figuraient les estimations des expositions dues à l'irradiation externe, qui était la principale voie d'exposition. Les données du registre ont montré que les expositions moyennes enregistrées ont baissé au cours du temps, passant d'environ 170 mSv en 1986 à 130 mSv en 1987, à 30 mSv en 1988 et à 15 mSv en 1989 (UNSCEAR, 2000). Il est reconnu que ces valeurs sont entourées d'incertitudes.

(A22) En raison du volume important d'iode radioactif présent à proximité du réacteur, les intervenants qui étaient sur place au cours des premières semaines après l'accident peuvent avoir reçu des doses importantes à la thyroïde due à l'irradiation interne. Sur la base d'un nombre limité de mesures réalisées entre le 30 avril et le 7 mai 1986 sur plus de 600 intervenants, leur dose moyenne à la thyroïde a été estimée à 0,21 Gy. Il convient de souligner cependant que les doses internes dues à des incorporations d'iode radioactif étaient faibles par rapport aux doses externes reçues après le mois de mai 1986 (UNSCEAR, 2000).

A.2.5. Actions de protection pendant la phase d'urgence

A.2.5.1. Mise à l'abri

(A23) Le jour de l'accident (le 26 avril 1986), la Commission gouvernementale a émis une recommandation concernant la mise à l'abri des habitants de Prypiat, située à environ 3 km du site du réacteur, où vivaient la plupart des employés de la centrale nucléaire avec leur famille. Environ 25 % de la population totale des 50 000 habitants de Prypiat a limité son temps passé à l'extérieur (Likhtarev *et al.*, 1994). Les habitants des zones rurales situées à proximité de l'installation nucléaire n'ont pas été formellement avisés de l'accident et n'avaient donc pas reçu d'informations officielles sur la nécessité de se mettre à l'abri.

A.2.5.2. Évacuation

(A24) Le 27 avril 1986, soit 37 à 40 heures après l'accident, les autorités de l'Oblast de Kiev ont organisé l'évacuation de tous les résidents de Pripyat, par bus, train et voiture. Cette action a été prise en raison du relargage continu de radionucléides par le réacteur endommagé et du niveau d'exposition croissant dans différentes parties de la ville. Environ 9 000 habitants ont décidé d'évacuer par leurs propres moyens (Alexakhin *et al.*, 2004). Les personnes évacuées ne s'attendaient à quitter Prypiat que pour une courte durée et n'ont eu le droit d'emporter que quelques affaires, comme des documents et leurs animaux de compagnie. Elles ont été évacuées vers différentes régions et zones d'hébergement situées en Ukraine, principalement dans l'Oblast de Kiev. Environ 5 000 employés de la centrale nucléaire de Tchernobyl sont restés à Pripyat après l'accident et ont ensuite été relogés dans divers endroits, dans les régions avoisinantes.

(A25) Les informations disponibles le 1^{er} mai 1986 indiquaient que les expositions projetées ne justifiaient pas l'évacuation de la plupart des personnes résidant à proximité de la centrale. Cependant, une forte augmentation de la température du combustible encore présent dans le cœur du réacteur a été observée, ce qui, d'après

les spécialistes de l'Institut Kurchatov de Moscou, pouvait provoquer une brèche dans la partie inférieure du cœur et entraîner un nouveau rejet significatif de matières radioactives dans l'environnement. Les estimations de l'exposition associée ont montré que l'apparition d'effets déterministes graves pourrait survenir dans un rayon de 30 km autour du réacteur endommagé.

(A26) Le 2 mai 1986, la Commission gouvernementale a pris la décision d'évacuer toute la population dans un rayon de 30 km autour de la centrale eu égard aux incertitudes liées à l'état du réacteur et aux conditions météorologiques. Cette évacuation (environ 50 000 habitants) a eu lieu entre le 2 et le 7 mai 1986. Au même moment, environ 50 000 bovins, 13 000 porcs, 3 300 moutons et 700 chevaux ont été évacués de la zone des 30 km (Nadtochiy *et al.*, 2003). Plus de 20 000 animaux agricoles et domestiques qui n'avaient pas été évacués, dont des chats et des chiens, ont été abattus et enterrés.

A.2.5.3. Iode stable

(A27) Les comprimés d'iode stable n'avaient pas été distribués au préalable aux habitants résidant à proximité de la centrale nucléaire de Tchernobyl. C'est pourquoi, les 26 et 27 avril 1986, des médecins se sont rendus dans les maisons, les écoles et les crèches de Prypiat pour distribuer des comprimés d'iode à la population. On estime que le pourcentage d'habitants qui les ont pris a atteint 62 % dans l'après-midi du 27 avril 1986 (Likhtarev *et al.*, 1994). Prypiat a été la seule localité où la prise et l'utilisation d'iode stable ont été efficaces. La distribution de comprimés d'iode dans les villages situés dans la zone des 30 km a commencé à peu près en même temps que l'évacuation. D'après les résultats des entretiens avec la population vivant dans cette zone, la distribution de comprimés a eu lieu principalement du 1^{er} au 4 mai 1986 en Biélorussie, et du 2 au 7 mai 1986 en Ukraine (UNSCEAR, 2000). Cependant, elle est arrivée trop tard pour être vraiment efficace. Dans les territoires ruraux situés en dehors de cette zone, l'iode stable n'a pas été utilisé pendant la phase d'urgence de l'accident (Uyba *et al.*, 2018).

A.2.5.4. Restrictions de la consommation de denrées alimentaires

(A28) Aucune restriction à la consommation de denrées alimentaires contaminées n'a été imposée pendant la phase d'urgence de l'accident car le public n'avait pas été informé de la situation radiologique dans les premiers jours suivant l'accident (jusqu'au 5 mai 1986). Les résidents des territoires affectés ont consommé du lait de vache contaminé par l'iode radioactif, ce qui a entraîné des doses élevées à la thyroïde, en particulier chez les jeunes enfants.

A.2.6. Actions de protection pendant la phase intermédiaire

(A29) En mai 1986, le médecin d'État en chef de l'URSS a adopté un critère de dose de 100 mSv pour limiter l'exposition du public pendant la première année suivant l'accident (du 26 avril 1986 au 25 avril 1987). Le 23 avril 1987, ce critère a été abaissé à 30 mSv pour la deuxième année suivant l'accident. Un an plus tard, le 18 juillet 1988,

le critère de dose annuelle a été abaissé à nouveau à 25 mSv pour les troisième et quatrième années suivant l'accident.

(A30) Le médecin d'État en chef a également défini trois territoires (zones), au regard du niveau d'exposition, dans lesquels l'exposition externe serait limitée pendant la première année suivant l'accident :

- la « zone d'exclusion », c'est-à-dire des territoires soumis à un relogement permanent ;
- la « zone d'évacuation temporaire », c'est-à-dire des territoires où les habitants évacués pourraient revenir après la « normalisation » des conditions radiologiques ; et
- la « zone de contrôle strict », où les enfants et les femmes enceintes ont été exclus au cours de l'été 1986.

A.2.6.1. Relogement

(A31) De la mi-mai à la mi-août 1986, environ 9 000 habitants de 40 villages biélorusses et ukrainiens situés à l'extérieur de la zone des 30 km ont été relogés, ces villages ayant été inclus dans la zone d'exclusion du fait de niveaux d'exposition relativement élevés (Alexakhin *et al.*, 2004).

(A32) En août 1986, la Commission gouvernementale a ordonné à l'Institut Goskomhydrom et aux ministères en charge de la santé publique et de la défense de l'URSS de mener une campagne détaillée de mesure des rayonnements dans 47 localités moins affectées situées dans les parties sud et ouest de la zone d'exclusion, afin de déterminer si les habitants pouvaient rentrer chez eux. Les résultats des mesures ont montré que les habitants de 27 localités rurales (12 en Biélorussie et 15 en Ukraine) pourraient rentrer chez eux une fois le sarcophage installé. L'exposition totale (externe et interne) de ces habitants au cours de l'année 1987 a été estimée à moins de 30 mSv. Les habitants des 12 localités biélorusses ont été autorisés à rentrer chez eux dès l'hiver 1986-1987. En revanche, les autorités ukrainiennes ont estimé qu'il n'était pas recommandé, d'un point de vue économique et social, d'autoriser le retour des habitants dans les 15 localités situées à l'intérieur de la zone des 30 km.

A.2.6.2. Restrictions sur la consommation de denrées alimentaires

(A33) Au début de la phase intermédiaire, l'incorporation d'iode radioactif par la consommation de denrées alimentaires, notamment de lait, était encore la principale source d'exposition interne des populations. Par conséquent, le 6 mai 1986, le médecin d'État en chef de l'URSS a introduit des critères radiologiques pour le lait et l'eau, les produits laitiers et les légumes à feuilles, afin de maîtriser l'incorporation d'iode radioactif par les aliments et l'eau potable. Le lait qui dépassait les critères était transformé en beurre, en fromage, etc., pour tirer profit de la décroissance radioactive. Le 30 mai 1986, le médecin d'État en chef a introduit de nouveaux critères pour tous les radionucléides concernés, critères qui ont été révisés régulièrement (Alexakhin *et al.*, 2004).

A.2.6.3. Décontamination

(A34) Les travaux de décontamination ont commencé dans les localités affectées à la fin du mois de mai 1986. Ils comprenaient : le retrait des sols contaminés et leur remplacement par des sols « propres », le démantèlement de ce qui ne pouvait pas être nettoyé, l'asphaltage des rues, des routes et des trottoirs, le remplacement des toits et l'enfouissement de tous les déchets dans des zones de stockage temporaires. Les travaux de décontamination ont été essentiellement entrepris par la division chimique des forces armées de l'URSS et par les forces de défense civile. Des critères radiologiques ont été fixés pour sélectionner les lieux à décontaminer et ils ont été révisés régulièrement (Alexakhin *et al.*, 2004).

(A35) La décision en matière de travaux de décontamination a été prise en tenant compte non seulement du niveau de contamination radioactive ambiant mais également de l'importance de la composante socio-économique des lieux et de la nature des éléments impactés. De 1986 à 1987, la situation radiologique s'est considérablement améliorée grâce à la réduction significative des niveaux de radioactivité dans les lieux les plus fréquentés des localités. Cela a permis de réduire de 30 % en moyenne la dose externe reçue pour divers professionnels et certaines tranches d'âge (par exemple, les enfants). Dès 1989, la décontamination complète des localités était presque achevée. Dans l'ensemble, l'efficacité moyenne de la décontamination a été estimée ne pas dépasser 10 % (Alexakhin *et al.*, 2004).

A.2.6.4. Actions de protection agricoles

(A36) Au cours de la phase intermédiaire, de multiples actions de protection agricoles ont été progressivement déployées dans les territoires affectés, telles que : le labourage en profondeur des prairies, le retrait de la couche arable, l'ajout d'engrais et de produits chimiques aux sols contaminés, l'interdiction d'abattre le cheptel au moment prévu, la fourniture d'aliments propres pour les animaux, l'exclusion des récoltes présentant un niveau de radioactivité élevé et la reconversion des terres (IAEA, 1991).

(A37) La production agricole a été interrompue en Russie dans les territoires où la contamination des sols dépassait 1 480 000 Bq.m².

A.2.6.5. Diffusion de l'information

(A38) Le public n'a pas été informé immédiatement de la situation radiologique après l'accident de Tchernobyl. Au contraire, les résultats des mesures des débits de dose, des niveaux de contamination de divers radionucléides, etc., ont été classés secrets. Cela a contribué à la défiance de la part du public envers les informations diffusées par l'État et les autorités locales concernant l'accident. Les données radiologiques ne sont devenues accessibles au public qu'un an après l'accident. Cela n'a toutefois pas été suffisant pour améliorer la confiance du public.

A.3. Phase de long terme

(A39) Schématiquement, les actions de protection adoptées au début des années 1990 visaient davantage à restreindre la présence humaine dans les territoires affectés

(relogement obligatoire ou volontaire) et à procéder au contrôle strict du niveau de contamination dans les denrées alimentaires et du corps entier pour les individus. De nombreuses actions de protection étaient axées sur le contrôle et l'abaissement du niveau de contamination radioactive des productions agricoles dans les fermes collectives. La production privée était limitée autant que possible parce qu'il était difficile de contrôler et de surveiller sa qualité.

A.3.1. Cadre réglementaire

(A40) Pour préparer la phase de long terme, la Commission nationale de radioprotection de l'URSS a recommandé, le 22 novembre 1988, un critère de dose de 350 mSv pour l'exposition vie entière des populations, calculée sur 70 ans, exposition au moment même de l'accident en 1986 incluse (Ilyin, 1995). Cette recommandation a soulevé un vif débat entre les autorités et les experts au niveau des Républiques et de l'Union, ce qui a conduit le gouvernement soviétique à solliciter l'expertise de l'AIEA (IAEA, 1991). En 1990-1991, une équipe d'experts internationaux indépendants s'est rendue en URSS pour évaluer les conséquences radiologiques de l'accident de Tchernobyl.

(A41) Les experts ont examiné les concepts, les méthodologies et les estimations des expositions fournis par les scientifiques de l'URSS. L'AIEA a conclu que le critère de dose proposé « allait au-delà de ce qui aurait été strictement nécessaire du point de vue de la radioprotection ». Elle a également « reconnu que de nombreux facteurs sociaux et politiques étaient à prendre en considération et que la décision finale devait revenir aux autorités responsables » (IAEA, 1991). Finalement, sous la pression de l'opinion publique et des médias, le gouvernement soviétique a renoncé à sa recommandation en cours d'année.

