

Collection Rapports de Sûreté

N° 21

**L'optimisation de
la radioprotection dans
le cadre de la maîtrise de
l'exposition professionnelle**



IAEA

Agence internationale de l'énergie atomique

PUBLICATIONS DE L'AIEA CONCERNANT LA SÛRETÉ

NORMES DE SÛRETÉ

En vertu de l'article III de son Statut, l'AIEA a pour attributions d'établir des normes de sûreté pour la protection contre les rayonnements ionisants et de prendre des dispositions pour l'application de ces normes aux activités nucléaires pacifiques.

Les publications concernant la réglementation par lesquelles l'AIEA établit des normes et des mesures de sûreté paraissent dans la **collection Normes de sûreté de l'AIEA**. Cette collection couvre la sûreté nucléaire, la sûreté radiologique, la sûreté du transport et la sûreté des déchets, ainsi que la sûreté générale (c'est-à-dire intéressant plusieurs de ces quatre domaines), et comporte les catégories suivantes: **fondements de sûreté, prescriptions de sûreté et guides de sûreté**.

Les **fondements de sûreté** (lettrage bleu) présentent les objectifs, les notions et les principes fondamentaux de sûreté et de protection pour le développement et l'application de l'énergie nucléaire à des fins pacifiques.

Les **prescriptions de sûreté** (lettrage rouge) établissent les prescriptions qui doivent être respectées pour assurer la sûreté. Ces prescriptions, énoncées au présent de l'indicatif, sont régies par les objectifs et les principes présentés dans les fondements de sûreté.

Les **guides de sûreté** (lettrage vert) recommandent les mesures, conditions ou procédures permettant de respecter les prescriptions de sûreté. Les recommandations qu'ils contiennent sont énoncées au conditionnel pour indiquer qu'il est nécessaire de prendre les mesures recommandées ou des mesures équivalentes pour respecter les prescriptions.

Les normes de sûreté de l'AIEA n'ont pas force obligatoire pour les États Membres, mais ceux-ci peuvent, à leur discrétion, les adopter pour application, dans le cadre de leur réglementation nationale, à leurs propres activités. L'AIEA est tenue de les appliquer à ses propres opérations et les États doivent faire de même en ce qui concerne les activités pour lesquelles elle fournit une assistance.

Pour obtenir des renseignements sur le programme de normes de sûreté de l'AIEA (y compris sur les éditions dans d'autres langues que l'anglais), il convient de consulter le site Internet de l'AIEA à l'adresse suivante:

www-ns.iaea.org/standards/

ou de s'adresser à la Section de la coordination en matière de sûreté, AIEA, B.P. 100, A-1400 Vienne (Autriche).

AUTRES PUBLICATIONS CONCERNANT LA SÛRETÉ

En vertu de l'article III et du paragraphe C de l'article VIII de son Statut, l'AIEA favorise l'échange d'informations sur les activités nucléaires pacifiques et sert d'intermédiaire entre ses États Membres à cette fin.

Les rapports sur la sûreté et la protection dans le cadre des activités nucléaires sont publiés dans d'autres collections, en particulier la **collection Rapports de sûreté de l'AIEA**, à des fins d'information. Ces rapports peuvent décrire les bonnes pratiques, donner des exemples concrets et proposer des méthodes détaillées pour respecter les prescriptions de sûreté. Ils n'établissent pas de prescriptions et ne contiennent pas de recommandations.

Les autres collections contenant des publications concernant la sûreté sont les collections **INSAG, Documents techniques (TECDOC) et Cours de formation**, et, en anglais uniquement, les collections **Technical Reports Series, Radiological Assessment Reports Series, Provisional Safety Standards Series, IAEA Services Series, Computer Manual Series, Practical Radiation Safety Manuals et Practical Radiation Technical Manuals**. L'AIEA édite aussi des rapports sur les accidents radiologiques et d'autres publications spéciales.

L'OPTIMISATION DE LA RADIOPROTECTION
DANS LE CADRE DE LA MAÎTRISE
DE L'EXPOSITION PROFESSIONNELLE

Les États ci-après sont Membres de l'Agence internationale de l'énergie atomique:

AAFGHANISTAN	GHANA	OUZBÉKISTAN
AFRIQUE DU SUD	GRÈCE	PAKISTAN
ALBANIE	GUATEMALA	PANAMA
ALGÉRIE	HAÏTI	PARAGUAY
ALLEMAGNE	HONDURAS	PAYS-BAS
ANGOLA	HONGRIE	PÉROU
ARABIE SAOUDITE	ILES MARSHALL	PHILIPPINES
ARGENTINE	INDE	POLOGNE
ARMÉNIE	INDONÉSIE	PORTUGAL
AUSTRALIE	IRAN, RÉP. ISLAMIQUE D'	QATAR
AUTRICHE	IRAQ	RÉPUBLIQUE ARABE SYRIENNE
AZERBAÏDJAN	IRLANDE	RÉPUBLIQUE CENTRAFRICAINE
BANGLADESH	ISLANDE	RÉPUBLIQUE DÉMOCRATIQUE DU CONGO
BÉLARUS	ISRAËL	RÉPUBLIQUE DE MOLDOVA
BELGIQUE	ITALIE	RÉPUBLIQUE DOMINICAINE
BÉNIN	JAMAHIRIYA ARABE LIBYENNE	RÉPUBLIQUE TCHÈQUE
BOLIVIE	JAMAÏQUE	RÉPUBLIQUE-UNIE DE TANZANIE
BOSNIE-HERZÉGOVINE	JAPON	ROUMANIE
BOTSWANA	JORDANIE	ROYAUME-UNI DE GRANDE-BRETAGNE ET D'IRLANDE DU NORD
BRÉSIL	KAZAKHSTAN	SAINT-SIÈGE
BULGARIE	KENYA	SÉNÉGAL
BURKINA FASO	KIRGHIZISTAN	SERBIE ET MONTÉNÉGR0
CAMEROUN	KOWEÏT	SEYCHELLES
CANADA	LETTONIE	SIERRA LEONE
CHILI	L'EX-RÉPUBLIQUE YOUGOSLAVE DE MACÉDOINE	SINGAPOUR
CHINE	LIBAN	SLOVAQUIE
CHYPRE	LIBÉRIA	SLOVÉNIE
COLOMBIE	LIECHTENSTEIN	SOUDAN
CORÉE, RÉPUBLIQUE DE	LITUANIE	SRI LANKA
COSTA RICA	LUXEMBOURG	SUÈDE
CÔTE D'IVOIRE	MADAGASCAR	SUISSE
CROATIE	MALAISIE	TADJIKISTAN
CUBA	MALI	THAÏLANDE
DANEMARK	MALTE	TUNISIE
ÉGYPTE	MAROC	TURQUIE
EL SALVADOR	MAURICE	UKRAÏNE
ÉMIRATS ARABES UNIS	MEXIQUE	URUGUAY
ÉQUATEUR	MONACO	VENEZUELA
ÉRYTHRÉE	MONGOLIE	VIETNAM
ESPAGNE	MYANMAR	YÉMEN
ESTONIE	NAMIBIE	ZAMBIE
ÉTATS-UNIS D'AMÉRIQUE	NICARAGUA	ZIMBABWE
ÉTHIOPIE	NIGER	
FÉDÉRATION DE RUSSIE	NIGERIA	
FINLANDE	NORVÈGE	
FRANCE	NOUVELLE-ZÉLANDE	
GABON	OUGANDA	
GÉORGIE		

Le Statut de l'Agence a été approuvé le 23 octobre 1956 par la Conférence sur le Statut de l'AIEA, tenue au Siège de l'Organisation des Nations Unies, à New York; il est entré en vigueur le 29 juillet 1957. L'Agence a son Siège à Vienne. Son principal objectif est «de hâter et d'accroître la contribution de l'énergie atomique à la paix, la santé et la prospérité dans le monde entier».

© AIEA, 2003

Pour obtenir l'autorisation de reproduire ou de traduire des passages de la présente publication, s'adresser par écrit à l'Agence internationale de l'énergie atomique, Wagramer Strasse 5, B.P. 100, A-1400 Vienne (Autriche).

Imprimé par l'AIEA en Autriche
Novembre 2003
STI/PUB/1118

COLLECTION RAPPORTS DE SÛRETÉ N° 21

**L'OPTIMISATION
DE LA RADIOPROTECTION
DANS LE CADRE DE
LA MAÎTRISE DE
L'EXPOSITION PROFESSIONNELLE**

AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE
VIENNE, 2003

L'OPTIMISATION DE LA RADIOPROTECTION
DANS LE CADRE DE LA MAÎTRISE
DE L'EXPOSITION PROFESSIONNELLE
AIEA, VIENNE, 2003
STI/PUB/1118
ISBN 92-0-216303-0
ISSN 1020-6477

AVANT-PROPOS

Un des trois grands principes sur lesquels repose la protection contre les rayonnements ionisants est celui de l'optimisation de la protection radiologique. Le principe d'optimisation de la protection a été énoncé pour la première fois par la Commission internationale de protection radiologique dans les années 1960. L'optimisation de la protection et de la sûreté a fait l'objet d'une prescription principale des Normes fondamentales internationales de protection contre les rayonnements ionisants et de sûreté des sources de rayonnements (Normes fondamentales internationales) depuis la première édition en 1962 jusqu'à l'édition actuelle (1996). L'application du principe d'optimisation, en vertu duquel il faut faire tout ce qui est raisonnablement possible pour réduire les doses (compte tenu des facteurs sociaux et économiques), demande un effort considérable dans la pratique.

La prescription des Normes fondamentales internationales concernant l'application du principe d'optimisation vaut pour toutes les catégories d'exposition : exposition professionnelle, exposition du public et exposition médicale. L'exposition du public et l'exposition médicale constituent des catégories assez particulières et sont traitées dans d'autres publications ; le présent Rapport de sûreté porte principalement sur l'application du principe en question à la catégorie qui est sans doute la plus vaste, à savoir celle de l'exposition professionnelle. Il fournit des informations pratiques indiquant comment optimiser la protection sur les lieux de travail. Dans tout ce rapport, l'accent est mis sur l'intégration de la radioprotection dans le système plus général d'organisation du travail et sur la participation de la hiérarchie et des travailleurs à la mise en place et à l'application d'un système de radioprotection.

Ce Rapport de sûreté a été rédigé et mis définitivement au point lors de trois réunions de consultants tenues en 1999 et 2000. Le projet a été communiqué pour examen et commentaires à un certain nombre d'experts, qui ont formulé de précieuses observations et qui sont indiqués dans la liste des personnes ayant contribué à sa rédaction et à son examen. Les contributions apportées par J. Blaikie, C. Schieber et G.A.M. Webb à l'établissement du présent Rapport de sûreté ont été particulièrement utiles. L'administrateur de l'AIEA chargé de l'établissement de ce Rapport de sûreté était Mme Gustafsson, de la Division de la sûreté radiologique et de la sûreté des déchets.

NOTE DE L'ÉDITEUR

Bien que l'exactitude des informations contenues dans la présente publication ait fait l'objet de la plus grande attention, ni l'AIEA ni ses États Membres n'assument aucune responsabilité pour les conséquences qui pourraient résulter de leur utilisation.

L'emploi d'appellations particulières pour désigner des pays ou des territoires n'implique de la part de l'éditeur — l'AIEA — aucune prise de position quant au statut juridique de ces pays ou territoires, ou de leurs autorités et institutions, ni quant au tracé de leurs frontières.

La mention de noms de sociétés ou de produits particuliers (qu'ils soient ou non signalés comme marques déposées) n'implique aucune intention d'empiéter sur des droits de propriété, et ne doit pas être considérée non plus comme valant approbation ou recommandation de la part de l'AIEA.

TABLE DES MATIÈRES

1.	INTRODUCTION	1
1.1.	Généralités	1
1.2.	Objectif	2
1.3.	Portée	3
1.4.	Structure	3
2.	PROCESSUS D'OPTIMISATION	4
3.	ÉVALUATION DES SITUATIONS D'EXPOSITION	10
3.1.	Évaluation globale de la situation d'exposition	11
3.1.1.	Stade de la conception	11
3.1.1.1.	Exemple 1 : Contraintes de dose individuelles et indicateurs	12
3.1.1.2.	Exemple 2 : Conception d'une grande installation ..	12
3.1.2.	Stade de l'exploitation	14
3.1.2.1.	Exemple 4 : Participation du personnel au processus d'évaluation des expositions	16
3.2.	Évaluation et analyse de tâches déterminées	16
3.2.1.	Évaluation préalable de toutes les tâches sous rayonnements ..	16
3.2.1.1.	Exemple 6 : Analyse de tâches analogues effectuées successivement dans différents lieux de travail	18
3.2.2.	Analyse des situations d'exposition liées à des tâches	
	particulières dans le cadre de l'exécution d'une étude détaillée aux fins de l'optimisation de la radioprotection ...	19
3.3.	Comment obtenir les données	21
3.3.1.	Niveau de l'installation et niveau national	21
3.3.1.1.	Exemple 7 : Système d'information de l'AIEA sur les organismes de réglementation	22
3.3.2.	Niveau international	22
3.3.2.1.	Exemple 8 : Système d'information sur l'exposition professionnelle	23
4.	MOYENS DE RÉDUIRE L'EXPOSITION	23
4.1.	Introduction	23

4.2.	Moyens globaux de réduire l'exposition	24
4.2.1.	Planification et ordonnancement des travaux	24
4.2.1.1.	Exemple 9 : Ordonnancement des travaux en fonction de l'évolution des débits de dose	25
4.2.2.	Formation théorique générale des travailleurs	25
4.2.2.1.	Exemple 10 : Le logiciel de formation RADIOR	26
4.2.3.	Sensibilisation et participation des travailleurs	26
4.2.3.1.	Exemple 11 : Radiographie industrielle mobile	27
4.2.4.	Communication	28
4.2.4.1.	Exemple 12 : Amélioration de la communication au moyen de boîtes à suggestions	28
4.3.	Moyens de réduire l'exposition pour des tâches particulières	29
4.3.1.	Conception de l'installation et des équipements	29
4.3.1.1.	Exemple 13 : Facteurs à considérer pour décider de la nécessité d'installer des dispositifs de protection permanents	30
4.3.2.	Réduction du temps passé dans les zones radioactives	30
4.3.2.1.	Exemple 14 : Facteurs allongeant le temps d'exposition	31
4.3.3.	Réduction du nombre de travailleurs requis	32
4.3.4.	Réduction des débits de dose	33
4.3.4.1.	Exemple 15 : Outils à long manche	34
4.3.5.	Formation spécialisée	35
5.	DÉFINITION ET APPLICATION D'UN PLAN ALARA	35
5.1.	Éléments généraux	36
5.1.1.	Exemple 16 : Création de structures spéciales de gestion ALARA	37
5.2.	Analyse et choix des options en matière de réduction des doses pour des tâches particulières	38
5.2.1.	Analyse des options	38
5.2.1.1.	Exemple 17 : Détermination des économies	39
5.2.2.	Choix des options à mettre en œuvre	39
5.3.	Suivi de l'efficacité d'un plan ALARA	40
6.	CONCLUSIONS	42
	RÉFÉRENCES	44

ANNEXE I: TECHNIQUES D'AIDE À LA DÉCISION	47
I-1. Introduction	47
I-2. Analyse coût-avantages	48
I-3. Analyse coût-avantages élargie	48
I-4. Analyse d'utilité multiattributs	49
I-5. Analyse multicritères de surclassement	50
Références pour l'annexe I	51
 ANNEXE II: LISTES DE CONTRÔLE ALARA	 52
 ANNEXE III: VALEUR MONÉTAIRE DE L'UNITÉ DE DOSE COLLECTIVE	 62
III-1. Introduction	62
III-2. Évaluation de la valeur monétaire de référence de l'homme sievert	63
III-2.1. Relation dose-effet et valeur monétaire des effets sur la santé	63
III-2.1.1. Exemple III-1 : Calcul de la valeur monétaire de l'homme-sievert par la méthode du capital humain	64
III-2.2. Moyens de prendre en compte les distributions des doses individuelles	64
III-2.2.1. Exemple III-2 : Modèle pour la détermination d'un ensemble de valeurs monétaires de l'homme-sievert selon le niveau des doses individuelles	64
III-3. Exemples de valeurs monétaires utilisées pour l'unité de dose collective	66
Références pour l'annexe III	69
 PERSONNES AYANT CONTRIBUÉ À LA RÉDACTION ET À L'EXAMEN	 70

1. INTRODUCTION

1.1. GÉNÉRALITÉS

L'optimisation est, depuis de nombreuses années, un des trois principes de la radioprotection. Ce principe est présenté dans la publication de la catégorie « Fondements de la sûreté » intitulée « Radioprotection et sûreté des sources de rayonnements » [1] et constitue un élément de base des Normes fondamentales internationales de protection contre les rayonnements ionisants et de sûreté des sources de rayonnements (NFI) [2]. Un Guide de sûreté (n° 101 de la Collection Sécurité), intitulé « Operational Radiation Protection : A Guide to Optimization » [3], a été publié en 1990 en vue de fournir des indications pratiques concernant l'application du système de limitation des doses aux situations opérationnelles. Ce Guide de sûreté se rapportait cependant à la version précédente des NFI et ne traitait pas de l'application du principe d'optimisation dans toutes les situations, notamment dans la conception. Il a donc été décidé d'établir le présent Rapport de sûreté, qui remplace le n° 101 de la Collection Sécurité, afin de donner davantage de conseils pratiques couvrant tout l'éventail des applications concernant l'exposition professionnelle.

Bien que l'exigence d'optimisation vaille pour toutes les catégories d'expositions — exposition professionnelle, exposition médicale et exposition du public — son application aux expositions non professionnelles relevant des deux dernières catégories revêt un caractère assez particulier et est traitée de manière appropriée dans les publications pertinentes. Dans le cas de l'exposition du public, l'optimisation dans la gestion des déchets, en particulier pour ce qui est des rejets dans l'environnement et du stockage définitif des déchets solides, est une question importante qui est traitée en détail dans des publications de la Collection Sûreté des déchets radioactifs. L'optimisation des mesures d'intervention destinées à protéger le public en cas d'accident a fait l'objet d'un Guide de sûreté (n° 109 de la Collection Sécurité [4]), dans lequel des niveaux d'intervention génériques optimisés sont calculés. Un autre aspect de l'exposition du public est constitué par les expositions au rayonnement naturel, en particulier au radon, qui sont traitées en grande partie dans les NFI. Dans le cas de l'exposition médicale, l'application de l'optimisation aux actes diagnostiques et thérapeutiques est décrite dans un Guide de sûreté spécialisé intitulé « Radiological Protection for Medical Exposure to Ionizing Radiation » [5], et ses aspects pratiques seront exposés en détail dans une série de publications parrainées conjointement par l'AIEA et quatre autres organisations internationales. Il a donc été décidé de consacrer essentiellement le présent Rapport de sûreté à la première catégorie, à savoir celle de l'exposition professionnelle.