(A42) À la fin de l'année 1991, l'URSS s'était divisée en 15 pays distincts. Les gouvernements de Biélorussie, de Russie et d'Ukraine ont adopté des lois nationales avec pour objectif d'organiser la surveillance des rayonnements et celle de la santé et d'améliorer les conditions de vie sociales et économiques des populations résidant dans les territoires affectés. L'objectif de ces lois était principalement de traiter les problèmes à long terme par la mise en œuvre d'une série d'actions de protection et de mécanismes compensatoires, conçus principalement sur la base de critères radiologiques.

(A43) En Biélorussie, par exemple, deux lois ont été publiées pour définir les principes régissant la protection sociale de la population affectée et le statut des territoires impactés. La première loi, votée en février 1991, portait sur « la protection sociale des citoyens affectés par la catastrophe de la centrale nucléaire de Tchernobyl » et clarifiait le statut de ceux qui étaient concernés par l'accident : les « liquidateurs » (intervenants), les populations et les travailleurs des territoires affectés, ainsi que les indemnités allouées dans chaque cas. La deuxième loi, votée en novembre 1991, portait sur « le statut juridique des territoires affectés à la suite de la catastrophe de la centrale nucléaire de Tchernobyl » et définissait les conditions et les moyens pour organiser les activités sociales et économiques dans ces territoires, ainsi que le programme d'accompagnement scientifique. Elle stipulait également l'organisation du « zonage » des régions de la Biélorussie. Ces deux lois s'appliquaient à environ 2 millions de personnes et reconnaissaient que 20 % du territoire biélorusse (environ 40 000 km²) était significativement contaminé.

(A44) En 2001, la loi biélorusse sur « la protection sociale des citoyens affectés par la catastrophe de la centrale nucléaire de Tchernobyl » a été amendée et clarifiée. Il a alors été établi que, dans les territoires où les conditions de vie et de travail n'étaient soumises à aucune restriction, l'exposition totale moyenne (externe et interne) de la population ne devait pas excéder 1 mSv par an (hors rayonnement naturel).

(A45) Les schémas de protection adoptés en Ukraine et en Russie ont été globalement similaires à ceux adoptés en Biélorussie, à l'exception de quelques particularités liées aux conditions nationales et locales.

A.3.2. Surveillance et exposition aux rayonnements

(A46) Pendant la phase de long terme, la surveillance radiologique individuelle fondée sur l'utilisation de dosimètres thermoluminescents et de compteurs de la contamination du corps entier a été largement adoptée dans les territoires affectés pour évaluer respectivement les expositions individuelles externes et internes.

(A47) Les données sur l'exposition externe des personnes du public ont révélé d'importants écarts entre les localités, les distributions de doses individuelles et leurs évolutions dans le temps. Elles ont montré que la population urbaine était exposée à une dose externe plus basse, d'un facteur 2 environ, par rapport à la population rurale vivant dans des régions aux niveaux de contamination radioactive similaires. Les données sur l'exposition interne ont montré que les personnes ayant fait l'objet d'expositions supérieures à la moyenne d'un facteur 2 à 3 (hors dose à la thyroïde) étaient celles qui vivaient en milieu rural, dans des maisons de plain-pied, et qui consommaient de grandes quantités de produits sauvages comme de la viande de gibier, des champignons et des baies (IAEA, 2006).

(A48) L'exposition corps entier a fait l'objet d'une surveillance entre 1991 et 1993, dans le cadre d'une étude allemande réalisée auprès de 300 000 personnes environ en Biélorussie, en Russie et en Ukraine (Hill et Hille, 1995). Pour 90 % de celles qui ont fait l'objet d'un suivi, les expositions internes dues au césium radioactif se sont révélées être inférieures à 0,3 mSv par an. Une étude française réalisée au début des années 2000 dans la région de Bragin, en Biélorussie auprès de 2 500 écoliers a montré que la contamination moyenne du corps entier était de l'ordre de 25 becquerels par kilogramme. Elle a également révélé que certains enfants présentaient une contamination allant jusqu'à quelques centaines de becquerels par kilogramme (Bataille *et al.*, 2008). Convertie en dose, l'exposition interne moyenne a été estimée à environ 0,05 mSv par an, avec 1 % du groupe présentant une exposition d'environ 1 mSv ou plus (ICRP, 2009).

(A49) Il a été estimé que la grande majorité des 5 millions de personnes qui résidaient dans les régions affectées de Biélorussie, de Russie et d'Ukraine au début des années 2000 avait reçu des expositions annuelles inférieures à 1 mSv. Le nombre de résidents dans les territoires affectés dans les trois pays les plus impactés qui a reçu une exposition annuelle de plus d'1 mSv peut être estimé à environ 100 000 personnes (IAEA, 2006).

A.3.3. Surveillance des denrées alimentaires

(A50) Pendant la phase de long terme, la surveillance de la contamination des denrées alimentaires a été maintenue puis développée davantage afin de couvrir les besoins du secteur agricole (fermes collectives et privées), mais aussi ceux liés à la production personnelle des résidents et à la consommation de produits sauvages, tels que les champignons, les baies et le gibier. Les données de mesure ont montré que le niveau de contamination des denrées alimentaires a diminué progressivement dans le secteur agricole mais pas dans les produits sauvages.

(A51) Par exemple, en Biélorussie, le nombre de fermes collectives pour lesquelles les mesures du lait étaient supérieures aux critères radiologiques des produits alimentaires a été divisé par un facteur 5 entre 2001 et 2005. Entre 2000 et 2010, le nombre de villages pour lesquels les mesures du lait provenant des fermes privées ont dépassé ce critère a diminué de près d'un facteur 20. Les mesures réalisées sur les produits sauvages ont révélé d'importantes variations saisonnières, sans présenter de réduction notable du niveau annuel moyen de contamination (Ministère biélorusse des situations d'urgence, 2011).

(A52) S'agissant du contrôle des denrées alimentaires, les autorités ont adopté une approche pragmatique en réduisant les critères radiologiques à mesure que la situation s'améliorait.

A.3.4. Actions de protection de long terme

A.3.4.1. Relogement permanent

(A53) Le 12 mai 1991, l'URSS a adopté une loi fédérale spécifique, appelée « Loi sur la protection sociale des citoyens affectés par la catastrophe de Tchernobyl », qui incluait la révision du statut des territoires affectés en fonction du niveau de contamination du sol, comme suit :

- la « zone d'exclusion », correspondant au territoire affecté dont tous les habitants avaient été relogés en 1986. Y résider en permanence était interdit et l'activité économique ainsi que la gestion de la nature y étaient limitées ;
- la « zone de relogement » divisée en deux parties : les territoires affectés dans lesquels l'exposition moyenne annuelle des habitants pouvait être supérieure à 5 mSv et dont la population devait être relogée, et les autres territoires affectés où les habitants devaient décider de partir volontairement ou bien rester en bénéficiant des mesures compensatoires correspondantes ;
- la « zone de résidence avec droit au relogement » dans laquelle l'exposition moyenne annuelle pouvait être supérieure à 1 mSv et où les personnes qui décidaient de partir volontairement avaient le droit de bénéficier des mesures compensatoires correspondantes ;
- la « zone de résidence à statut socio-économique préférentiel » dans laquelle l'exposition moyenne annuelle des habitants ne devait pas dépasser 1 mSv.

(A54) À la suite de cette loi, des opérations de relogement à grande échelle ont été menées au cours des années 1990 dans les territoires les plus affectés, principalement en Biélorussie et en Ukraine. Par exemple, en Biélorussie, environ 140 000 personnes ont été *de facto* relogées et 200 000 autres ont quitté volontairement les territoires affectés (Ministère biélorusse des situations d'urgence, 2011).

A.3.4.2. *Actions de protection agricoles*

(A55) La plupart des actions de protection agricoles mises en œuvre pendant la phase intermédiaire ont été maintenues au cours de la phase de long terme. Cependant, les recherches dans le domaine de l'agrochimie, menées notamment dans les années 1990, ont permis d'améliorer leur efficacité en optimisant la fertilisation des sols, selon les situations locales. Cela a permis de moderniser et de modifier la spécialisation des exploitations agricoles, la sélection des cultures et des variétés, et l'utilisation alternative des terres. L'utilisation d'une alimentation mixte pour les vaches laitières, enrichie en ferrocène (bleu de Prusse) qui fixe le césium (voir la figure A.4) et de régimes alimentaires différents pour les animaux en fonction de leur âge, a permis d'améliorer considérablement la qualité du lait et de la viande (Bogdevitch, 2003 ; Ministère biélorusse des situations d'urgence, 2011).



Figure A4. Vache dans une étable léchant du bleu de Prusse (Biélorussie).

A.3.5. *Surveillance sanitaire*

(A56) Après l'accident de Tchernobyl, le gouvernement soviétique a lancé un programme d'enregistrement obligatoire et de suivi sanitaire continu des intervenants ainsi que des résidents des territoires les plus affectés. À la fin de l'année 1991, le Registre clinique et dosimétrique de l'Union avait recueilli des informations sur environ 660 000 personnes. Les registres nationaux de Tchernobyl ont continué d'être utilisés après la dissolution de l'URSS en États indépendants, mais la comparabilité des données était plus limitée. Un certain nombre de registres axés sur la population

a été mis en place en Biélorussie, en Russie et en Ukraine, notamment pour le suivi des cancers de la thyroïde et des pathologies malignes du sang.

(A57) Les collaborations internationales ont commencé à se développer en 1990 et ont joué un rôle important depuis dans l'évaluation des conséquences de l'accident de Tchernobyl sur la santé. Un certain nombre d'études épidémiologiques a été mené en Biélorussie, en Russie et en Ukraine auprès des personnes évacuées, des habitants des territoires affectés et des intervenants. La plupart des études ont porté sur le cancer de la thyroïde chez les enfants, la leucémie et d'autres formes de cancers, mais certaines ont également porté sur les maladies cardiovasculaires, la cataracte ou les malformations congénitales.

(A58) L'une des principales observations est que l'accident de Tchernobyl a entraîné une augmentation spectaculaire du taux de cancers de la thyroïde parmi les personnes du public qui avaient été exposées alors qu'elles étaient nourrissons ou jeunes enfants au moment de l'accident. Un examen des données disponibles de 1990 à 2005 dans les territoires affectés (la totalité de la Biélorussie et de l'Ukraine, et les quatre régions les plus contaminées de la Russie) a montré que le nombre de cas de cancers de la thyroïde chez les personnes de moins de 18 ans en 1986 avoisinait les 7 000 (UNSCEAR, 2011). Une étude plus récente couvrant la période de 1991 à 2015 a montré que le nombre total des cas de cancers de la thyroïde était presque trois fois plus élevé (UNSCEAR, 2018).

(A59) Certaines données mettent en évidence une augmentation de l'incidence de la leucémie parmi les groupes d'intervenants (UNSCEAR, 2011 ; Zablotska *et al.*, 2013). Les études sur l'augmentation de la fréquence d'autres effets sur la santé ne sont pas concluantes. Trente-cinq ans après l'accident, elles n'ont pas montré de corrélation évidente entre la dose reçue et l'augmentation du nombre des leucémies et des cancers solides, comme le cancer du côlon, du poumon ou du sein, parmi les habitants des territoires affectés et les personnes évacuées. Cependant, pour ces types de cancers, il ne peut pas être exclu que le temps écoulé depuis l'accident soit encore trop court pour déceler une éventuelle augmentation de la fréquence d'apparition. De même, dans le cas des pathologies non cancéreuses, telles que les malformations congénitales et les maladies cardiovasculaires, les études réalisées ne sont pas concluantes.

(A60) Certaines études ont révélé une augmentation du nombre de cataractes, de pathologies cardiovasculaires et vasculaires cérébrales en fonction de la dose reçue dans certains groupes de « liquidateurs » (intervenants). Les résultats actuels ne permettent pas de conclure à une augmentation chez ces derniers du nombre de cancers solides, comme les cancers du côlon, du poumon ou du sein. Enfin, des enquêtes réalisées plus de 10 ans après l'accident auprès de la population affectée ont également révélé une augmentation des problèmes psychosociaux, y compris des suicides, attribués aux changements de mode de vie dus à la présence de la radioactivité (Bromet *et al.*, 2011).

A.3.6. Émergence du processus de co-expertise

(A61) Après la chute de l'Union soviétique en 1991, les conditions socio-économiques se sont considérablement détériorées en Biélorussie, en Russie et

en Ukraine. Malgré les efforts déployés par les autorités au début des années 1990 pour diffuser des informations sur la situation radiologique et faire preuve de plus de transparence, l'inquiétude du public quant à la présence de la radioactivité et de ses conséquences potentielles sur la santé s'est intensifiée, vis-à-vis des enfants en particulier. Renforcé par la perte générale de confiance envers les autorités et les experts, le sentiment d'impuissance s'est progressivement développé au sein de la population des territoires affectés.

(A62) Dans ce contexte, un groupe d'experts français a développé, au milieu des années 1990, le projet pilote ETHOS en Biélorussie, avec le soutien des autorités nationales et locales. Leur objectif était d'impliquer la population affectée et d'autres parties prenantes dans la gestion de la situation radiologique afin d'améliorer à la fois leur protection et leurs conditions de vie (Hériard Dubreuil *et al.*, 1999).

(A63) Pendant cinq ans, les experts ont travaillé avec les villageois pour réduire la contamination interne chez les enfants, restaurer la qualité radiologique du lait et de la viande produits dans les villages, gérer les cendres radioactives résultant de l'utilisation du bois des forêts environnantes et développer une culture pratique de radioprotection chez les enfants et les jeunes. Des résultats tangibles ont été obtenus dans tous ces domaines et le projet ETHOS a été reconnu par le Programme des Nations unies pour le développement (PNUD) comme un modèle important pour promouvoir des programmes communautaires d'éducation environnementale (UNDP, 2002).