Lors de l'exécution d'une étude d'optimisation sous l'angle de la protection radiologique, les autres dangers associés éventuellement aux matières radioactives

(dangers biologiques et chimiques par exemple) ou aux opérations du processus (tels que les dangers électriques et mécaniques) doivent être pris en considération et peuvent fort bien influencer sur la décision finale quant à la démarche optimale.

Dans l'établissement du présent Rapport de sûreté, il a été tenu compte des recommandations élaborées par la Commission internationale de protection radiologique (CIPR), en particulier de ses publications consacrées spécialement à l'optimisation [6, 7] et du rapport assez récent [8] qui traite de la radioprotection des travailleurs. Des publications plus spécialisées de l'Agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire (AEN/OCDE) [9], de la Commission des Communautés européennes [10] et du Conseil national des États-Unis pour la protection et les mesures radiologiques [11] ont également fourni un certain nombre de concepts utiles et des exemples d'applications.

Trois Guides de sûreté apparentés, établis conjointement par l'AIEA et le Bureau international du Travail, fournissent des orientations pour l'application des prescriptions des NFI en ce qui concerne l'exposition professionnelle [12–14]. Le Guide de sûreté qui donne des conseils généraux sur l'élaboration de programmes de radioprotection des travailleurs [12] expose les éléments essentiels des procédures d'optimisation et a servi de base au présent Rapport de sûreté.

1.2. OBJECTIF

Le présent Rapport de sûreté a pour principal objectif de compléter les principes et les orientations d'ordre général concernant l'optimisation qui ont été formulés par la CIPR, dans les NFI et dans des Guides de sûreté par des informations plus concrètes sur la façon d'assurer l'optimisation sur le lieu de travail. La référence [12] stipule que la responsabilité de l'optimisation de la protection des travailleurs incombe en premier lieu à la direction opérationnelle des organismes dans lesquels ils travaillent. Le présent Rapport de sûreté s'adresse donc principalement aux personnes qui sont chargées de contrôler les types de travaux effectués et les expositions professionnelles qui en résultent. Ces personnes comprennent celles qui sont directement responsables de la radioprotection, par exemple les radioprotectionnistes (aussi appelés notamment responsables de la radioprotection). Un groupe cible tout aussi important est celui des responsables de la production ou d'autres aspects des activités d'un organisme, tels que le contrôle financier, qui devraient aussi se préoccuper de la sûreté. Ces personnes devraient également participer à l'élaboration et à la mise en pratique des résultats des décisions prises en matière d'optimisation. Ainsi qu'il est indiqué plus loin, la bonne application des idées contenues dans le présent Rapport de sûreté dépend aussi de l'engagement et de la participation des travailleurs que l'on protège, en sorte qu'eux-mêmes ou leurs représentants constituent un autre groupe cible important. Ce Rapport de sûreté devrait également

être utile au personnel de l'organisme de réglementation en précisant comment les exploitants peuvent se conformer à une prescription réglementaire concernant l'optimisation.

1.3. PORTÉE

Le présent Rapport de sûreté traite du contexte général d'un programme d'optimisation de la radioprotection dans le cadre de la maîtrise de l'exposition professionnelle, ainsi que des aspects pratiques de sa mise en œuvre. Ce type de programme est souvent appelé programme ALARA (aussi bas qu'il est raisonnablement possible). Par « exposition professionnelle », on entend ce qui suit : « ensemble des expositions subies par les travailleurs au cours de leur travail, à l'exception des expositions exclues du champ d'application des Normes et des expositions résultant de pratiques ou de sources exemptées conformément aux Normes » (réf. [2], Glossaire). Cette notion est valable pour tous les aspects des activités des installations, y compris la conception, l'exploitation et le déclassement. Elle couvre tous les types d'expositions professionnelles, y compris celles qui résultent des applications médicales et industrielles des rayonnements, ainsi que l'exposition au rayonnement naturel au travail et l'exposition dans l'industrie électronucléaire. Elle couvre aussi, en principe, la réduction de l'exposition potentielle, et certains des exemples donnés dans le présent Rapport de sûreté concernent des mesures de réduction de la probabilité et de la valeur des doses, mais les techniques d'optimisation les plus formelles ne sont pas encore pleinement applicables aux compromis entre la réduction des doses et celle des risques. Ainsi qu'il a été noté plus haut, l'optimisation dans les situations d'urgence est traitée dans d'autres publications et sort donc du cadre du présent Rapport de sûreté.

1.4. STRUCTURE

Le processus général d'optimisation de la radioprotection est exposé dans la section 2. La mise en œuvre de ce processus s'effectue en plusieurs étapes, qui sont décrites dans les sections 3 à 6. Le point de départ est constitué par une évaluation de la situation initiale, qu'il s'agisse d'une nouvelle installation ou d'une installation en service, ainsi qu'il est indiqué dans la section 3. La section 4 expose en détail les diverses méthodes et démarches qui pourraient être adoptées pour réduire les doses. L'évaluation des démarches possibles conduisant à un plan ALARA et la mise en œuvre de ce plan font l'objet de la section 5. Des conclusions succinctes sont présentées dans la section 6. Des exemples d'applications des procédures sont donnés dans l'ensemble du présent Rapport de sûreté. On s'est efforcé de tirer ces exemples

de tous les domaines d'application des rayonnements mais, comme la plupart des études communiquées proviennent de l'industrie électronucléaire, il était inévitable que la plupart desdits exemples proviennent aussi de ce secteur.

2. PROCESSUS D'OPTIMISATION

Sous sa forme actuelle, le cadre de la radioprotection, y compris le concept d'optimisation de celle-ci¹, trouve son origine dans une publication de la CIPR de 1965, mais c'est dans sa Publication 26 de 1977 [15] qu'il a été défini d'une manière qui n'a guère varié dans sa Publication 60 de 1991 [16] et dans les NFI. Dans ces dernières, il est défini de la façon suivante :

« Pour les expositions dues à toute source associée à une pratique, sauf dans le cas des expositions médicales thérapeutiques, la protection et la sûreté sont optimisées de façon que la valeur des doses individuelles, le nombre de personnes exposées et la probabilité de subir des expositions soient maintenus aussi bas qu'il est raisonnablement possible, compte tenu des facteurs économiques et sociaux, avec cette restriction que les doses aux individus délivrées par la source doivent faire l'objet de contraintes de dose » (réf. [2], par. 2.24).

L'optimisation constitue un élément essentiel et, dans la pratique, l'élément le plus important d'un système de limitation des doses, car il ne suffit pas d'appliquer des limites de dose pour assurer un niveau de protection acceptable. Les limites de dose représentent les valeurs au-delà desquelles les doses et les risques sont inacceptables. Les doses qui sont tout juste inférieures à ces limites ne peuvent donc être tolérées que s'il n'est pas raisonnablement possible de faire quelque chose pour les réduire. Or, dans la plupart des situations, il est possible de prendre des mesures pour les réduire, et la protection entre alors dans le régime de l'optimisation, qui est le sujet du présent Rapport de sûreté.

Ainsi qu'il a été noté plus haut, les limites de dose sont habituellement trop élevées pour servir à fixer un plafond aux fins d'une étude d'optimisation particulière. De fait, dans la plupart des situations d'exposition professionnelle, la limite de dose est en grande partie dépourvue d'intérêt. En vue de fournir un plafond aux fins de l'optimisation, la CIPR a introduit le concept de contraintes de dose, qui sont exprimées sous la forme de doses individuelles, tout comme les limites de dose, mais

¹ Dans le présent Rapport de sûreté, le terme « optimisation » s'entend « optimisation de la radioprotection ».

qui sont liées à la source pour toute la gamme des options considérées dans le processus d'optimisation de la protection pour cette source particulière. Les contraintes de dose doivent être utilisées de manière prospective dans l'optimisation de la protection lors de la planification et de l'exécution des tâches ainsi que de la conception des installations ou des équipements. Elles devraient donc être fixées au cas par cas, compte tenu des tendances générales et aussi des caractéristiques particulières de la situation d'exposition, et elles devraient l'être de préférence par la hiérarchie en consultation avec les travailleurs concernés. On pourrait se fonder utilement sur une analyse des distributions des doses dans un type particulier d'opérations qui sont considérées comme bien gérées. Une contrainte de dose pourrait être choisie dans la partie supérieure d'une telle distribution des doses. Une étude récente sur la fixation des contraintes de dose [17] a conclu qu'il existe, semble-t-il, quelques domaines d'activité dans lesquels des contraintes ne paraissent guère appropriées soit parce que les doses sont faibles, soit parce que l'application du concept lui-même présente des difficultés. Cependant, selon une étude de l'AEN/OCDE, de telles contraintes sont utiles dans bien des situations [18]. Dans le secteur nucléaire, le recours à des contraintes peut être tout indiqué lors de la planification d'installations nouvelles quand il existe un stade de planification bien défini et quand on dispose d'assez d'informations sur les distributions des doses pour choisir les contraintes en connaissance de cause. Il en irait également ainsi dans le secteur médical pour la planification des installations de radiothérapie, y compris la curiethérapie, de médecine nucléaire et de radiographie, et dans certaines applications industrielles, telles que les installations fixes de radiographie.

Par opposition aux contraintes de dose, qui constituent un outil prospectif, on a souvent besoin en exploitation d'un indicateur de performance. Une limite ou une contrainte ne conviendrait pas à cette fin, en sorte que l'on recourt au concept de niveau d'investigation. Les niveaux d'investigation doivent être propres à l'installation ou aux opérations considérées et seront donc, en général, fixés localement par la hiérarchie, compte tenu des résultats de l'étude d'optimisation effectuée. Ils devraient être exprimés sous la forme de grandeurs mesurables, telles que les doses individuelles, les incorporations, les débits de dose ou les niveaux de contamination. Ils feront souvent partie d'un plan ALARA. Le dépassement d'un niveau d'investigation devrait inciter à examiner la situation afin d'en déterminer les causes et, au besoin, de prendre de nouvelles mesures pour maîtriser les expositions.