(A64) L'expérience acquise dans le cadre du projet ETHOS a servi de base au programme CORE (Coopération pour la réhabilitation des conditions de vie dans les territoires biélorusses affectés par l'accident de Tchernobyl) mis en œuvre en Biélorussie de 2004 à 2008. Cette initiative internationale élaborée par le Comité Tchernobyl de Biélorussie, notamment avec le soutien du PNUD et d'autres organisations internationales, avait pour objectif d'accompagner des projets locaux dans quatre régions affectées de Biélorussie et dans quatre domaines d'action : la santé, l'éducation et la mémoire, le développement économique et la qualité radiologique (Trafimchick, 2005).

(A65) L'un des projets sur la qualité radiologique était celui de la surveillance des rayonnements mis en œuvre dans le district de Bragin (Région de Gomel). Il visait à réduire la contamination corps entier de la population, en particulier celle des enfants, et à promouvoir des actions d'autoprotection. Le projet Bragin a illustré le rôle essentiel que jouent les mesures dans l'appropriation par les personnes affectées du processus de réhabilitation et pour les responsabiliser afin de leur donner les moyens de prendre des décisions éclairées pour leur protection (voir la [figure A5](#)). Il a également souligné le rôle du dialogue dans l'interaction avec les différentes parties prenantes (Bataille *et al.*, 2008).

(A66) Le projet ETHOS et le programme CORE ont démontré que l'implication directe des parties prenantes locales dans la gestion au jour le jour d'une situation radiologique est possible. Ils ont également révélé que, pour être durable, la gestion d'une situation radiologique par les parties prenantes devrait s'appuyer sur une dynamique de développement économique qui repose principalement sur des initiatives individuelles des acteurs locaux, avec l'appui d'experts nationaux et internationaux. Ces approches ont préfiguré le processus de co-expertise développé une décennie plus tard dans les communautés locales affectées par l'accident de Fukushima.



Figure A.5. Mesures à domicile par une habitante pendant le projet ETHOS.

A.3.7. *Évolution et levée des actions de protection de long terme*

(A67) Depuis le début des années 2010, la levée des actions de protection dans les territoires affectés est devenue une question d'actualité dans les territoires où les niveaux d'exposition additionnels (hors exposition naturelle) étaient passés, pour les habitants, en dessous de 1 mSv par an. Il s'agit d'un sujet délicat car le changement de catégorie de ces territoires marque la fin du dispositif de mesures compensatoires mis en place au début de la phase de long terme.

(A68) Dans ce contexte, des recommandations quant aux critères et aux exigences permettant de lever les actions de protection de long terme dans les communes affectées ont été préparées par un groupe de scientifiques de l'Institut de recherche sur l'hygiène des rayonnements de Saint-Pétersbourg (Barkovskii *et al.*, 2012 ; Romanovitch *et al.*, 2016). Ces recommandations déterminent les critères radiologique et non radiologique qui devraient être satisfaits pour mettre fin aux actions de protection de long terme et passer à une situation sans restriction en termes de radioprotection.

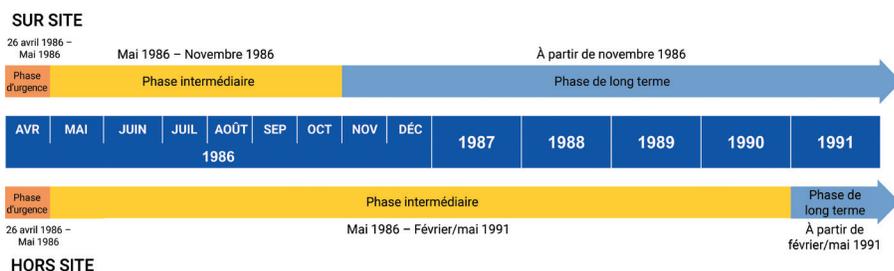
(A69) Selon le critère radiologique, l'exposition moyenne de 10 % des habitants les plus exposés dans une localité déterminée devrait être inférieure à 1 mSv par an. L'exposition est liée à l'accident et n'inclut pas l'exposition naturelle. Selon le critère non radiologique, les activités agricoles dans la localité considérée devraient être exercées sans aucune restriction ni mesure de protection. De plus, les recommandations mentionnent également la nécessité pour les autorités locales d'établir un plan pour la mise en œuvre et la révision de la levée des actions de protection de long terme, en concertation avec les habitants des localités considérées.

(A70) Toutefois, les recommandations sur la levée des actions de protection de long terme n'ont pas encore été mises en pratique en Russie. Il ne s'agit encore que de recommandations. Les autorités locales des territoires où sont situées des localités

officiellement désignées comme « contaminées » ne souhaitent pas renoncer à ce statut car elles craignent des protestations sociales. Ainsi, en Russie, il n'existe pas de documents juridiques réglementaires statuant la levée des actions de protection dans les territoires affectés et aucune levée n'a eu lieu à ce jour.

(A71) La levée des actions de protection étant un sujet sensible, les recommandations mentionnées ci-dessus n'ont toujours pas été mises en œuvre au moment de la rédaction du présent document.

A.4. Les phases de l'accident de Tchernobyl



A.5. Références

Alexakhin, R. M., Buldakov, L. A., Gubanov, V. A., *et al.*, 2004. Large radiation accidents: Consequences and protective countermeasures. Ilyin, L. A, Gubanov, V. A (Eds.). IzdAT Publishing House, Moscow

Barkovskii, A. N., Bruk, G. Ya., Kaduka, M. V., *et al.*, 2012. Criteria and Requirements to Provide the Procedure for Transition of the Settlements Contaminated Due to the Chernobyl Accident from the Recovery Phase to Normal Living Conditions of the Residents. Methodical Recommendations. MP 2.6.1.0055-11. Rospotrebnadzor, Moscow [in Russian]

Bataille, C., Croüail, P., Lochard, J., 2008. Rehabilitation of living conditions in the post- Chernobyl context: implementation of an inclusive radiation monitoring system in the Bragin district in Belarus. In: Proceedings of the International Conference on 'Radioecology and Environmental Radioactivity' (Part 2), 15–20 June 2008, Bergen, Norway, pp. 129–132

Belarusian Ministry for Emergency Situations, 2011. A Quarter of a Century After the Chernobyl Catastrophe: Outcomes and Prospects for the Mitigation of Consequences. National Report of the Republic of Belarus. Belarusian Ministry for Emergency Situations, Minsk

Bogdevitch, I., 2003. Remediation Strategy and Practice on Agricultural Land Contaminated with ¹³⁷Cs and ⁹⁰Sr in Belarus. Environment and Radiation Protection. Seminar 4, 25–26 November 2003. Eurosafe, Paris, pp. 83–92

Bromet, E. J., Havenaar, J. M., Guey, L. T., 2011. A 25 Year Retrospective Review of the Psychological Consequences of the Chernobyl Accident. *Clin. Oncol.* 23, 297–305

Chvyrev, V. G., Kolobov, V. I., 1996. Organization of the radiation-hygiene operations conducted by the military personnel to decontaminate the Chernobyl reactor after the 1986 accident. *Milit. Med. J.* 4, 4–7 [in Russian]

Gavrilin, Y. I., Khrouch, V. T., Shinkarev, S. M., *et al.*, 1999. Chernobyl Accident: Reconstruction of Thyroid Dose for Inhabitants of the Republic of Belarus. *Health Phys.* 76, 105–119

Hériard Dubreuil, G., Lochard, J., Girard, P., *et al.*, 1999. Chernobyl Post-Accident Management: the ETHOS Project. *Health Phys.* 77, 361–372

Hill, P., Hille, R., 1995. Personal dose measuring campaign of the Federal Republic of Germany Results of whole-body measurements in Russia, Belarus, and the Ukraine over the period from 13 May through 6 October 1992. Forschungszentrum Jülich GmbH, Jülich, Germany. (In German language). Disponible sur : <http://www.opengrey.eu/item/display/10068/241407>

IAEA, 1991. The International Chernobyl Project. Assessment of Radiological Consequences and Evaluation of Protective Measures. Technical Report. International Atomic Energy Agency, Vienna

IAEA, 2006. Environmental Consequences of the Chernobyl Accident and their Remediation: Twenty Years of Experience. Report of the Chernobyl Forum Expert Group. International Atomic Energy Agency, Vienna

IAEA, 2013. The International Nuclear and Radiological Event Scale User's Manual. 2008 ed. International Atomic Energy Agency, Vienna

ICRP, 2009. Application of the Commission's Recommendations to the Protection of People Living in Long-Term Contaminated Areas after a Nuclear Accident or a Radiation Emergency. ICRP Publication 111. Ann. ICRP 39(3)

Ilyin, L. A., 1995. Realities and Myths of Chernobyl. Alara Ltd, Moscow

Kryuchkov, V. P., Kochetkov, O. A., Tsoviyanov, A. G., *et al.*, 2011. Chernobyl Accident: Doses to the Emergency Responders, Accidental Monitoring, Dose Reconstruction. FMBC Publishing House, Moscow

Likhtarev, I. A., Chumack, V. V., Repin, V. S., 1994. Analysis of the Effectiveness of Emergency Countermeasures in the 30-km Zone During the Early Phase of the Chernobyl Accident. *Health Phys.* 67, 541–544

Likhtarev, I., Sobolev, B., Kairo, I., *et al.*, 1996. Results of large scale thyroid dose reconstruction in Ukraine. In: Karaoglou, A., Desmet, G., Kelly, G. N., Menzel, H. G. (Eds.), The radiological consequences of the Chernobyl accident. Proceedings of the first international conference, 18–22 March 1996, Minsk, Belarus, pp. 1021–1034

Nadtochiy, P., Malinovskiy, A., Mogar, A O., *et al.*, 2003. Experience of Liquidation of the Chernobyl Accident Consequences. Svit, Kiev [in Ukrainian]

Radioactivity measurements in Europe after the Chernobyl accident Part 2: Fallout and deposition, 1992. Report EUR 12800 EN. Commission of the European Communities. Brussels, Luxembourg. Disponible sur : <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/ebf6ce9a-89d2-4ca7-812b-c8a91234cb77/language-en/format-PDF/source-search>

Romanovich, I. K., Bruk, G. Ya., Barkovskiy, A. N., *et al.*, 2016. Justification of the concept of transition of settlements related to the contamination zone as a result of the Chernobyl accident, to normal living conditions of the population. *Radiat. Hyg.* 9, 6–18 [in Russian]

Savkin, M. N., Shinkarev, S. M., 2007. Prospective use of individual emergency monitoring of the public – lessons from Chernobyl. *Int. J. Emerg. Manag.* 4, 408–420

Shinkarev, S., Voillequé, P., Gavrilin, Yu., *et al.*, 2008. Credibility of Chernobyl thyroid doses exceeding 10 Gray based on in-vivo measurements of ¹³¹I in Belarus. *Health Phys.* 94, 180–187

SRS-76, 1977. USSR Ministry of Health Standards of Radiation Safety. SRS-76. Atomizdat, Moscow [in Russian]

Stepanenko, V., Gavrilin, Yu., Khrouch, V., *et al.*, 1996. The reconstruction of thyroid dose following Chernobyl. In: Karaoglou, A., Desmet, G., Kelly, G. N., Menzel, H. G. (Eds.), The radiological consequences of the Chernobyl accident. EC Report EUR 16544 EN. Proceedings of the first international conference, 18–22 March 1996, Minsk, Belarus, pp. 937–948

Trafimchick, Z., 2005. The CORE programme in Belarus: a new approach to the rehabilitation of living conditions in contaminated areas. Chernobyl forum, Vienna. Disponible sur : https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/37/009/37009800.pdf (consulté pour la dernière fois le 3 septembre 2020)

UNDP/UNICEF, 2002. The Human Consequences of the Chernobyl Nuclear Accident: a Strategy for Recovery. United Nations Development Programme, New York

UNSCEAR, 2000. Sources and Effects of Ionizing Radiation. Vol. II. Effects. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, 2000 Report to the General Assembly. Annex J. United Nations, New York

UNSCEAR, 2011. Sources and Effects of Ionizing Radiation. Vol. II. Effects. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation 2008 Report to the General Assembly. Annex D. United Nations, New York

UNSCEAR, 2018. Evaluation of Data on Thyroid Cancer in Regions Affected by the Chernobyl Accident. A white paper to guide the Scientific Committee's future programme of work. United Nations, New York

Uyba, V., Samoylov, A., Shinkarev, S., 2018. Comparative analysis of the countermeasures taken to mitigate exposure of the public to radioiodine following the Chernobyl and Fukushima accidents: lessons from both accidents. *J. Radiat. Res.* 59(S2), ii40–ii47

Zablotska, L., Bazyka, D., Lubin, J. H., et al., 2013. Radiation and the Risk of Chronic Lymphocytic and Other Leukemias among Chernobyl Cleanup Workers. *Environ. Health Perspect.* 121, 59–65

Zvonova, I. A., Balonov, M. I., 1993. Radioiodine dosimetry and prediction of consequences of thyroid exposure of the Russian population following the Chernobyl accident. In: *The Chernobyl Papers Vol. I. Doses to the Soviet Population and the Early Health Effects Studies*. WA Research Enterprises, Richland, WA, pp. 71–126.

Annexe B

L'accident nucléaire de Fukushima

B.1. Introduction

(B1) L'accident nucléaire de Fukushima a débuté le 11 mars 2011 à la suite d'un tremblement de terre suivi d'un tsunami qui ont gravement endommagé quatre des six réacteurs de la centrale nucléaire de Fukushima Daiichi – exploitée par le producteur d'électricité Tokyo Electric Power Company (TEPCO) – située sur la côte est du Japon, à environ 220 km au nord-est de Tokyo (voir la figure B.1).



Figure B.1. Emplacement de la centrale nucléaire de Fukushima Daiichi.

(B2) Le séisme de forte magnitude (niveau 9), qui s'est produit le 11 mars 2011 à 14 h 46 dans le Grand Est du Japon, a généré des vagues successives de tsunamis qui ont submergé la côte est du Japon. Le tremblement de terre et le tsunami ont dévasté une grande partie du pays, faisant environ 16 000 victimes et 2 500 disparus.

(B3) Le tremblement de terre a provoqué une perte de l'ensemble de l'alimentation électrique externe du site de la centrale nucléaire et le tsunami a inondé tous les systèmes de secours électrique, à l'exception d'un générateur diesel qui desservait le réacteur n° 6. Cela a entraîné une perte totale de la source froide des réacteurs n° 1 à 3 et de la piscine de combustible usé du réacteur n° 4. Comme il n'a pas été possible d'injecter en continu de l'eau dans les cuves sous pression des réacteurs n° 1 à 3, l'élévation de la température y a entraîné la fusion du combustible nucléaire et une série d'explosions d'hydrogène dans les bâtiments des réacteurs n° 1 et 3, les 12 et 13 mars 2011 respectivement. À la suite de ces événements, une grande quantité de matières radioactives a été rejetée dans l'atmosphère par les réacteurs n° 1, 2 et 3, qui s'est déposée sur les terres et sur l'océan. L'accident a été classé au niveau 7, le plus élevé sur l'échelle internationale des événements nucléaires.

B.2. Phases d'urgence et intermédiaire

(B4) La phase d'urgence a débuté le 11 mars 2011, avec l'annonce, par le gouvernement japonais, de l'état d'urgence. Les principaux rejets radioactifs atmosphériques ont eu lieu pendant les explosions et ont duré jusqu'à la fin du mois de mars 2011. À la mi-juillet 2011, la source de ces rejets a été considérée comme stabilisée et le gouvernement japonais et TEPCO ont annoncé que l'étape n° 1 de la feuille de route, établie pour sécuriser les réacteurs endommagés, avait été réalisée (NERHQ, 2011c). Ceci est considéré comme marquant le début de la phase intermédiaire.

(B5) Au cours de la phase d'urgence, des dispositions exceptionnelles visant à assurer la protection des intervenants ont été adoptées sur site. Hors site, une série d'actions de protection de la population a été mise en œuvre, dont la mise à l'abri, l'évacuation et le relogement provisoire, l'administration d'iode stable, la décontamination des personnes et des restrictions de la consommation de denrées alimentaires et d'eau potable. Au cours de cette phase, les autorités ont également organisé une série de réunions publiques dans les territoires affectés pour informer les populations sur la situation radiologique (Takamura *et al.*, 2019).

(B6) Au cours de la phase intermédiaire, plusieurs activités ont été entreprises pour caractériser les voies d'exposition afin de recueillir suffisamment d'informations sur où, quand et comment les personnes avaient été exposées et pourraient l'être à l'avenir, dans les territoires affectés. Cette caractérisation a permis d'établir des plans en août 2011 pour la décontamination de ces territoires et la gestion des déchets radioactifs. En novembre 2011, la CIPR a lancé le Dialogue de Fukushima pour permettre aux parties prenantes locales d'échanger des connaissances et des informations sur les défis actuels et futurs, dans les territoires affectés.

B.2.1. Surveillance des rayonnements

(B7) La perte d'alimentation électrique du 11 mars 2011 a rendu inutilisables tous les postes de surveillance aux limites du site. Les mesures sur site ont débuté dans la soirée du 11 mars 2011 à l'aide d'un véhicule dédié avec lequel il a été mesuré une valeur maximale de 12 mSv.h⁻¹ dans la matinée du 15 mars 2011, au sud-ouest des limites du site. En raison du tremblement de terre et du tsunami, seul un poste de surveillance sur 23 était encore opérationnel dans un rayon d'environ 5 km autour de

la centrale. Après le 13 mars 2011, la préfecture de Fukushima et le gouvernement japonais ont collaboré pour réaliser, à l'aide de véhicules dédiés, des campagnes de mesures de débits de dose ambiants, de poussières atmosphériques, d'échantillons de l'environnement et de sol. Toutefois, les premières mesures ne se sont pas déroulées comme prévu en raison de la détérioration des routes causée par le tremblement de terre et du manque de carburant (ICAFN, 2011).

(B8) Pendant la phase intermédiaire, plusieurs organismes ont réalisé des mesures des rayonnements, comme des ministères, des agences, des municipalités, des exploitants, des organisations non gouvernementales et des organisations internationales. Afin de garantir la cohérence des informations recueillies, le gouvernement japonais a fixé un cadre de coordination de ces campagnes de mesure. Le premier plan de surveillance global, mis en place en août 2011, visait à évaluer l'impact général de l'accident sur les territoires affectés et à préparer les futures actions de protection envisageables. Une surveillance détaillée a également été mise en place en réponse aux demandes de la population d'améliorer la qualité de l'environnement autour de la centrale et de veiller à la santé des enfants et à la protection et la sécurité des personnes (NERHQ, 2011b).

B.2.2. Niveaux de contamination

(B9) En mai 2011, la première carte des mesures aériennes du débit de dose ambiant dans un rayon de 80 km autour de la centrale a été réalisée conjointement par le gouvernement japonais et le ministère américain de l'énergie. La carte présentait le débit de dose à 1 m au-dessus de la surface du sol (NERHQ, 2011a). Le gouvernement japonais continue d'effectuer une surveillance aérienne régulière dans les territoires affectés pour détecter des variations dans la distribution des débits de dose ambiants.

(B10) L'analyse des radionucléides dans des échantillons de sol prélevés à divers endroits, 2 200 environ, dans un rayon de l'ordre de 100 km autour de la centrale nucléaire, a été réalisée en juin et juillet 2011. Les débits de dose ambiants ont également été mesurés sur ces mêmes sites d'échantillonnage. En août 2011, des cartes détaillées illustrant les densités de dépôt de césium radioactif et la distribution des débits de dose ambiants ont été élaborées. Des densités de dépôt de césium radioactif supérieures à 3 millions de Bq.m⁻² ont été mesurées en plusieurs endroits proches de la centrale (NERHQ, 2011b).

B.2.3. Niveaux d'exposition individuelle

(B11) En juin 2011, l'enquête sur la gestion sanitaire de l'accident a été lancée dans la préfecture de Fukushima sous la responsabilité de l'Université de médecine de Fukushima. Elle visait à fournir une vue d'ensemble rétrospective et prospective sur l'état de santé général de la population affectée dans la préfecture de Fukushima en mettant l'accent sur les groupes particulièrement vulnérables. L'enquête comprenait quatre parties distinctes : (i) un examen de la thyroïde pour les enfants de moins de 18 ans ; (ii) un bilan de santé incluant une analyse de sang complète ; (iii) une enquête pour les femmes enceintes ; et (iv) une enquête sur la santé mentale et le mode de vie. Une partie de l'enquête a permis d'évaluer l'exposition externe au cours des 4 premiers mois après l'accident à partir d'informations recueillies par le biais d'un questionnaire sur les déplacements des habitants et des cartes de débits de

dose ambiants quotidiens. Cette enquête a permis d'estimer que 99,4 % des habitants avaient reçu des doses inférieures à 3 mSv, la valeur moyenne étant de 0,8 mSv et la valeur maximale de 25 mSv (Ishikawa *et al.*, 2015).

(B12) Dans le cadre de l'enquête sur la gestion sanitaire de l'accident de Fukushima, les expositions internes ont été mesurées pour des habitants de la zone de restriction et de la zone d'évacuation volontaire, par comptage du corps entier et par des examens biologiques d'urine. Les estimations des doses internes dues au Cs-134 et au Cs-137 rapportées sont inférieures à 1 mSv (Momose *et al.*, 2012).

(B13) Du 26 au 30 mars 2011, une enquête sur l'exposition de la thyroïde des nourrissons et des enfants a été menée dans les villes d'Iwaki et de Kawamata et le village d'Iitate. D'après les résultats, sur 1 080 enfants de moins de 15 ans, aucun n'a dépassé le seuil de dépistage de 0,2 mSv.h⁻¹ correspondant à une dose absorbée à la thyroïde de 100 mGy pour un nourrisson d'un an (NERHQ, 2011a). D'autres études sur la reconstruction des doses à la thyroïde ont confirmé ces résultats (WHO, 2012 ; UNSCEAR, 2013 ; IAEA, 2015a ; Kim *et al.*, 2020).

B.2.4. Intervenants

(B14) Les intervenants d'urgence sur site ont contribué à la reprise du contrôle des installations endommagées. Ils étaient composés de personnel des centrales électriques employé par TEPCO ou de sous-traitants, ainsi que de personnel des forces d'autodéfense, de pompiers et de policiers. Les intervenants hors site comprenaient du personnel de divers organismes et services d'intervention. Ils ont contribué à porter assistance aux personnes évacuées, aux soins médicaux et aux opérations de surveillance et d'échantillonnage.

(B15) Les conditions radiologiques sévères associées à l'accident ont amené les autorités et l'exploitant à adopter des dispositions exceptionnelles pour garantir la protection des intervenants sur site et dans la zone des 30 km. Le 14 mars 2011, le critère radiologique réglementaire pour leur protection a été temporairement relevé de 100 mSv à 250 mSv. Six intervenants ont reçu des doses supérieures à ce niveau (la dose la plus élevée étant de 678 mSv), principalement en raison du manque d'actions de protection adéquates disponibles et par défaut de formation. L'exposition externe moyenne reçue par environ 4 000 intervenants en mars 2011 était de l'ordre de 14 mSv (ICAFN, 2011 ; TEPCO, 2012). Pour 12 des employés les plus exposés, la dose absorbée à la thyroïde était comprise entre 2 et 12 Gy (UNSCEAR, 2013). Le critère de dose réglementaire de 250 mSv a été progressivement abandonné entre novembre 2011 et l'année 2012.

B.2.5. Actions de protection relatives à la phase d'urgence

(B16) Dans le cadre de la préparation à un accident nucléaire, les décisions relatives aux actions de protection étaient fondées sur les niveaux d'exposition du public estimés à partir d'un modèle de simulation (ERSS/SPEEDI) (NAIIC, 2012). Après la déclaration dans la soirée du 11 mars 2011 de l'état d'urgence nucléaire par le gouvernement japonais, les actions de protection destinées au public ont été principalement

prises en œuvre en tenant compte des conditions réelles de la centrale et de la surveillance radiologique de l'environnement, qui avaient lieu pendant la phase d'urgence de l'accident.

B.2.5.1. Mise à l'abri

(B17) Le premier ordre de mise à l'abri a été décidé le 11 mars 2011 pour les habitants vivant dans un rayon de 3 à 10 km autour de la centrale, mise à l'abri rapidement transformée en ordre d'évacuation, le 12 mars 2011. Le 15 mars 2011, les personnes vivant dans un rayon de 20 à 30 km autour de la centrale ont reçu l'ordre de se mettre à l'abri, comme montré sur la figure B.2, en raison de nouvelles défaillances de la centrale dont des émanations de fumées à partir du réacteur n° 2, ainsi qu'une explosion et un incendie dans le réacteur n° 4.

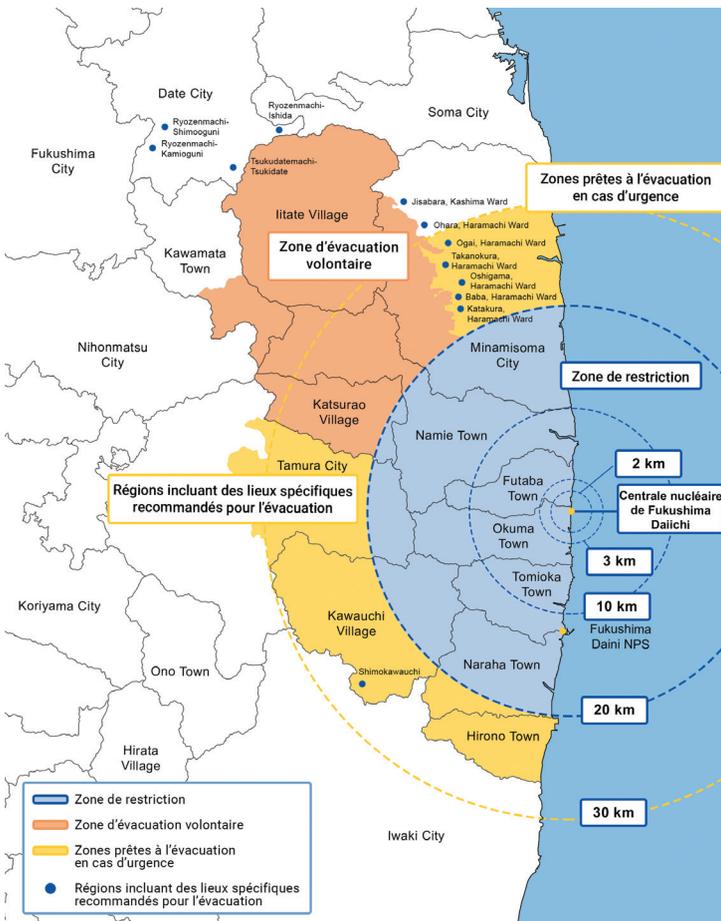


Figure B.2. Territoires et localités pour lesquels des actions de protection d'urgence ont été ordonnées en 2011 (à la date du 3 août 2011). Source : http://www.meti.go.jp/english/earthquake/nuclear/roadmap/pdf/evacuation_map_a.pdf (au 30 septembre 2020)].