Un autre type de référence utilisée en exploitation est l'objectif de dose collective. Cet objectif s'apparente à un niveau d'investigation dans la mesure où une investigation sera déclenchée s'il est approché ou dépassé, en sorte qu'il peut constituer, pour la hiérarchie, un indicateur utile de l'exécution générale d'un travail par comparaison avec les prévisions d'une étude d'optimisation ou la meilleure pratique dans des situations analogues. Les objectifs de dose collective feront également souvent partie d'un plan ALARA.

La CIPR a reconnu que, dans son système, le « maintien de toutes les expositions aussi bas qu'il est raisonnablement possible, compte tenu des facteurs économiques et sociaux », l'« optimisation de la protection » et « ALARA » sont des concepts identiques [19]. L'acronyme ALARA étant largement connu dans le monde entier, il est utilisé dans le présent Rapport de sûreté lorsque cela semble approprié.

L'optimisation de la protection est une notion qui trouve de larges applications. Au niveau le plus élevé, elle englobe la structure organique requise pour répartir convenablement les responsabilités. Elle peut servir pour la prise des décisions à tous les niveaux, depuis celles qui ont trait aux problèmes quotidiens d'exploitation jusqu'à celles qui concernent les grandes analyses des différents types de modèles d'installations, et il faudrait l'appliquer à tous les aspects de la radioprotection des travailleurs, y compris pour les utilisations médicales des rayonnements, l'exposition au rayonnement naturel et dans l'industrie en général, ainsi que dans l'industrie électronucléaire, dont on parle sans doute davantage. La notion d'optimisation devrait également, en principe, s'appliquer aux procédures visant à prévenir les incidents susceptibles d'entraîner une exposition aux rayonnements sur le lieu de travail ou à en atténuer les conséquences. Pour ce faire, il faut tenir compte des probabilités des événements de ce type et de leurs conséquences, mais, ainsi qu'il a été noté plus haut, les techniques nécessaires à cette fin n'ont pas encore été mises au point, en sorte que ces questions ne sont pas traitées dans le présent Rapport de sûreté.

L'optimisation a essentiellement pour rôle d'amener chaque responsable du contrôle des expositions aux rayonnements à se poser continuellement la question suivante : « Ai-je fait tout ce que je pouvais faire raisonnablement pour réduire les doses de rayonnement ? » À l'évidence, la réponse à cette question appelle un jugement, car il ne s'agit pas d'une question à laquelle on puisse répondre de la même manière qu'à la question correspondante pour les limites de dose, à savoir « Ai-je veillé au respect des limites de dose ? » Si les doses reçues par un travailleur sont contrôlées et si, au cours de la période considérée, leur somme est inférieure à la limite, la réponse à la question concernant le respect de la limite de dose est affirmative. Dans le cas de la question relative à l'optimisation, du fait en partie que celle-ci constitue dans une large mesure une opération prospective, il n'y a pas de réponse technique aussi tranchée qui n'exige pas l'application d'un jugement. La démonstration du respect d'une prescription réglementaire relative à l'optimisation est donc aussi nécessairement une question de jugement. Le présent Rapport de sûreté explique quels sont les éléments à prendre en considération pour parvenir à un tel jugement.

Dans l'industrie moderne, la productivité et la compétitivité-coûts sont devenues des considérations essentielles en raison des pressions économiques. Les entreprises ont donc adopté une approche globale du travail qui insiste sur l'importance qu'il y a d'envisager les tâches dans la perspective d'une équipe

multidisciplinaire et d'en assurer pleinement le suivi aux stades de la conception, du projet, de la planification, de la préparation, de l'exécution et du contrôle. Cette approche des tâches est désignée par le terme général d'organisation du travail. Elle a beaucoup de points communs avec l'approche systématique de l'optimisation recommandée dans le Guide de sûreté sur la radioprotection des travailleurs (réf. [12], par. 4.6), qui dit ceci :

« L'optimisation de la protection est un processus qui commence au stade de la planification et se poursuit aux stades de l'ordonnancement, de la préparation, de l'exécution et du retour d'information. »

Le plus souvent, l'optimisation exige que l'on concilie la nécessité de réduire les doses, celle de maintenir la production et les coûts occasionnés. La référence [12] recommande de mettre en œuvre le processus d'optimisation par le biais de l'organisation du travail. La réduction des doses dans le cadre de l'organisation du travail étant souvent assurée grâce à des mesures d'amélioration des conditions de travail, il est fréquemment possible d'atteindre en même temps les objectifs d'accroissement de l'efficacité et d'optimisation de la radioprotection. Il peut même se faire que cette amélioration générale du rendement et cette réduction des doses soient assurées sans qu'il en coûte quoi que ce soit si les économies réalisées grâce à l'amélioration de l'efficacité sont supérieures au coût des mesures de protection.

Il existe des techniques très diverses qui facilitent l'optimisation de la radioprotection. Certaines de ces techniques sont empruntées à la recherche opérationnelle, d'autres aux sciences économiques et d'autres encore à l'ingénierie. Les techniques disponibles comprennent, entre autres, les procédures fondées sur l'analyse coût-avantages ; ce sont ces procédures qui ont été étudiées en détail dans le premier grand rapport de la CIPR, publié en 1983 [6]. La CIPR a cependant indiqué qu'il était important de ne pas perdre de vue que d'autres techniques, à caractère quantitatif pour certaines et plutôt qualitatif pour d'autres, pouvaient également être utilisées pour optimiser la radioprotection. Ces techniques ont été exposées dans un rapport ultérieur plus général [7], publié en 1989, et entérinées dans les recommandations les plus récentes, en 1991 [16]. Elles sont décrites dans l'annexe I.

La responsabilité de l'optimisation incombe avant tout à la hiérarchie d'une installation. L'engagement de la direction, souvent exprimé dans une déclaration de politique générale, est une condition indispensable au succès de l'introduction ou de la poursuite d'un programme ALARA. Une autre mesure initiale importante pour préparer la mise en œuvre d'un programme ALARA par le biais de l'organisation du travail consiste à mettre en place des structures de gestion appropriées et à répartir les responsabilités dans l'organisme concerné. Il faudrait compléter cela par de vastes programmes destinés à accroître la sensibilisation et à dispenser la formation de base requise. D'autres mesures plus techniques d'optimisation de la protection devraient

faire l'objet d'une analyse, pour laquelle une procédure systématique est utile. Cette approche de l'organisation et du contrôle du travail n'est pas propre à l'optimisation, mais fait partie d'une bonne gestion normale. Une telle procédure est illustrée à la figure 1 et comporte les étapes ci-après.

1. *Évaluation des situations d'exposition pour déterminer si une étude d'optimisation s'impose.* À cette fin, il est souvent utile d'utiliser des comparateurs ou des exemples de bonne pratique. Il peut s'agir de comparaisons avec des installations analogues dans des bases de données telles que le Système d'information sur la radioexposition professionnelle (ISOE) [20] ou des enquêtes du Comité des Nations Unies pour l'étude des effets des rayonnements ionisants (UNSCEAR) [21] ou encore de contraintes de dose fixées par la hiérarchie ou un organisme de réglementation pour le type de travail considéré. D'une manière générale, il est prudent de procéder à une analyse systématique des toutes les situations d'exposition. Ainsi, lors des activités de conception et de planification, il faudrait prendre en considération les situations exposant à de faibles doses dans lesquelles un certain nombre de travailleurs sont exposés fréquemment ou pendant de longues périodes.

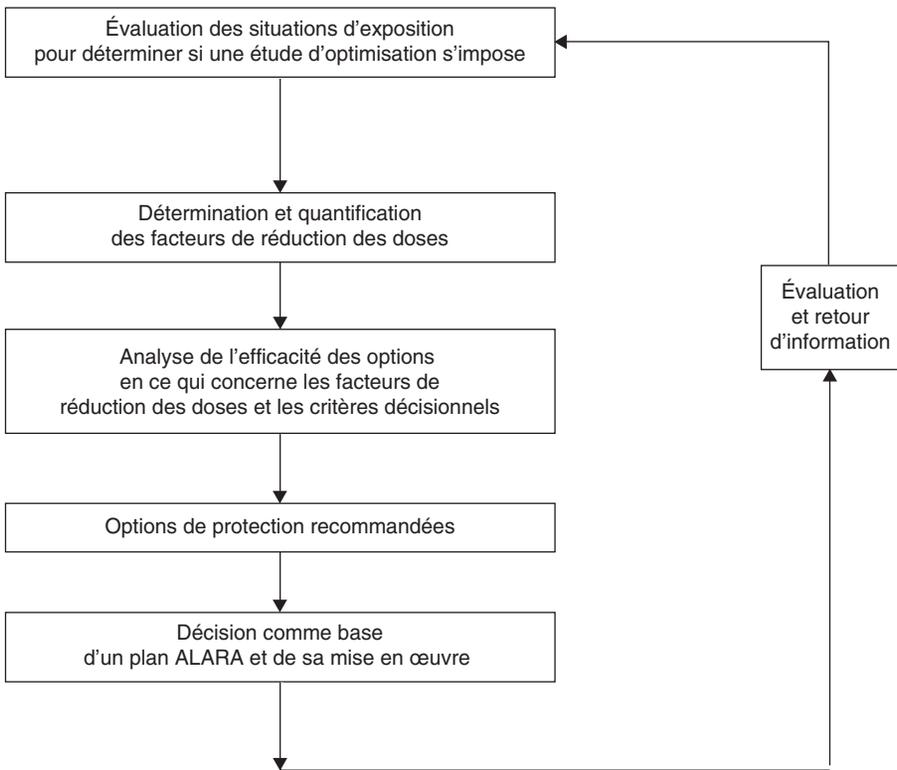


FIG. 1. Procédure d'optimisation.