(B18) Bien que la mise à l'abri ne soit en principe envisagée que pour une courte période pour réduire principalement les expositions dues à la radioactivité atmosphérique présente dans le panache, les habitants qui n'avaient pas évacué volontairement ont été priés de rester chez eux, à l'intérieur et en permanence, sur une période de 10 jours. En raison des difficultés associées à l'approvisionnement en nourriture et au maintien de conditions de vie acceptables, le gouvernement japonais a recommandé, le 25 mars 2011, l'évacuation volontaire des habitants de la zone des 20 à 30 km (NAIIC, 2012).

B.2.5.2. Évacuation

(B19) L'évacuation des personnes se trouvant à proximité de la centrale nucléaire de Fukushima Daiichi a commencé dans la soirée du 11 mars 2011, la zone d'évacuation s'étendant progressivement d'un rayon de 2 à 3 km puis 10 km autour de la centrale. Dans la soirée du 12 mars 2011, après l'explosion d'hydrogène dans le réacteur n° 1, le rayon d'évacuation a été étendu à 20 km autour de la centrale (environ 78 000 habitants), comme montré sur la [figure B.2](#). Toutes ces décisions ont été prises après avoir analysé la situation pour chaque réacteur de la centrale et le risque potentiel global pour la centrale nucléaire dans son ensemble. En outre, de nombreuses personnes ont volontairement évacué les préfectures affectées, vers différentes régions du Japon.

(B20) Le processus d'évacuation a été rendu difficile en raison des dégâts provoqués par le tremblement de terre et le tsunami et des difficultés de communication et de transport qui en ont résulté. Un grand nombre d'habitants a été contraint d'évacuer à plusieurs reprises vers des lieux différents à mesure que la zone d'évacuation s'étendait. En outre, lorsque les ordres d'évacuation ont été décidés, de nombreux habitants n'ont pas eu d'informations précises quant à la gravité de l'accident et la durée présumée de l'évacuation. D'importantes difficultés ont également été rencontrées pour évacuer les patients des hôpitaux et les personnes âgées des établissements de soins situés dans la zone d'évacuation des 20 km, ce qui a entraîné plus de 60 décès (NAIIC, 2012).

B.2.5.3. Iode stable

(B21) Bien que la préfecture de Fukushima ait pris des dispositions pour distribuer des comprimés d'iode stable aux municipalités immédiatement après l'accident, ni le gouvernement japonais ni le gouverneur de la préfecture de Fukushima n'ont donné d'instructions aux habitants quant au moment opportun où il aurait fallu les prendre pour que son administration soit efficace. Le 16 mars 2011, un ordre d'administration d'iode stable a été décidé pour les personnes évacuées de la zone des 20 km. Cependant, la préfecture de Fukushima n'a pas fait appliquer cet ordre car le gouvernement japonais avait déjà confirmé la fin de l'évacuation de cette zone. En raison du manque de coordination entre le gouvernement national et les administrations locales, le processus qui consiste à saturer la thyroïde par l'iode stable n'a pas été appliqué de manière uniforme (ICAFN, 2011 ; NAIIC, 2012). Cependant, alors que la préfecture de Fukushima n'a pas donné d'instructions pour la prise des comprimés d'iode, quelques municipalités l'ont fait pour leurs habitants. Une étude rétrospective conduite dans l'une de ces villes (Miharu) montre que, malgré le taux de distribution très élevé (94,9 %) de comprimés, le taux de prise par les enfants n'a été que de 63,5 % parce que les mères s'inquiétaient d'éventuels effets secondaires associés à leur administration (Nishikawa *et al.*, 2018).

B.2.5.4. Décontamination des personnes

(B22) Des enquêtes de dépistage ont été conduites dans les territoires affectés de la préfecture de Fukushima pour analyser la contamination corporelle externe des habitants. Le niveau de dépistage initial utilisé juste après l'accident était de 13 000 coups par minute (cpm). Toutefois, le 20 mars 2011, la Commission de sûreté nucléaire a recommandé que ce niveau soit porté à 100 000 cpm sur la base du critère de $1 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ recommandé par l'AIEA. Pour la majorité des 200 000 personnes ayant fait l'objet de l'enquête, le niveau de contamination était inférieur à 100 000 cpm. Il a été signalé que la centaine de personnes ayant dépassé ce seuil a dû subir une décontamination du corps entier (ICAFN, 2011).

B.2.5.5. Restrictions de précaution relatives aux denrées alimentaires

(B23) Le gouvernement japonais a commencé à émettre des restrictions sur la distribution et la consommation de denrées alimentaires spécifiques et d'eau potable lorsque des concentrations élevées de radionucléides ont été détectées dans des échantillons d'eau du robinet, de lait et de légumes à feuilles au-delà de la zone des 20 km. À cette fin, les critères du guide réglementaire de la commission de sûreté nucléaire ont été adoptés, le 21 mars 2011, comme valeurs réglementaires provisoires par le ministère de la santé, du travail et des affaires sociales. En avril 2011, le gouvernement japonais a élaboré un plan pour organiser la distribution de nourriture aux populations affectées, qui a également fourni des lignes directrices sur la façon de fixer et de lever les restrictions en matière de nourriture et d'eau potable (NERHQ, 2011a).

B.2.5.6. Relogement et écoles

(B24) Le 22 avril 2011, le territoire situé à l'extérieur du rayon de 20 km où la dose projetée estimée pour la première année suivant l'accident pouvait atteindre 20 mSv a été désigné comme « zone d'évacuation volontaire ». Le gouvernement japonais a émis un ordre selon lequel le relogement des personnes venant de cette zone devait être mis en œuvre sur une période d'environ un mois. Le critère de relogement a été choisi par le gouvernement japonais en considérant l'intervalle de 20 à 100 mSv par an recommandé par la CIPR pour les niveaux de référence dans les situations d'exposition d'urgence. Au-delà de la zone d'évacuation volontaire, les territoires concernés par une mise à l'abri dans un rayon de 20 à 30 km autour de la centrale ont été désignés comme « zones prêtes à l'évacuation en cas d'urgence » et la zone d'évacuation existante de 20 km a été définie en tant que « zone de restriction », assortie d'un contrôle des entrées (NERHQ, 2011a).

(B25) En même temps, à la fin des vacances scolaires, le gouvernement japonais a dû prendre des décisions concernant la réouverture des écoles situées en dehors de la zone d'évacuation, où des niveaux élevés de rayonnement avaient été détectés dans les cours d'école. Le 19 avril 2011, le gouvernement japonais a décidé de restreindre les activités extérieures des enfants lorsque le débit de dose mesuré dans les cours d'école pouvait dépasser $3,8 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$, ce qui correspond à une dose annuelle estimée à 20 mSv. Ce critère a été choisi en considérant l'intervalle de 1 à 20 mSv par an recommandé par la CIPR pour les niveaux de référence pour gérer les situations

d'exposition existante. Le public a vivement protesté, affirmant que le critère adopté pour garantir la sécurité des enfants était le même que celui choisi pour la zone d'évacuation volontaire. En mai 2011, le gouvernement japonais a adressé une notification à la préfecture de Fukushima pour réduire la dose à 1 mSv par an sur la période d'avril 2011 à mars 2012, pour les enfants scolarisés, ce qui était l'objectif à long terme recommandé dans la *Publication 111* (ICRP, 2009). Les autorités nationales ont proposé une aide financière pour la décontamination des écoles dans lesquelles les mesures des débits de dose étaient supérieures à $1 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ (ICAFN, 2011 ; NAIIC, 2012).

B.2.6. Actions de protection relatives à la phase intermédiaire

B.2.6.1. Évacuation de lieux spécifiques présentant un niveau d'exposition élevé

(B26) Les résultats de la surveillance à l'extérieur de la zone de restriction et de la zone d'évacuation volontaire ont permis d'identifier des lieux spécifiques où l'exposition estimée des habitants pouvait être supérieure à 20 mSv dans l'année qui a suivi l'accident. En juin 2011, le gouvernement japonais a désigné ces endroits comme des « lieux spécifiques où l'évacuation est recommandée » et plusieurs maisons ont été identifiées comme tels en novembre 2011. Le gouvernement japonais a fourni des informations pour alerter les habitants affectés quant aux niveaux d'exposition aux rayonnements et les a aidés lorsqu'ils souhaitaient être évacués (ICAFN, 2011 ; NERHQ, 2011b).

B.2.6.2. Levée de l'évacuation dans les zones prêtes à l'évacuation en cas d'urgence

(B27) En août 2011, le gouvernement japonais a préparé l'examen des zones d'évacuation en tenant compte de la sûreté des réacteurs endommagés de la centrale nucléaire, de la diminution du débit de dose de rayonnement dans l'air et de la restauration des services publics et des infrastructures. Sur la base des activités de surveillance conduites dans les territoires affectés et des diverses actions mises en œuvre par les municipalités, le gouvernement japonais a conclu que toutes les conditions permettant de mettre fin aux zones prêtes à l'évacuation en cas d'urgence étaient réunies. Après consultation entre le gouvernement japonais et les municipalités, une directive a été émise pour que les ordres d'évacuation de ces territoires soient levés le 30 septembre 2011 (ICAFN, 2011).

B.2.6.3. Évacuation des animaux de compagnie et du cheptel

(B28) De nombreux animaux de compagnie et cheptels ont été abandonnés lors de l'évacuation des populations. L'accès temporaire de courte durée qui était autorisé dans la zone de restriction à partir de mai 2011 a permis d'évacuer les animaux domestiques restés sur place. L'évacuation des animaux de compagnie s'est poursuivie sur une longue période, avec le soutien de diverses organisations (MOE, 2012). La majeure partie du bétail des territoires affectés a également été évacuée,

à l'exception de celui qui était dans la zone de restriction, où le cheptel a dû être abandonné pour donner suite à une décision du gouvernement japonais en mai 2011 (MAFF, 2011). Ces animaux ont été abattus avec l'autorisation des propriétaires.

(B29) En 2013, le ministère de l'environnement a élaboré la directive pour le sauvetage des animaux de compagnie en cas de catastrophe. Cette directive aide les gouvernements locaux à prendre des dispositions et à établir des règles régies par le principe selon lequel les animaux de compagnie devraient être évacués avec leurs propriétaires en cas de catastrophe, y compris d'accident nucléaire.

B.2.6.4. Gestion des déchets

(B30) Après l'accident, les déchets contaminés provenant de l'extérieur du site ont été classés, soit comme débris du tremblement de terre et du tsunami, soit comme sous-produits de la mise en œuvre d'actions de protection, y compris d'activités d'assainissement. Avant l'accident, il n'existait aucune loi pour réglementer la gestion des déchets contaminés par des matières radioactives dans les zones publiques. Par conséquent, le gouvernement japonais a défini des critères spécifiques pour le traitement et l'élimination de ces déchets, en consultation avec d'autres organisations compétentes.

(B31) La loi sur les mesures spéciales concernant le traitement de la pollution de l'environnement par des matières radioactives a été publiée en août 2011 et est entrée pleinement en vigueur à partir de janvier 2012 (MOE, 2011). Cette loi est devenue le principal instrument juridique applicable à toutes les activités d'assainissement dans les territoires affectés et aux déchets radioactifs associés. Elle décrit la gestion des territoires contaminés et attribue des responsabilités aux gouvernements nationaux et locaux, à l'exploitant et au public. Elle formalise également les mesures de décontamination, ainsi que la désignation, le traitement, l'entreposage et le stockage des sols et des déchets contaminés par des matières radioactives.

B.2.6.5. Programme de décontamination

(B32) La décontamination étant une question urgente, le gouvernement japonais a établi en août 2011 une politique de base pour les travaux de décontamination, avec des objectifs et des principes de travail spécifiques pour leur mise en œuvre. Il souhaitait exécuter un programme de décontamination rapide afin de réduire progressivement les territoires dans lesquels la dose de rayonnement ajoutée (due à l'accident) était supérieure à 20 mSv par an. Dans les territoires où cette dose additionnelle annuelle était estimée inférieure à 20 mSv, le gouvernement souhaitait travailler avec les municipalités et les habitants locaux avec comme objectif à long terme de mettre en œuvre des travaux de décontamination, de sorte que la dose ajoutée soit réduite à 1 mSv par an au maximum (NERHQ, 2011b).

(B33) Compte tenu de la décroissance radioactive et des effets de l'érosion, l'objectif du processus de décontamination dans les territoires affectés était de réduire la dose de rayonnement annuelle ajoutée d'environ 50 % pour le grand public et d'environ 60 % pour les enfants au cours des deux prochaines années. L'objectif à long terme a été fixé pour réduire la dose annuelle ajoutée à 1 mSv par an ou moins, conformément aux recommandations de la CIPR pour la protection des personnes

vivant dans des territoires contaminés à long terme après un accident nucléaire (ICRP, 2009). Pour guider les travaux de décontamination, le gouvernement japonais a adopté le critère de débit de dose de $0,23 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$, incluant le bruit de fond dû à la radioactivité naturelle (NERHQ, 2011b ; IAEA, 2015b).

B.2.7. L'Initiative de Dialogue de la CIPR à Fukushima

(B34) Vers la fin de l'année 2011, la situation des personnes affectées, particulièrement celle des personnes évacuées qui ne pouvaient pas rentrer chez elles, restait précaire malgré les actions de protection déployées par les autorités nationales et locales. Les préoccupations persistantes concernant l'exposition aux rayonnements, combinées aux difficultés de la vie quotidienne, avaient fortement dégradé le bien-être des individus et la qualité de vie des communautés affectées. Dans ce contexte, la CIPR a pris l'initiative en novembre 2011 d'engager une série de dialogues entre des représentants des autorités nationales et des autorités de la préfecture de Fukushima, des professionnels locaux, les communautés affectées, des médias, ainsi que des représentants biélorusses et norvégiens ayant une expérience directe de la gestion à long terme des conséquences de l'accident de Tchernobyl (voir la figure B.3). L'objectif était de faciliter les discussions entre les parties prenantes et de partager l'expérience des communautés affectées par l'accident de Tchernobyl, en particulier celles de la Biélorussie, avec la population japonaise. Ce faisant, l'espoir était de trouver des pistes pour relever les défis posés par la réhabilitation à long terme des conditions de vie dans les territoires impactés par l'accident nucléaire de Fukushima. Pour la CIPR, c'était aussi l'occasion d'apprendre directement de l'expérience japonaise afin d'améliorer les recommandations futures de la CIPR.



Figure B.3. Deuxième dialogue de Fukushima en février 2012 à Date (Préfecture de Fukushima).

(B35) À la fin de l'année 2019, plus de 20 réunions avaient été organisées dans le cadre de ces dialogues en différents lieux de la préfecture de Fukushima avec le soutien des parties prenantes locales. Ces dialogues ont permis d'aborder des sujets difficiles comme le traitement des denrées alimentaires contaminées, l'éducation des enfants, la question de savoir s'il faut rester ou retourner dans les territoires affectés, le rôle des mesures, etc. Ils ont également permis d'aborder les défis liés à la réhabilitation des conditions de vie dans de nombreuses municipalités. Des résultats concrets ont ainsi été obtenus, comme le fait de réunir des enseignants en vue d'analyser les méthodes et les outils pédagogiques associés aux questionnements radiologiques. Même les politiques d'achat et de commercialisation d'un grand distributeur alimentaire national ont été changées (Kotoba, 2015 ; ICRP, 2016 ; Lochar et al., 2020).

(B36) De nombreuses réunions à plus petite échelle ont été organisées dans la région de Fukushima à la suite de ces dialogues. En outre, des visites d'échange ont été organisées entre des personnes affectées du Japon, de Biélorussie et de Norvège, qui leur ont permis de partager directement leurs expériences et de faire le point sur les défis à long terme de la réhabilitation des conditions de vie dans les territoires affectés. Enfin, le Dialogue de Fukushima a favorisé les processus de co-expertise dans plusieurs communautés, ce qui a encouragé le développement d'une culture pratique de radioprotection et la mise en œuvre d'actions d'autoprotection par de nombreux habitants locaux (voir la [section 3.5](#)).

B.3. Phase de long terme

(B37) La phase de long terme sur site peut être considérée comme ayant débuté le 16 décembre 2011, lorsque le gouvernement japonais a annoncé « le rétablissement du contrôle et l'atteinte de l'état d'arrêt à froid des réacteurs n° 1 à 3 », ce qui signifie que la source de rayonnement était considérée comme suffisamment sécurisée. Cependant, cela n'a pas été confirmé par un document juridique.

(B38) Le 26 décembre 2011, le gouvernement japonais a lancé un processus de contrôle des territoires hors site, avec la mise en œuvre d'actions de protection. Cela a conduit, en avril 2012, au réarrangement des zones de restriction et des zones ayant fait l'objet d'un ordre d'évacuation. Ceci peut être considéré comme marquant le début de la phase de long terme hors site (ICAFN, 2012).

B.3.1. Les intervenants

(B39) Conformément à la politique de base et aux lignes directrices sur les travaux de décontamination adoptées en août 2011, le gouvernement japonais a publié une notification visant à assurer la radioprotection des intervenants impliqués dans les activités de décontamination. Chaque employeur était responsable de la protection de tout intervenant contribuant aux travaux de décontamination. Pour l'essentiel, les exigences relatives à l'exposition professionnelle dans des conditions de fonctionnement normal ont été appliquées à tous les intervenants engagés dans des travaux de décontamination, de restauration et de gestion des déchets. Les intervenants indépendants, les habitants et les volontaires qui ont effectué des travaux de décontamination dans leur région ont été invités à suivre les lignes directrices

applicables aux intervenants engagés dans des travaux de décontamination à la demande de l'autorité nationale.

B.3.2. La levée des ordres d'évacuation

(B40) Le gouvernement japonais, après consultation avec les autorités locales, a élaboré un ensemble de conditions pour la levée des ordres d'évacuation. Cela a permis de revoir le statut des territoires ayant fait l'objet d'ordres d'évacuation.

(B41) Les conditions applicables à la levée d'un ordre d'évacuation reposaient sur la confirmation des points suivants : (i) la dose cumulée annuelle devait être inférieure à 20 mSv ; (ii) des progrès suffisants avaient été réalisés dans la restauration des infrastructures et des services sociaux essentiels, notamment pour les enfants ; (iii) des consultations approfondies avaient eu lieu entre le gouvernement local et les habitants (NERHQ, 2011d).

(B42) Sur la base de ces conditions, trois nouvelles zones ont été déterminées :

- zone 1, zones pour lesquelles les ordres d'évacuation étaient prêts à être levés (c'est-à-dire, les zones où la dose cumulée annuelle estimée était inférieure à 20 mSv) ;
- zone 2, zones dans lesquelles les habitants n'étaient pas autorisés à vivre (c'est-à-dire, les zones où la dose cumulée annuelle estimée était supérieure à 20 mSv) ;
- zone 3, zones dans lesquelles il était prévisible qu'il serait difficile aux habitants de revenir avant longtemps (c'est-à-dire, les zones dans lesquelles la dose cumulée annuelle estimée était supérieure à 50 mSv ou les zones dans lesquelles la dose cumulée annuelle attendue pour les 5 années suivantes pouvait excéder 20 mSv).

(B43) Des consultations et des ajustements ont été réalisés au sein de la préfecture de Fukushima et des municipalités concernées. Dans un premier temps, en avril 2012, trois municipalités ont décidé d'apporter des modifications aux dispositions relatives à leurs zones. Comme le montre la [figure B.4](#), des propositions pour les zones qui avaient fait l'objet d'ordres d'évacuation ont été préparées dans les 11 municipalités affectées, en août 2013. La première levée d'un ordre d'évacuation a eu lieu dans la zone 1, en avril 2014. La levée des ordres d'évacuation a été achevée dans les zones 1 et 2, en avril 2017. Pour la zone 3, la restauration des infrastructures essentielles et les activités de décontamination ont débuté en 2018 dans certains secteurs considérés comme essentiels pour la reconstruction et la réhabilitation, dans six municipalités.

(B44) Au début de l'année 2020, le pourcentage de personnes ayant regagné leur domicile était inférieur à 30 % variant selon les municipalités de moins de 10 % à environ 80 % (préfecture de Fukushima, 2020). Ces chiffres dépendaient, en partie, du moment où l'ordre d'évacuation avait été levé. Le gouvernement japonais a fixé un objectif à long terme, pour les trois zones, de moins de 1 mSv par an pour la dose ajoutée reçue par les personnes lorsqu'elles retournent y vivre (NRA, 2013). Dans les municipalités où les ordres d'évacuation ont été levés, l'exposition externe a été estimée à environ 1 mSv par an à la fin de l'année 2019, la surveillance ayant été réalisée à l'aide de dosimètres individuels (Nomura *et al.*, 2020).

Zones ayant fait l'objet d'un ordre d'évacuation

(7 août 2013)

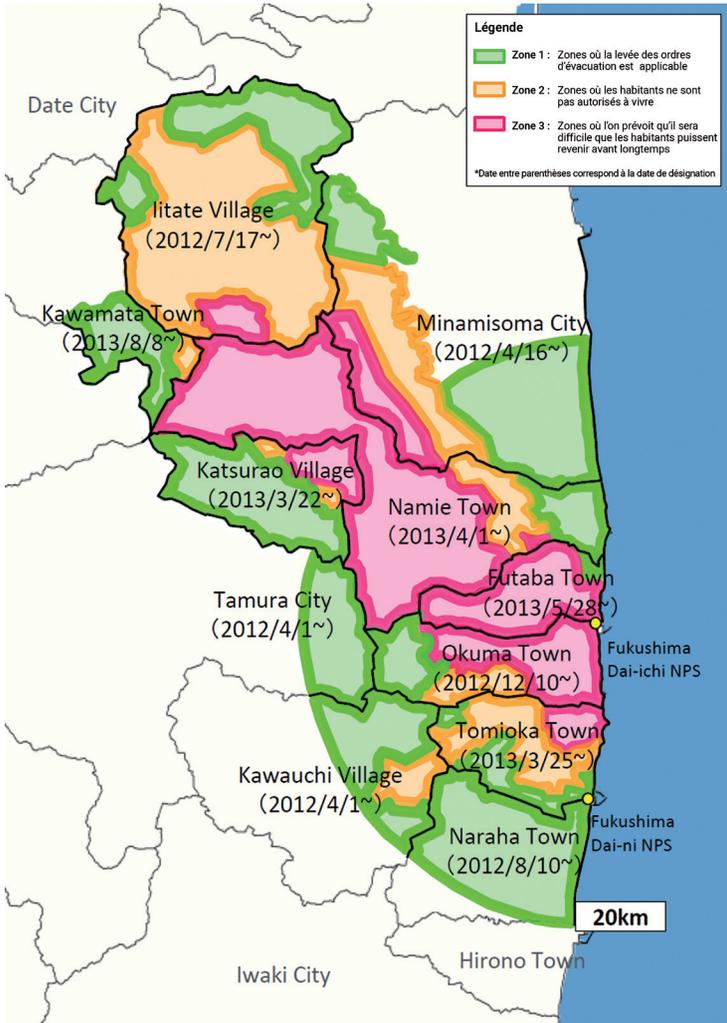


Figure B.4. Dispositions finales concernant les zones ayant fait l'objet d'ordres d'évacuation (au 7 août 2013). Source : https://www.meti.go.jp/english/earthquake/nuclear/roadmap/pdf/20130807_01.pdf (au 30 septembre 2020)].

B.3.3. Gestion des denrées alimentaires

(B45) En avril 2012, l'autorité responsable a établi de nouveaux critères radiologiques pour le césium radioactif présent dans les aliments, sur la base d'une exposition de 1 mSv par an (ICAFN, 2012 ; MHLW, 2012), remplaçant ainsi les valeurs réglementaires provisoires fixées en mars 2011.

(B46) Afin de mieux maîtriser l'exposition interne, l'autorité responsable a mis en place un vaste programme de surveillance des denrées alimentaires visant à écarter les produits dépassant les nouveaux critères radiologiques. D'après les informations fournies par le ministère de la santé, du travail et de la protection sociale, le pourcentage de produits alimentaires provenant de la région de Fukushima dépassant les critères était inférieur à 1 % en août 2014 (Merz *et al.*, 2015). Par exemple, le niveau de césium radioactif a été mesuré dans tous les sacs de riz de la préfecture de Fukushima et moins de 100 sacs sur environ 10 millions contrôlés ont dépassé le critère de 100 Bq. kg⁻¹ (Nihei *et al.*, 2015).

B.3.4. Décontamination et gestion des déchets

(B47) Conformément à la loi sur les mesures spéciales concernant le traitement de la pollution de l'environnement par des matières radioactives, des travaux de décontamination ont été déployés à grande échelle dans les territoires affectés, à partir de 2012, afin de réduire l'exposition chronique due à l'irradiation externe, qui était la voie d'exposition prédominante des personnes résidant dans ces territoires. Différents projets pilotes de travaux de décontamination ont tout d'abord été menés pour développer une expérience, des outils et des lignes directrices en vue de planifier et de mettre en œuvre des programmes de décontamination performants, sûrs et coût-efficaces.

(B48) Les travaux de décontamination ont généré un volume important de sol et de déchets contaminés. Le gouvernement japonais a décidé de les placer dans des sites d'entreposage dans les municipalités avant de les transférer dans une installation d'entreposage intermédiaire proche de la centrale nucléaire de Fukushima Daiichi. Le (ou les) site(s) de stockage définitif(s) est (sont) encore à définir. Toutefois, lorsqu'il était difficile de trouver un accord pour choisir des sites d'entreposage, certains déchets contaminés ont été provisoirement entreposés dans des conteneurs souples à proximité des lieux de décontamination. En 2016, les autorités nationales ont élaboré une « Stratégie de développement des technologies de réduction des volumes et de recyclage » pour permettre, autant que possible, de réduire le volume des déchets destinés au stockage définitif (MOE, 2018).

B.3.5. Processus de co-expertise et actions d'autoprotection

(B49) En plus des actions de protection mises en œuvre par les autorités, des processus de co-expertise adoptés dans plusieurs communautés ont favorisé le développement d'actions d'autoprotection. Inspirés du Dialogue de la CIPR ou développés indépendamment, ces processus de co-expertise ont été engagés par différentes parties prenantes en fonction de la situation locale : maires, habitants, professionnels de santé, universitaires, etc. (ICRP, 2016). Certains de ces processus menés par des populations locales, aidées par des experts bénévoles, sont restés informels, alors que d'autres ont donné lieu à une coopération formelle entre les autorités locales et des organisations d'experts ou des universités (Ando, 2016 ; Naito *et al.*, 2017 ; Takamura *et al.*, 2018 ; Yasutaka *et al.*, 2020).