Dans certains cas, il sera évident qu'une tâche particulière exposant à des doses élevées est candidate à une amélioration.

2. *Détermination et quantification des facteurs de réduction des doses à prendre en considération durant l'étude d'optimisation.* Lors de cette étape, on recense tous les moyens par lesquels les doses peuvent être réduites. Les facteurs en question comprennent les moyens généraux applicables à toutes les opérations et les moyens propres à l'optimisation de la protection dans des tâches particulières. Les combinaisons de différents moyens peuvent être considérées comme des options pour l'amélioration de la protection.

3. *Analyse, qualitative ou quantitative, de l'efficacité des options en ce qui concerne chacun des facteurs de réduction des doses et les critères décisionnels fixés à l'avance.* L'objectif général de l'optimisation porte sur la radioexposition du personnel. Un des facteurs clés permettant de l'évaluer est constitué par la distribution des doses individuelles, en particulier des doses individuelles maximums. Comme il est également important de tenir compte du nombre de travailleurs exposés à des niveaux de dose déterminés, la dose collective au personnel est un facteur nécessaire. Par dose collective, on entend ici la somme des doses qu'un ensemble de travailleurs déterminé devrait recevoir ou a effectivement reçues pendant une certaine période, par exemple un an ou un mois, ou lors de l'exécution d'une tâche précise. Les critères pertinents donnent des indications, quantitatives ou qualitatives, sur ce qui est acceptable ou souhaitable pour l'un des facteurs. Ainsi, la contrainte de dose individuelle est un critère d'un certain type, et une valeur monétaire spécifiée de l'unité de dose collective, un critère d'un autre type. Ces critères peuvent être utilisés parallèlement à d'autres éléments moins quantifiés pour la prise d'une décision concernant un plan ALARA général et des tâches particulières.

4. *Élaboration d'une option optimale de protection recommandée.* Compte tenu des résultats de l'analyse, y compris les coûts de toutes sortes et l'efficacité des différents moyens de réduire les doses, une ou plusieurs options se révéleront probablement optimales.

5. *Décision finale, qui sert alors de base pour un plan ALARA et sa mise en œuvre.* À l'aide de techniques qui font intervenir la hiérarchie, les travailleurs susceptibles d'influer sur la situation et les travailleurs qui seront affectés par la décision, on peut déterminer la combinaison appropriée de moyens généraux d'optimiser la protection et d'appréhender des tâches particulières compte tenu des options optimales proposées. À partir de cela, on peut alors élaborer un plan ALARA en vue de sa mise en œuvre.

En un sens, c'est cette procédure qui est importante pour donner corps dans la pratique au concept d'optimisation. La procédure en question, qui peut être appliquée aussi bien à la conception que dans les situations d'exploitation, a pour but de clarifier le problème considéré de façon que tous les moyens disponibles pour réduire les doses soient pris en compte lors de la détermination des principales options de

radioprotection, en même temps que les coûts qui y sont associés et les autres facteurs pertinents. Les étapes de cette procédure sont décrites de manière plus détaillée dans les sections suivantes du présent Rapport de sûreté.

Lors d'une étude d'optimisation, il faut associer d'autres groupes à son exécution. Parmi ces groupes figurent en particulier les travailleurs qui ont une connaissance directe de la situation étudiée et qui peuvent donc faire des suggestions quant aux facteurs pertinents et à la façon dont ils pourraient être modifiés, ainsi que d'autres groupes de responsables chargés des finances ou concernés par la situation sous l'angle de la production, qui peuvent indiquer quelles sont les contraintes d'ordre financier ou technique ou être à même de suggérer des améliorations d'un point de vue plus large.

Concrètement, l'étude d'optimisation débouchera sur un plan ALARA ayant des objectifs aussi bien à court qu'à long terme, que l'on peut appeler buts ALARA. Ces buts pourraient être fixés, par exemple, sous la forme de doses individuelles maximums et d'objectifs de dose collective. Le plan peut également comporter des niveaux d'investigation à utiliser lors de l'application du plan pour déclencher une enquête si l'on constate des écarts par rapport aux schémas prévus en ce qui concerne les doses. Dans l'application du plan, il est impératif d'expliquer les raisons des changements apportés et les avantages que l'on en attend. La participation des groupes susmentionnés à l'élaboration du plan présentera l'avantage supplémentaire d'y associer ceux qui devront l'exécuter. Lors de la phase d'exécution, il faudra également insister sur les responsabilités que chacun assume dans l'amélioration de sa propre protection et de celle de ses collègues.

Durant la mise en œuvre du plan, il faudrait suivre l'évolution des indicateurs et permettre un retour d'information de façon que, lors d'un réexamen futur, les données requises à cette fin soient claires et complètes.

3. ÉVALUATION DES SITUATIONS D'EXPOSITION

Les situations d'exposition professionnelle vont de simples (par exemple, technicien médical effectuant une radiographie thoracique) à complexes (par exemple, tâches faisant intervenir plusieurs centaines de travailleurs lors des arrêts pour rechargement et maintenance dans une centrale nucléaire). Dans la référence [12], il est noté qu'un programme de radioprotection doit être bien adapté à la situation considérée. Pour qu'il en soit ainsi, il faut commencer par procéder à une évaluation radiologique initiale de la pratique ou de l'installation en question. Cette évaluation initiale a pour objet de décrire, aussi précisément qu'il est nécessaire, la situation entraînant des expositions professionnelles. Il est recommandé que cette évaluation comprenne, pour tous les aspects des opérations [12] :

- « a) un recensement des sources d'exposition potentielle normales et raisonnablement prévisibles ;
- b) une estimation réaliste des doses correspondantes et de leur probabilité ;
- c) un recensement des mesures de protection radiologique requises pour satisfaire au principe d'optimisation. »

Le présent Rapport de sûreté portant sur l'optimisation, les procédures d'évaluation qu'il décrit sont axées sur l'élaboration d'un plan ALARA dans le cadre d'un programme général de radioprotection.

Une approche générique, quel que soit son degré de complexité, comporte deux niveaux d'évaluation principaux. Le premier est constitué par une évaluation globale de l'exposition, qui a pour objet de déterminer les principaux domaines à améliorer et de vérifier l'efficacité générale du programme d'optimisation s'il en existe déjà un. Le second consiste à analyser en détail des tâches particulières afin d'étudier les facteurs contribuant aux doses qui y sont associées et de déterminer les moyens appropriés qui pourraient être mis en œuvre pour réduire les doses.

3.1. ÉVALUATION GLOBALE DE LA SITUATION D'EXPOSITION

Avant de se lancer dans un processus d'optimisation, la hiérarchie doit procéder à une évaluation radiologique initiale afin de se faire une idée générale de la situation d'exposition dont elle est responsable, d'évaluer l'évolution des expositions et de déterminer les principaux domaines à améliorer.

3.1.1. Stade de la conception

Au stade de la conception d'une nouvelle installation (par exemple, d'une centrale nucléaire, d'un laboratoire de recherche ou d'une salle de radiographie dans un hôpital) ou de la préparation d'une nouvelle opération (par exemple, le démantèlement d'une installation ou une modification majeure d'une centrale), il faudrait effectuer une évaluation globale de la situation d'exposition afin de déterminer si les contraintes de dose individuelles [17, 18] et les objectifs de dose collective (si de tels objectifs ont été fixés) sont respectés (voir l'exemple donné dans la section 3.1.1.1). Ces deux éléments, qui sont liés à la source, correspondent d'une manière générale à ce qui peut être considéré comme réalisable compte tenu des résultats obtenus dans des installations ou des situations d'exposition analogues au niveau national ou international : ce processus est décrit dans la section 2.

Au stade de la première caractérisation de la situation d'exposition future, les principaux indicateurs dont il faut se préoccuper sont le niveau de la dose collective et la distribution des doses individuelles (c'est-à-dire le nombre de travailleurs

exposés par plage de niveaux de dose individuels). Les données nécessaires pour ce type d'évaluation globale sont généralement recueillies sur une base annuelle. Les indicateurs en question sont obtenus grâce à une description générale des principales tâches sous rayonnements qu'il est prévu d'effectuer dans l'installation considérée. Cette description se fonde sur une estimation approximative de la fréquence des tâches effectuées, de leur durée, des débits de dose et du nombre possible de travailleurs exposés.

Une comparaison des indicateurs avec les contraintes de dose individuelles et les objectifs de dose collective permet de déterminer les modifications à apporter à la conception avant la construction pour atteindre les objectifs. Des modifications peuvent également être apportées à la conception en vue d'améliorer les conditions dans des installations existantes. Il faut donc entreprendre une évaluation à un stade aussi précoce que possible de la conception afin de conserver toute la latitude voulue pour pouvoir, le cas échéant, modifier la conception originelle. Le processus d'optimisation de la protection est ensuite mis en œuvre au moyen d'une seconde évaluation, plus détaillée, de toutes les tâches en vue de réduire les doses autant qu'il est raisonnablement possible pour qu'elles soient inférieures à ces contraintes de dose ou à ces objectifs, compte tenu des facteurs sociaux et économiques (voir l'exemple donné dans la section 3.1.1.2). Il faudrait prévoir une réévaluation périodique de la situation.