(B50) L'expérience tirée de ces processus de co-expertise a montré le rôle essentiel du dialogue régulier entre les experts et les populations affectées. Menés en groupe ou en face-à-face, ces dialogues ont permis aux personnes concernées d'exprimer

leurs préoccupations vis-à-vis des risques sanitaires radio-induits, de l'avenir de leur emploi, de l'impact de l'accident sur la structure et la cohésion familiales, de l'accès à la forêt, des travaux de décontamination et de la gestion des déchets associés, etc. Pour les experts, les dialogues ont été l'occasion de réfléchir aux problèmes rencontrés par les communautés affectées tout en leur permettant de partager leurs connaissances et leur expérience (voir la figure B.5) (Miyazaki, 2017). Ces dialogues, reposant sur l'écoute et l'empathie, ont progressivement favorisé le retour de la confiance des populations envers les experts et les autorités (Ethos in Fukushima, 2019).



Figure B.5. Dialogue entre des experts et des villageois.

(B51) Les processus de co-expertise ont favorisé l'implication directe des personnes affectées dans la caractérisation de leur situation radiologique, afin de comprendre où, quand et comment elles étaient exposées. La mise à disposition d'équipements adéquats et faciles à utiliser pour mesurer les débits de dose ambiants, l'exposition externe et la contamination des denrées alimentaires au cours des années qui ont suivi l'accident, a grandement facilité cette implication (Naito *et al.*, 2015 ; Brown *et al.*, 2016). Des progrès ont également été réalisés pour un accès plus facile à la surveillance de l'exposition interne. Le partage des mesures d'exposition individuelle et leur interprétation, avec le soutien d'experts, ont permis de développer progressivement une culture pratique de radioprotection au sein des parties prenantes engagées dans les processus de co-expertise (Tsubokura *et al.*, 2020).

(B52) Le développement de cette culture pratique de radioprotection a non seulement conduit de nombreuses populations affectées à mettre en œuvre des actions d'autoprotection, pour elles-mêmes et pour leurs proches, mais cela a également favorisé la mise en œuvre de diverses actions collectives de protection, avec le soutien d'experts de la communauté locale. Ces diverses actions pouvaient aller de la surveillance radiologique des déchets de décontamination entreposés à la collecte de champignons pour déterminer leur qualité radiologique (Orita *et al.*, 2017 ; Lochard *et al.*, 2020).

(B53) Les processus de co-expertise mis en œuvre dans les territoires affectés de Fukushima ont également stimulé le développement de projets locaux favorisant la réhabilitation des communautés concernées. Engagés par des entrepreneurs privés ou des autorités locales, ces projets ont bénéficié du soutien scientifique d'experts en radioprotection ou d'universitaires, et également du soutien financier des autorités nationales. Cependant, malgré plusieurs résultats positifs, la diffusion du processus de co-expertise dans les territoires affectés de Fukushima reste limitée.

B.3.6. Surveillance sanitaire de la population générale

(B54) Dans le cadre de l'enquête sur la gestion sanitaire de l'accident de Fukushima, quatre campagnes d'échographie de la thyroïde ont été entreprises. En juin 2019, plus de 220 cas de cancer de la thyroïde avaient été recensés sur une population d'environ 300 000 personnes (UFA, 2019). Cette fréquence des cas de cancer de la thyroïde chez les enfants est clairement plus élevée qu'attendue lors d'un tel recensement. Cette observation est probablement due au dépistage systématique par échographie et nécessite davantage d'études (Ohtsuru *et al.*, 2019). En outre, le dépistage chez les enfants a soulevé plusieurs questions éthiques (Midorikawa et Ohtsuru, 2020).

(B55) Les bilans de santé complets des personnes, à la fois dans et en dehors des zones d'évacuation, incluant les examens de santé classiques et le dépistage du cancer, ont révélé une augmentation des facteurs de risque pour les maladies cardiovasculaires (UFA, 2019).

(B56) L'enquête sur la santé mentale et le mode de vie a révélé que, malgré une réduction du nombre de personnes considérées comme souffrant depuis l'accident de troubles affectifs ou d'anxiété telle que la dépression, le pourcentage de personnes ayant besoin de soutien est toujours plus élevé que celui dans la population générale du Japon.

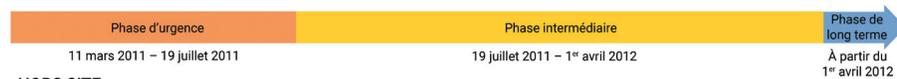
(B57) Une enquête spécifique réalisée sur l'anxiété des femmes enceintes et des mères de jeunes enfants a donné des résultats similaires. Elle a montré une incidence de bébés prématurés ou de faible poids à la naissance et des anomalies congénitales similaire à celle rapportée pour la population générale du Japon (FMU, 2019).

B.4. Les phases de la gestion de l'accident de Fukushima

SUR SITE



HORS SITE



B.5. Références

Ando, R., 2016. Measuring, discussing, and living together: lessons from 4 years in Suetsugi. *Ann. ICRP* 45(1S), 75–83

Brown, A., Franken, P., Bonner, S., et al., 2016. Safecast: successful citizen-science for radiation measurement and communication after Fukushima. *J. Radiol. Prot.* 36: S82–S101

Ethos in Fukushima, 2019. Regaining Confidence after the Fukushima Accident, the Story of the Suetsugi Community. Ethos in Fukushima. Disponible sur : <http://ethos-fukushima.blog-spot.com/2019/03/videoregaining-confidence-after.html> (consulté pour la dernière fois le 3 septembre 2020)

FMU, 2019. Report of the Fukushima Health Management Survey. Fukushima Medical University, FY 2019. Disponible sur : https://fukushima-mimamori.jp/outline/uploads/report_r1.pdf (consulté pour la dernière fois le 3 septembre 2020)

Fukushima Prefecture, 2020. Status of evacuation instruction area, Details of 12 municipalities in evacuation areas (en japonais). Disponible sur : <https://www.pref.fukushima.lg.jp/site/portal/list271-840.html> (en japonais, consulté pour la dernière fois le 3 septembre 2020)

IAEA, 2015a. The Fukushima Daiichi Accident, Technical Volume 4/5 Radiological Consequences. International Atomic Energy Agency, Vienna

IAEA, 2015b. The Fukushima Daiichi Accident, Technical Volume 5/5 Post-accident Recovery. International Atomic Energy Agency, Vienna

ICAFN, 2011. Interim Report of Investigation Committee on the Accident at the Fukushima Nuclear Power Stations of Tokyo Electric Power Company. Cabinet Secretariat of the National Government of Japan, Tokyo

ICAFN, 2012. Final Report of Investigation Committee on the Accident at the Fukushima Nuclear Power Stations of Tokyo Electric Power Company. Cabinet Secretariat of the National Government of Japan, Tokyo

ICRP, 2009. Application of the Commission's recommendations to the protection of people living in long-term contaminated areas after a nuclear accident or a radiation emergency. *ICRP Publication* 111. *Ann. ICRP* 39(3)

ICRP, 2016. Proceedings of the International Workshop on the Fukushima Dialogue Initiative. *Ann. ICRP* 45(2S)

Ishikawa, T., Yasumura, S., Ozasa, K., et al., 2015. The Fukushima Health Management Survey: estimation of external doses to residents in Fukushima Prefecture. *Sci. Rep.* 5, 12712

Kim, E., Yajima, K., Hashimoto, S., et al., 2020. Reassessment of Internal Thyroid Doses to 1,080 Children Examined in a Screening Survey after the 2011 Fukushima Nuclear Disaster. *Health Phys.* 118, 36–52

Kotoba, 2015. Web Documentary. Disponible sur : <http://www.fukushima-dialogues.com> (consulté pour la dernière fois le 3 septembre 2020)

Lochard, J., Ando, R., Takagi, H., *et al.*, 2020. The post-nuclear accident co-expertise experience of the Suetsugi community in Fukushima Prefecture. *Radioprotection* 55(3), 225–2

MAFF, 2011. Regarding Disposition of Livestock Animals with Mercy Killing in the Area of the No-entry Zone in the Consequence of the Accident at the Fukushima Daiichi Nuclear Power Station of Tokyo Electric Power Company (as of May 12). Press release. Disponible sur : https://web.archive.org/web/20110522194417/http://www.maff.go.jp/e/quake/press_110517-2.html

Merz, S., Shozugawa, K., Steinhauer, G., 2015. Analysis of Japanese Radionuclide Monitoring Data of Food before and after the Fukushima Nuclear Accident. *Environ. Sci.* 49, 2875

Midorikawa, S., Ohtsuru, A., 2020. Disaster-zone research: make participation voluntary. *Nature* 579, 193

MHLW, 2012. New Standard Limits for Radionuclides in Foods. Ministry of Health, Labour and Welfare, Tokyo. Disponible sur : http://www.mhlw.go.jp/english/topics/2011eq/dl/new_standard.pdf (consulté pour la dernière fois le 3 septembre 2020)

Miyazaki, M., 2017. Using and Explaining Individual Dosimetry Data. *Asia Pac. J. Publ. Health* 29, Issue 2, 110S–119S

MOE, 2011. Act on Special Measures Concerning the Handling of Environmental Pollution by Radioactive Materials Discharged by the Nuclear Power Station Accident Associated with the Tohoku District – Off the Pacific Ocean Earthquake that Occurred on March 11, 2011. Act No. 110. Ministry of the Environment, Tokyo. Disponible sur : http://josen.env.go.jp/en/policy_document/pdf/special_act.pdf?20130118 (consulté pour la dernière fois le 3 septembre 2020)

MOE, 2012. Press release. Ministry of the Environment, Tokyo. Disponible sur : <http://www.env.go.jp/press/press.php?serial%16026> (consulté pour la dernière fois le 3 septembre 2020)

MOE, 2018. Decontamination Projects for Radioactive Contamination Discharged by Tokyo Electric Power Company Fukushima Daiichi Nuclear Power Station Accident. Ministry of the Environment, Tokyo. Disponible sur : http://josen.env.go.jp/en/policy_document/ (consulté pour la dernière fois le 3 septembre 2020)

Momose, T., Takada, C., Nakgawa, T., *et al.*, 2012. Whole-body Counting of Fukushima Residents After the TEPCO Fukushima Daiichi Nuclear Power Station Accident, Reconstruction of Early Internal Dose in the TEPCO Fukushima Daiichi Nuclear Power Station Accident (Proc. 1st NIRS Symp.). National Institute of Radiological Sciences, Chiba, pp. 67–82

NAIIC, 2012. The Official Report of the Fukushima Nuclear Accident Independent

Investigation Commission, the National Diet of Japan. Nuclear Accident Independent Investigation Commission, Tokyo

Naito, W., Uesaka, M., Yamada, C., *et al.*, 2015. Evaluation of dose from external irradiation for individuals living in areas affected by the Fukushima Daiichi nuclear power plant. *Radiat. Prot. Dosimetry* 163, Issue 3, 353–361

Naito, W., Uesaka, M., Kurosawa, T., *et al.*, 2017. Measuring and assessing individual external doses during the rehabilitation phase in Iitate village after the Fukushima Daiichi nuclear power plant accident. *J. Radiol. Prot.* 37, Issue°3, 606–622

Nishikawa, Y., Kohno, A., Takahashi, Y., *et al.*, 2019. Stable Iodine Distribution among Children after the 2011 Fukushima Nuclear Disaster in Japan: an Observational Study. *J. Clin. Endocrinol. Metab.* 104, 1659–1666

NERHQ, 2011a. Report of Japanese Government to IAEA Ministerial Conference on Nuclear Safety – Accident at TEPCO's Fukushima Nuclear Power Stations. Nuclear Emergency Response Headquarters, Tokyo

NERHQ, 2011b. Additional Report of Japanese Government to IAEA – the Accident at TEPCO's Fukushima Nuclear Power Stations – Second Report. Nuclear Emergency Response Headquarters, Tokyo

NERHQ, 2011c. Roadmap Towards Settlement of the Accident at Fukushima Daiichi Nuclear Power Station, TEPCO – Step 2 Completion Report. Government of Japan – TEPCO Integrated Response Office, Tokyo. Press release. Disponible sur : http://www.tepco.co.jp/en/press/corp-com/release/betu11_e/images/111216e4.pdf (consulté pour la dernière fois le 3 septembre 2020)

NERHQ, 2011d. Basic Concept and Issues to be Challenged for Rearranging the Restricted Areas and Areas to which Evacuation Orders have been Issued where Step 2 has been Completed. Nuclear Emergency Response Headquarters, Tokyo. Disponible sur : https://www.meti.go.jp/english/earthquake/nuclear/roadmap/pdf/20111226_01.pdf (consulté pour la dernière fois le 3 septembre 2020)

Nihei, N., Tanoi, K., Nakanishi, T. M., 2015. Inspections of radiocesium concentration levels in rice from Fukushima Prefecture after the Fukushima Dai-ichi nuclear power plant accident. *Sci. Rep.* 5, 8653

Nomura, S., Murakami, M., Naito, W., *et al.*, 2020. Low dose of external exposure among returnees to former evacuation areas: a cross-sectional all-municipality joint study following the 2011 Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant incident. *J. Radiol. Prot.* 40, 1–18

NRA, 2013. Practical Measures for Evacuees to Return to Their Homes. Nuclear Regulation Authority, Tokyo. Disponible sur : <https://www.nsr.go.jp/data/000067234.pdf> (consulté pour la dernière fois le 3 septembre 2020)

Ohtsuru, A., Midorikawa, S., Ohira, T., *et al.*, 2019. Incidence of Thyroid Cancer among Children and Young Adults in Fukushima, Japan, Screened with 2 Rounds of

Ultrasonography within 5 Years of the 2011 Fukushima Daiichi Nuclear Power Station Accident. *JAMA Otolaryngol. Head Neck Surg.* 145, 4–11

Orita, M., Nakashima, K., Taira, Y., *et al.*, 2017. Radiocesium concentrations in wild mushrooms after the accident at the Fukushima Daiichi Nuclear Power Station: follow-up study in Kawauchi village. *Sci. Rep.* 7, 674

Takamura, N., Orita, M., Taira, Y., *et al.*, 2018. Recovery from nuclear disaster in Fukushima: collaboration model. *Radiat. Prot. Dosimetry* 182, 49–52

Takamura, N., Orita, M., Taira, Y., *et al.*, 2019. Experiences in Communication Response: from Crisis Communication in the Initial Phase After an Accident to Risk Communication. Amazon Services International, Inc.