3.1.1.1. Exemple 1 : Contraintes de dose individuelles et indicateurs

Un certain nombre d'organismes ont fixé des contraintes de dose et des indicateurs aux fins de la conception, par exemple pour :

- Les réacteurs de puissance.
 - Dose individuelle annuelle.
 - Dose collective annuelle par unité de capacité installée.
 - Dose individuelle annuelle moyenne au personnel.
- Les opérations de retraitement.
 - Dose individuelle annuelle.
- Les conseillers en radioprotection.
 - Dose individuelle annuelle.
- Les techniciens de laboratoires de recherche.
 - Dose individuelle annuelle.

3.1.1.2. Exemple 2 : Conception d'une grande installation

Cet exemple présente les principaux résultats d'une étude d'optimisation détaillée effectuée au stade de la conception d'une installation de traitement et de

conditionnement de déchets radioactifs de l'industrie nucléaire. Cette installation se compose de deux unités principales, à savoir une unité de fusion (pour les déchets métalliques) et une unité d'incinération (pour les déchets solides ou liquides combustibles et non combustibles). Les différentes étapes de l'étude sont les suivantes :

- a) Première évaluation de la situation d'exposition comportant l'établissement d'estimations approximatives (non compris les travaux de maintenance) :
 - Dose collective : 0,83 homme-Sv/a.
 - Nombre de travailleurs exposés : 63.
 - Niveau de dose individuel moyen par an : 13,2 mSv.

- b) Décision d'effectuer l'étude d'optimisation sur la base des objectifs suivants :
 - Contrainte de dose individuelle : 15 mSv/a afin d'éliminer toute option qui entraînerait une dose individuelle annuelle supérieure à cette valeur.
 - Réduction du niveau des doses individuelles et collectives, la priorité étant donnée aux niveaux de dose individuels les plus élevés.
 - Élimination de toutes les situations d'exposition dans lesquelles l'utilisation d'un appareil de protection respiratoire serait nécessaire pendant plus de deux heures.

- c) Seconde évaluation de la situation d'exposition comportant l'établissement d'une hypothèse plus réaliste et d'une description plus précise des étapes des tâches, qui servira de référence pour l'étude d'optimisation :
 - Dose collective : 0,77 homme-Sv/a.
 - Nombre de travailleurs exposés : 88.
 - Niveau de dose individuel moyen par an : 8,75 mSv.

- d) Étude d'optimisation : détermination des options de protection, quantification de leur efficacité et de leur coût et choix des options optimales (essentiellement amélioration des dispositifs de protection et mise au point d'outils pour travailler à distance). Les résultats finals ont été les suivants :
 - Dose collective : 0,53 homme-Sv/a.
 - Nombre de travailleurs exposés : 93.
 - Niveau de dose individuel moyen par an : 5,7 mSv.

Le tableau I indique la distribution des doses individuelles avant et après l'étude d'optimisation. Cet exemple a essentiellement pour objet de montrer que

TABLEAU I. DISTRIBUTION DES DOSES INDIVIDUELLES AVANT ET APRÈS UNE ÉTUDE D'OPTIMISATION (NON COMPRIS LES TRAVAUX DE MAINTENANCE)

	Nombre de travailleurs par plage de doses individuelles annuelles			
	<5 mSv/a	5–10 mSv/a	10–15 mSv/a	15–20 mSv/a
Unité de fusion				
Avant optimisation	15	13	8	5
Après optimisation	36	7	3	0
Unité d'incinération				
Avant optimisation	8	14	15	10
Après optimisation	9	37	1	0

la mise en œuvre des options de protection permet de réduire à la fois la dose collective annuelle et la dose individuelle moyenne, même s'il a fallu pour cela augmenter légèrement le nombre des personnes exposées afin de respecter la contrainte de dose individuelle.

3.1.2. Stade de l'exploitation

Au cours de l'exploitation d'une installation, les responsables (y compris les radioprotectionnistes) devraient évaluer régulièrement (par exemple tous les ans) la situation générale en matière d'exposition dans l'installation afin :

- De déterminer les tendances générales ;
- De contrôler les écarts éventuels ;
- De vérifier l'efficacité du programme de radioprotection, y compris le plan ALARA ;
- De déterminer les principaux domaines à améliorer ;
- De déterminer les objectifs futurs en matière de doses.

Les principaux indicateurs utilisés à cette fin sont habituellement les tendances annuelles concernant la dose collective totale en exploitation et les distributions des doses individuelles annuelles (voir l'exemple donné dans le tableau II). Lorsque les diverses tâches caractérisant la situation d'exposition peuvent être regroupées en différentes catégories et que plusieurs types de travailleurs (par exemple ouvriers, techniciens et ingénieurs) sont concernés, les indicateurs peuvent être précisés pour chaque catégorie de tâches et type de travailleur afin de permettre de mieux analyser la situation. On peut les analyser séparément en vue d'évaluer les tendances

TABLEAU II. EXEMPLE 3 : ANALYSE DE L'ÉVOLUTION DES DONNÉES CONCERNANT LES DOSES POUR DES TRAVAILLEURS PROFESSIONNELLEMENT EXPOSÉS EN RADIOGRAPHIE INDUSTRIELLE PENDANT LA PÉRIODE 1990–1996

	1990	1992	1994	1996
Dose collective (homme-Sv)	3,8	4,1	2,6	2,5
Dose moyenne (mSv)	1,4	1,6	1,3	1,6
Nombre de doses supérieures à 15 mSv	37	22	29	9

Note : Les données pour la période 1990–1992 ont incité à procéder à un réexamen des pratiques de travail en radiographie industrielle, qui s'est traduit par des réductions aussi bien de la dose individuelle que de la dose collective.

en matière d'expositions professionnelles dans l'installation et de les comparer aux tendances observées dans des installations analogues (au niveau national ou international) aux fins de référenciation.

Outre l'évaluation globale des tendances, il faut également vérifier si les objectifs dosimétriques particuliers, les contraintes de dose, etc., fixés dans le cadre du processus d'optimisation (par exemple les doses individuelles annuelles maximums et la dose collective par an et par catégorie de tâches), sont respectés.

Il faut aussi évaluer des indicateurs moins quantifiables de l'efficacité d'un programme de radioprotection (voir l'exemple donné dans la section 3.1.2.1). Du point de vue de l'organisation du travail, ces indicateurs moins quantifiables comprennent :

- L'engagement en faveur de l'optimisation de la radioprotection de la part de toutes les personnes dont les fonctions sont directement ou indirectement liées à la gestion des tâches sous rayonnements, depuis la haute direction jusqu'aux différents travailleurs qui sont exposés aux rayonnements ;
- Le niveau de connaissances de ces travailleurs concernant les divers objectifs dosimétriques (par exemple sensibilisation des travailleurs sur le tas à des questions telles que les objectifs annuels ou les objectifs liés aux tâches) ;
- La participation des travailleurs et de la hiérarchie aux études d'optimisation de la radioprotection ;

- La qualité des systèmes d'information et l'efficacité de la diffusion des informations ;
- La formation continue des travailleurs en ce qui concerne les modifications et les améliorations apportées aux processus d'optimisation.

Lorsqu'ils effectuent toutes ces évaluations périodiques, les responsables ne doivent pas perdre de vue le fait que, même si la situation d'exposition paraît satisfaisante au niveau de l'installation et par rapport à des situations d'exposition analogues dans d'autres installations, il reste peut-être possible (ou nécessaire) de réduire encore les doses. L'optimisation est un processus dynamique, dont il faut toujours remettre les résultats en question.

3.1.2.1. Exemple 4 : Participation du personnel au processus d'évaluation des expositions

Le processus d'évaluation des expositions devrait, d'une façon ou d'une autre, impliquer tous les travailleurs qui sont exposés professionnellement. Une équipe de base qui donne des orientations générales pour ce processus et le planifie est essentielle à cette fin. De même, il faut que cette équipe de base se compose de personnes n'appartenant pas au département de radioprotection. La personne qui la dirige (ou l'anime) pourra appartenir à ce département, mais la majorité de ses membres devraient être des représentants d'autres services.

3.2. ÉVALUATION ET ANALYSE DE TÂCHES DÉTERMINÉES

3.2.1. Évaluation préalable de toutes les tâches sous rayonnements

Indépendamment de l'évaluation périodique de la situation générale en matière d'exposition, il faudrait, dans le cadre de la planification de toutes les tâches susceptibles d'entraîner une exposition professionnelle, procéder dès que possible avant le début d'une tâche à une vaste évaluation des niveaux des doses collectives et individuelles directement associées à cette tâche. Cette évaluation devrait être effectuée par le service responsable, c'est-à-dire par le service qui se chargera effectivement de la tâche, en étroite coopération avec le service de radioprotection et avec son concours. Elle doit reposer sur une description technique de la tâche et être associée à une évaluation des conditions radiologiques dans lesquelles cette tâche sera effectuée.

Les objectifs d'une évaluation préalable des niveaux d'exposition dus à des tâches pourront être notamment les suivants :

- Obtenir les éléments nécessaires pour définir et élaborer des objectifs dosimétriques pour ces tâches ;
- Déterminer les conditions d'exposition (par exemple où, quand et comment les travailleurs sont exposés) ;
- Mettre en contact les personnes appropriées tant du service responsable que du service de radioprotection ;
- Déterminer les tâches à analyser de manière plus approfondie en vue d'améliorer la radioprotection.

L'ampleur de l'évaluation, de la planification et de l'examen devrait être en rapport avec les doses estimées qui sont liées aux tâches en question. Il pourra être utile de déterminer une valeur de référence pour les doses individuelles ou collectives de telle façon que, si l'estimation de l'exposition due à une tâche devait dépasser cette valeur prédéterminée, une nouvelle analyse formelle serait effectuée afin de définir les options offertes pour réduire les doses, après quoi la direction procéderait à un examen des activités d'évaluation et de planification. Les catégories de tâches et les examens ALARA correspondants proposés par le Conseil national pour la protection et les mesures radiologiques sont indiqués dans l'exemple du tableau III [11]. La valeur de référence sera probablement différente pour chaque type d'installation.

TABLEAU III. EXEMPLE 5 : CRITÈRES DE DOSE COLLECTIVE POUR DÉTERMINER L'AMPLEUR D'UNE ANALYSE DES TÂCHES

Catégorie	Estimation des doses	Examen
1	<10 homme-mSv	Par un technicien de radioprotection dans le cadre de l'établissement d'un permis de travail sous rayonnements
2	10–50 homme-mSv	Par un technicien de radioprotection et un responsable de la radioprotection
3	50–500 homme-mSv	Par un responsable de la radioprotection et un ingénieur chargé de la planification ALARA L'estimation des doses et les techniques prévues pour les réduire doivent faire l'objet d'un rapport préalable adressé à la hiérarchie
4	>500 homme-mSv	Outre ce qui précède, examen par la hiérarchie de la centrale ou un comité ALARA

Les tâches à analyser de manière plus approfondie peuvent également être choisies par comparaison avec les résultats obtenus antérieurement pour le même type de tâches (dans l'installation considérée ou dans d'autres installations comparables), lesquels peuvent révéler qu'il est possible de faire mieux. Dans ce cas, non seulement l'évolution des doses collectives mais aussi celle des principaux paramètres contribuant aux expositions (à savoir les débits de dose, la durée de la tâche et le nombre des travailleurs) sont importantes. L'analyse de l'évolution des doses collectives associées à des tâches répétitives (telles que les travaux de maintenance annuels courants) ou à des tâches analogues effectuées en différents endroits devrait être complétée par une analyse du débit de dose ambiant ainsi que de la charge d'exposition (temps total passé par l'ensemble de l'équipe dans une zone de travail, mesuré en personne-heures) afin de déceler les changements éventuels dans les conditions radiologiques ou techniques d'une tâche à une autre (voir l'exemple donné dans la section 3.2.1.1). Ce type d'analyse peut montrer qu'une augmentation de la dose collective n'est pas due à une exécution peu satisfaisante d'une tâche mais à un accroissement du débit de dose ambiant (de la même manière, une réduction de la dose collective due exclusivement à une diminution du débit de dose ambiant peut être annulée par un accroissement du nombre des travailleurs exposés ou de la durée de l'exposition).

3.2.1.1. Exemple 6 : Analyse de tâches analogues effectuées successivement dans différents lieux de travail

Cet exemple illustre le type d'analyse qui peut être effectué lorsque l'on considère l'évolution des doses pour une tâche exécutée plusieurs fois par la même équipe (c'est-à-dire le même nombre de travailleurs) mais dans des lieux de travail différents.

La première étape de l'évaluation consiste habituellement en une analyse de l'évolution de la dose collective. Dans cet exemple (voir le tableau IV), il apparaît que la dose collective associée à la tâche diminue progressivement, ce qui semble dénoter une meilleure exécution de la tâche et une amélioration de l'efficacité du travail.

TABLEAU IV. ÉVOLUTION DE LA DOSE COLLECTIVE

	Séquence de travail				
	1	2	3	4	5
Dose collective (homme-mSv)	36	30	24	17	15

Toutefois, comme la tâche a été effectuée dans des lieux de travail différents, il est nécessaire, pour pouvoir interpréter convenablement l'évolution de la dose (tableau V), d'examiner les débits de dose ambiants et la charge d'exposition. Le tableau V montre que, si la dose collective due à la tâche diminue, le temps mis pour l'exécuter augmente. La diminution de la dose collective est due uniquement à une réduction du débit de dose ambiant. Du point de vue de l'optimisation de la protection, ce résultat appellerait une analyse plus approfondie de la façon dont la tâche a été exécutée afin de vérifier si des incidents ou des problèmes techniques sont éventuellement à l'origine de l'accroissement de la charge d'exposition.

3.2.2. Analyse des situations d'exposition liées à des tâches particulières dans le cadre de l'exécution d'une étude détaillée aux fins de l'optimisation de la radioprotection

Une analyse détaillée est une étape nécessaire dans l'exécution d'études d'optimisation de la radioprotection (voir fig. 2). Elle est normalement effectuée non seulement pour les tâches retenues dans les évaluations globales de l'exposition, mais aussi pour tous les nouveaux travaux importants. En outre, il faudrait effectuer une analyse périodique de toutes les tâches sous rayonnements dans l'installation considérée en vue de déterminer ce qui pourrait être fait pour réduire les niveaux de dose (même si les niveaux de radioexposition professionnelle associés à ces tâches paraissent satisfaisants).

Ces analyses ont pour objet de déterminer les facteurs éventuels qui contribuent au niveau de dose susceptible d'être amélioré ou modifié. Elles devraient se fonder sur une description précise de toutes les tâches effectuées pour un travail, du point de vue radiologique, technique et environnemental (ce qui correspond à une description de la zone). Il faut donc obtenir des informations détaillées concernant le temps d'exposition, le nombre de travailleurs en cause, les débits de dose ambiants dans les zones de travail,

TABLEAU V. INTERPRÉTATION DE L'ÉVOLUTION DE LA DOSE

	Séquence de travail				
	1	2	3	4	5
Dose collective (homme-mSv)	36	30	24	17	15
Débit de dose ambiant (mSv/h)	0,4	0,3	0,3	0,2	0,1
Charge d'exposition (personne-heures)	90	100	80	85	150

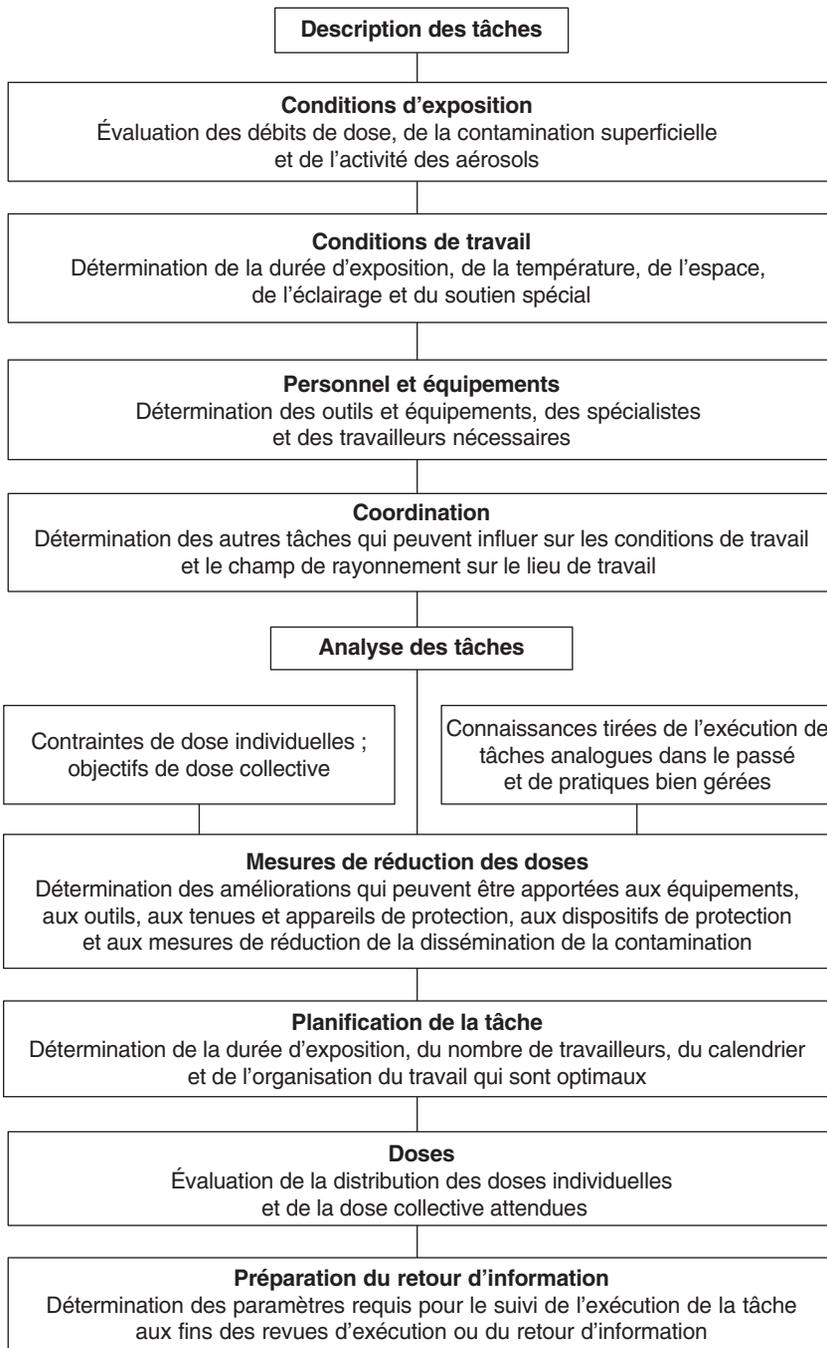


FIG. 2. Analyse des tâches.

l'utilisation de tenues, de procédures et d'outils de protection et la configuration des zones de travail (y compris les critères ergonomiques, la position éventuelle des dispositifs de protection, les échafaudages, les matériaux et les outils). Les divers groupes de travailleurs qui collaborent à la préparation ou à l'exécution de ces tâches et qui sont directement impliqués dans la détermination des moyens de réduire les expositions doivent participer à la collecte des données et aux analyses des tâches.