TEPCO, 2012. Fukushima Nuclear Accident Analysis Report. Tokyo Electric Power Company, Inc., Tokyo

Tsubokura, M., Nabeshima, Y., Murakami, M., *et al.*, 2020. Usefulness of the whole-body counter for infants and small children (BABYSCAN) as a risk communication tool after the Fukushima Daiichi nuclear power plant incident. *Proc. Jpn. Acad. Ser. B Phys. Biol. Sci.* 96, 70–78

UNSCEAR, 2013. Sources and Effects of Ionizing Radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation 2013 Report to the General Assembly with Scientific Annexes. Vol. I, Scientific Annex A. United Nations, New York

WHO, 2012. Preliminary dose estimation from the nuclear accident after the 2011 Great East Japan earthquake and tsunami. World Health Organization, Geneva

Yasutaka, T., Kanai, Y., Kurihara, M., *et al.*, 2020. Dialogue, radiation measurements and other collaborative practices by experts and residents in the former evacuation areas of Fukushima: a case study in Yamakiya District, Kawamata Town. *Radioprotection* 55(3), 215–224

Glossaire

Action de protection

Action prise dans des situations d'expositions pour réduire ou prévenir l'exposition. L'action peut être appliquée à la source, à certains points de la voie d'exposition ou de manière ponctuelle en modifiant le lieu, les habitudes ou les conditions de travail des personnes exposées.

Approche graduée

Approche recommandée pour la mise en œuvre du système de protection de manière proportionnelle à l'ampleur et à la probabilité du risque, ainsi qu'à la complexité de la situation d'exposition et des circonstances qui prévalent.

Assainissement

Processus de réduction de l'exposition aux rayonnements due à la contamination au moyen d'actions visant à éliminer la contamination elle-même (décontamination) ou à agir sur les voies d'exposition.

Autoprotection

Actions adoptées par des personnes informées pour se protéger elles-mêmes, ainsi que leur famille et leur communauté.

Co-expertise

Processus de coopération entre des experts et des acteurs locaux visant à exploiter les connaissances locales et l'expertise scientifique pour comprendre la situation radiologique et développer des actions par eux-mêmes ou par d'autres pour améliorer les conditions de vie.

Contamination

Présence de niveaux indésirables de matières radioactives sur ou dans des structures, des territoires, des objets, des biotes ou des personnes.

Critères radiologiques

Valeurs quantitatives destinées à la mise en œuvre pratique du système de radioprotection. Elles sont exprimées en termes de dose ou de quantités dérivées. Ce terme générique est utilisé dans différents contextes et s'applique aussi bien dans toutes les situations d'exposition.

Culture pratique de radioprotection

Connaissances et savoir-faire permettant aux citoyens de faire des choix éclairés et de se comporter de manière avisée dans des situations impliquant des expositions potentielles ou réelles aux rayonnements ionisants.

Décontamination

Élimination totale ou partielle d'une contamination par un processus physique, chimique ou biologique déterminé.

Détriment radiologique

Préjudice global pour la santé subi par un groupe de personnes exposées et par leurs descendants à la suite d'une exposition spécifique aux rayonnements.

Dose projetée

Dose que les individus sont présumés recevoir en l'absence d'actions de protection.

Dose résiduelle

Dose reçue ou présumée reçue par une personne à partir d'une source déterminée. Elle peut être estimée ou mesurée, après avoir pris en compte toutes les actions de protection appliquées à la source, à la voie d'exposition ou à la personne. La dose résiduelle s'applique dans des situations d'exposition d'urgence ou existantes.

Droit de savoir

Droit des personnes à être informées des dangers auxquels elles sont exposées et comment s'en protéger.

Exposition professionnelle

Exposition aux rayonnements survenue sur le lieu de travail résultant de situations que l'on peut raisonnablement considérer comme relevant de la responsabilité de la direction opérationnelle.

Implication des parties prenantes

Participation de toutes les parties concernées à des processus de prise de décisions portant sur la radioprotection, également dénommée « engagement des parties prenantes ».

Niveau de référence

Critère de dose utilisé pour guider le processus d'optimisation dans les situations d'exposition existante et d'urgence. La valeur du niveau de référence, généralement exprimée en termes de dose individuelle annuelle (mSv par an), devrait être sélectionnée en tenant compte de la dimension temporelle, de la distribution de la dose individuelle des personnes affectées et de la tolérabilité du risque dans des circonstances particulières. L'un de ses objectifs est de faciliter l'identification des personnes pour lesquelles les efforts de protection devraient être prioritaires.

Parties prenantes

Personnes, groupes ou organisations qui ont un intérêt ou une préoccupation vis-à-vis d'une question.

Principe de justification

Les décisions qui modifient (c'est-à-dire, qui introduisent, réduisent ou suppriment) la situation d'exposition aux rayonnements devraient, globalement, faire plus de bien que de mal. Cela signifie qu'en introduisant une nouvelle source de rayonnement, ou en réduisant les expositions existantes ou d'urgence, les bénéfices individuels ou sociétaux obtenus devraient compenser tout dommage, y compris le détriment causé par les rayonnements aux personnes et à l'environnement.

Principe d'optimisation

La probabilité de subir des expositions et l'importance des doses individuelles devraient être maintenues à un niveau aussi bas que raisonnablement possible, compte tenu des facteurs sociétaux, économiques et environnementaux. Afin d'éviter des iniquités dans la distribution des doses il faut considérer le nombre de personnes exposées et les restrictions concernant les doses individuelles.

Réhabilitation

Processus de remédiation et de récupération permettant de retrouver, dans la mesure du possible, des conditions de vie et de travail décentes.

Réhabilitation des conditions de vie

Processus visant à garantir des conditions durables et décentes aux personnes vivant dans des territoires contaminés à long terme.

Situation d'exposition d'urgence

Situation d'exposition résultant d'une perte de contrôle ou d'un mauvais usage intentionnel d'une source, qui requiert des actions urgentes et en temps opportun afin d'éviter ou d'atténuer l'exposition.

Situation d'exposition existante

Les situations d'exposition existantes sont celles provenant de sources qui existent déjà lorsqu'une décision est adoptée pour maîtriser l'exposition résultante. Il s'agit de sources naturelles (rayonnement cosmique, radon et substances radioactives d'origine naturelle) et de sources artificielles (exposition à long terme résultant de pratiques antérieures, d'accidents ou d'événements radiologiques). La caractérisation des expositions est une condition préalable à leur maîtrise.

Situation d'exposition planifiée

Situation d'exposition résultant de l'introduction et de l'exploitation délibérées de sources de rayonnement utilisées pour leurs propriétés radioactives. Dans ce type de situation, l'utilisation de la source est maîtrisée et, à ce titre, les expositions peuvent être anticipées et maîtrisées dès le début.

Stratégie de protection

Ensemble des actions de protection combinées mises en œuvre pour une situation d'exposition donnée et qui tient compte des circonstances qui prévalent, afin de maintenir ou de réduire l'exposition à un niveau aussi bas que raisonnablement possible.

Surveillance sanitaire

Collecte, analyse et interprétation continues et systématiques des données sanitaires nécessaires à la détection précoce des effets sur la santé, ainsi qu'à la gestion et au traitement des personnes affectées.

Voie d'exposition

Voie par laquelle les rayonnements ou les radionucléides peuvent atteindre le biote humain et non humain, et provoquer une exposition.

Remerciements

Les membres du Groupe de travail 93 (TG93 selon son sigle en anglais) souhaitent exprimer leurs remerciements à Ralph Andersen, Marcel Lips et Miroslav Pinak, qui leur ont fourni des commentaires précieux lors de la préparation de cette publication. Ils souhaitent également remercier Ryoko Ando, Aya Goto, Takahiro Hanzawa, Ryugo Hayano, Kuni Kanno, Yujiro Kuroda, Makoto Miyazaki, Junichiro Tada et Masaharu Tsubokura qui, en tant que participants réguliers au Dialogue de Fukushima mis en place par la CIPR, ont rencontré les membres du TG93 à plusieurs reprises pour partager leurs points de vue et proposer leurs suggestions.

De nombreuses autres organisations et personnes (il y en a eu plus de 300 !) ont fait part de leurs commentaires lors du processus de consultation publique organisé par la Commission. Ils ont permis d'améliorer significativement de nombreux chapitres de cette publication. En outre, tout au long de son travail, le TG93 a bénéficié des contributions de tous ceux qui ont participé au Dialogue de Fukushima, et de celles de nombreux experts qui ont assisté aux réunions organisées en collaboration avec des organisations japonaises. La contribution de toutes ces organisations et personnes est vivement appréciée.

Les membres du TG93 souhaitent adresser leurs vifs remerciements à Christopher Clement, qui a participé à de nombreuses réunions organisées pendant la préparation de la publication et qui a largement contribué à l'élaboration des recommandations présentées.

Enfin, les membres du TG93 souhaitent remercier leurs collègues de la CIPR, Ohtsura Niwa et Nobohiko Ban, qui ont grandement facilité les interactions avec les parties prenantes japonaises, ainsi que Michiya Sasaki, Nobuyuki Hamada, Haruyuki Ogino et Hiroki Fujita, qui les ont assistés sans relâche et sans interruption au fil des ans.

Membres du Groupe de travail TG93 (2013–2020)

M. Kai (Président)	T. Lazo	A. Nisbet
T. Homma (Vice-président)	J-F. Lecomte	M. Pinak
R. Andersen	M. Lips	T. Schneider
V. Averin	J. Lochard	S. Shinkarev

Membres de la Commission principale lors de l'approbation de la présente publication

Président : C. Cousins, Royaume-Uni

Vice-président : J. Lochard, France

Secrétaire scientifique : C.H. Clement, Canada ; sci.sec@icrp.org[†]

K. E. Applegate, États-Unis

Membres émérites

S. Bouffler, Royaume-Uni

R. H. Clarke, Royaume-Uni

K. W. Cho, Corée

F. A. Mettler Jr, États-Unis

D. A. Cool, États-Unis

R. J. Pentreath, Royaume-Uni

J. D. Harrison, Royaume-Uni

R. J. Preston, États-Unis

M. Kai, Japon

C. Streffer, Allemagne

C-M. Larsson, Australie

E. Vañó, Espagne

D. Laurier, France

S. Liu, Chine

S. Romanov, Russie

W. Rühm, Allemagne

[†] Bien que n'étant plus officiellement membre depuis 1988, le secrétaire scientifique fait partie intégrante de la Commission principale.

PUBLICATION 146 DE LA CIPR

PROTECTION RADIOLOGIQUE DES PERSONNES ET DE L'ENVIRONNEMENT EN CAS D'ACCIDENT NUCLÉAIRE MAJEUR

Créée en 1928 à la demande des médecins radiologues, la Commission internationale de protection radiologique (CIPR/ICRP) publie des recommandations concernant l'ensemble des situations auxquelles l'homme peut être confronté lorsqu'il est soumis aux rayonnements ionisants, qu'ils soient d'origine naturelle ou artificielle.

La présente publication remplace et constitue une mise à jour de deux publications antérieures, les *Publications 109 et 111*, dont les recommandations, consacrées à la radioprotection des personnes, sont applicables quelle que soit l'ampleur de l'accident. Ces recommandations (*Publication 146*) apportent un éclairage sur la transition entre les trois phases d'un accident nucléaire majeur : d'urgence, intermédiaire et de long terme. Elles s'appuient, à la lumière des leçons tirées de l'accident de Tchernobyl, sur près d'une décennie de travaux de la Commission combinée au recueil d'informations tirées de l'expérience d'experts et de citoyens directement impactés par l'accident de Fukushima à travers une série de dialogues. Ces dialogues, que l'on a appelés par la suite l'« Initiative de Dialogue », initialement organisés par la CIPR puis sous la responsabilité d'acteurs locaux ont permis de formuler puis de répondre aux besoins des personnes confrontées aux défis tant radiologiques que techniques, psychologiques, démographiques, socio-économiques et éthiques associés à la réhabilitation des territoires affectés et de concourir au développement de la culture pratique de la radioprotection au sein des populations affectées.



IRSN
INSTITUT DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

31, avenue de la Division Leclerc
92260 Fontenay-aux-Roses
RCS Nanterre b 440 546 018

COURRIER
B.P. 17 - 92262 Fontenay-aux-
Roses Cedex

TÉLÉPHONE
+33 (0)1 58 35 88 88
SITE INTERNET
www.irsn.fr
E-MAIL
contact@irsn.fr
@irsn france