3.3. COMMENT OBTENIR LES DONNÉES

3.3.1. Niveau de l'installation et niveau national

Au niveau interne dans une installation, un moyen important d'assurer une évaluation efficace des situations d'exposition consiste à mettre en place un système complet d'information permettant de recueillir, d'analyser et de stocker des données. Ainsi qu'il a été indiqué plus haut, ces données ne se limitent pas aux données dosimétriques mais concernent également, entre autres facteurs, l'exécution d'une tâche et les conditions de travail courantes.

Ces données peuvent être collectées directement, que ce soit avant, pendant ou après l'exécution des tâches. Dans certains cas, le moyen le plus efficace de les obtenir est d'utiliser des relevés remplis systématiquement par le personnel chargé de la radioprotection ou par les contremaîtres à la fois pendant et après l'exécution des travaux. Ces relevés n'ont pas besoin d'être compliqués : de simples cartes peuvent suffire dans bien des cas. Quand on collecte des données concernant des tâches répétitives, il est important, pour l'exactitude de l'analyse, que les séries successives de données recueillies soient cohérentes. Dans les situations d'exposition complexes (c'est-à-dire celles qui mettent en jeu plusieurs sources ou qui comportent plusieurs types de tâches), des systèmes de collecte informatisés, qu'il est très facile d'associer à un système électronique de dosimétrie opérationnelle, peuvent être utiles pour recueillir ces informations.

Dans certains cas, par exemple au stade de la conception d'une installation ou pour une tâche nouvelle ou quand aucune information n'est disponible, il peut être nécessaire de recourir à un logiciel spécial qui facilite :

- Les évaluations des débits de dose et de leur évolution éventuelle dans le temps ;
- Les simulations des tâches prévues dans leur environnement ;
- Les regroupements des données relatives à toutes les tâches prévues (pour les débits de dose ambiants, la durée d'exposition et le nombre des travailleurs exposés) dans l'installation considérée, afin d'obtenir des indicateurs plus génériques.

Aux fins des évaluations, il est également utile de procéder à des examens ou à des enquêtes internes, en particulier à des examens portant sur la sensibilisation des travailleurs et les autres types de facteurs humains ou organisationnels qui sont à l'origine de résultats médiocres. Pour obtenir une évaluation plus objective, il peut aussi être judicieux de demander une enquête externe, laquelle peut être réalisée, par exemple, sous la forme d'examens par des pairs effectués en alternance par deux installations qui s'évaluent mutuellement.

Il peut souvent être utile d'utiliser des bases de données nationales si l'on ne dispose pas d'informations sur les tâches afin de se faire une idée de la bonne pratique ou de déterminer les domaines auxquels il faut prêter attention (voir l'exemple donné dans la section 3.3.1.1).

3.3.1.1. Exemple 7 : Système d'information de l'AIEA sur les organismes de réglementation

Afin d'aider les organismes de réglementation de ses États Membres, l'AIEA a mis au point le Système d'information sur les organismes de réglementation (RAIS), qui est en cours d'introduction dans quelque 70 pays bénéficiant d'une assistance de l'AIEA. Ce système se compose de cinq modules, dont un a trait à la surveillance des doses individuelles. Ce module fournit à l'organisme de réglementation les informations dont il a besoin sur l'exposition professionnelle pour contrôler la sûreté d'exploitation. Il fournit également des comparaisons avec des niveaux de référence, tels que les niveaux d'investigation, et avec les contraintes et les limites de dose, ainsi que des rapports sur les doses supérieures aux niveaux de référence.

3.3.2. Niveau international

Pour certains types de situations d'exposition, il existe des bases de données internationales qui regroupent des informations dosimétriques par types de tâches sous rayonnements dans diverses installations.

On peut trouver des données internationales concernant tous les types de travaux dans les rapports publiés périodiquement par l'UNSCEAR sur les sources et les effets des rayonnements ionisants [21]. Ces rapports contiennent des données détaillées sur les expositions professionnelles dans divers secteurs industriels et sur celles qui sont dues à divers types de sources dans différents pays. Les principaux groupes de catégories professionnelles utilisés dans lesdits rapports sont constitués par le cycle du combustible nucléaire, les utilisations médicales des rayonnements, leurs utilisations industrielles, les sources naturelles de rayonnement et les activités liées à la défense. À l'intérieur de chaque groupe, des distinctions sont faites entre les grands types de pratiques. Pour ces pratiques, les données recueillies concernent, pour chaque pays qui en a communiquées, le nombre de travailleurs contrôlés, la dose

effective collective annuelle totale, la dose individuelle annuelle moyenne et la distribution du nombre des travailleurs et de la dose collective totale par plage de doses individuelles. Dans le cas des centrales nucléaires, un système plus précis a été mis au point (voir l'exemple donné dans la section 3.3.2.1).

3.3.2.1. Exemple 8 : Système d'information sur l'exposition professionnelle

Pour les expositions professionnelles dans les centrales nucléaires, on bénéficie depuis 1992 d'un programme international intitulé « Système d'information sur l'exposition professionnelle » (ISOE). Ce programme a été lancé par l'AEN/OCDE en vue de faciliter l'échange de données d'expérience touchant à la gestion de l'exposition professionnelle entre les compagnies d'électricité et les organismes de réglementation du monde entier. Depuis 1993, l'AIEA en assure le coparrainage afin de permettre à ses États Membres qui ne font pas partie de l'AEN/OCDE d'y participer, et les deux organisations ont créé un secrétariat commun pour l'ISOE en 1997.

Le programme ISOE gère une base de données internationale sur les expositions professionnelles et comprend un réseau permettant aux participants d'obtenir ou d'échanger tous les types d'informations concernant la radioprotection dans les centrales nucléaires. À la fin de 2000, la base de données de l'ISOE contenait des données provenant de 92% des réacteurs nucléaires en service industriel dans le monde.

À chaque compagnie d'électricité qui en fait partie, l'ISOE fournit la base de données, laquelle contient des informations détaillées sur les doses individuelles et les doses collectives associées aux principales activités effectuées pendant les arrêts pour rechargement et en dehors, une description des caractéristiques de conception particulières des divers types de réacteurs et des formulaires pour le retour d'expérience sur des tâches particulières effectuées par certaines compagnies d'électricité. Un rapport annuel contient une analyse des données et une récapitulation des principaux événements survenus dans les pays participants qui ont pu influencer sur l'évolution de l'exposition professionnelle [20].

4. MOYENS DE RÉDUIRE L'EXPOSITION

4.1. INTRODUCTION

À l'issue d'une évaluation, on peut établir qu'il est nécessaire de réduire les doses et qu'il existe un moyen d'y parvenir. Les méthodes de réduction des doses sont

très diverses et vont de simples ajustements organisationnels à une modification de la conception de l'installation en cause.

Les méthodes permettant de réduire l'exposition sont présentées sous la forme de facteurs (moyens) singuliers et sont applicables en tant que tels. Toutefois, dans bien des situations, une combinaison de ces facteurs (moyens) sera probablement plus efficace. La présente section traite tout d'abord des moyens élémentaires mais indispensables et passe ensuite à des éléments plus techniques.

Ces moyens ne sont pas nécessairement tous applicables à toutes les situations. Il existe de nombreuses possibilités de les utiliser seuls ou en combinaison. La combinaison de moyens à employer et l'ordre relatif de ceux-ci devraient être définis dans un plan ALARA (voir ci-après). La décision quant aux moyens applicables et à ceux qu'il faudrait adopter devrait précéder l'élaboration d'un plan d'action et il en est question dans la section suivante.

Les listes de contrôle sont des outils utiles pour mettre en œuvre les prescriptions d'un programme d'optimisation et leurs applications sont très variées. Elles peuvent notamment servir d'ordre du jour pour une réunion de planification d'une tâche ou de compte rendu d'exécution ou être distribuées aux travailleurs en vue de susciter une réflexion concernant un processus de retour d'information. Il existe divers types de listes de contrôle ; le type de liste employé variera probablement suivant le type et la taille de l'installation en cause (voir les exemples donnés dans l'annexe II).

4.2. MOYENS GLOBAUX DE RÉDUIRE L'EXPOSITION

4.2.1. Planification et ordonnancement des travaux

Une bonne organisation du travail est nécessaire pour optimiser et réduire l'exposition. Le travail doit être organisé et planifié en fonction de la tâche particulière considérée et de ses liens avec toutes les autres tâches exécutées, conformément à un objectif et à un calendrier communs. Pour les décisions concernant le moment où des tâches particulières doivent être exécutées, il faut tenir compte des conditions radiologiques qui règnent à ce moment-là. Il peut y avoir un moment plus judicieux, eu égard aux conditions radiologiques, pour effectuer le travail sans que cela influe sur son calendrier d'achèvement (voir l'exemple donné dans la section 4.2.1.1). Il est utile de commencer par établir un modèle de plan et de calendrier de travail de base afin d'examiner si le plan offre la possibilité d'ajuster le moment précis où il est prévu d'effectuer une tâche. La dose évitée devrait être mise en balance avec la durée et le coût des travaux, compte tenu des incidences éventuelles que toute modification pourra avoir sur le plan d'optimisation de la radioprotection.

Il faudrait considérer la gestion des ressources comme faisant partie intégrante de l'organisation du travail dans l'optimisation de la radioprotection. La plupart des études ont montré qu'une augmentation du nombre des travailleurs pour une tâche particulière en vue de réduire leur exposition individuelle accroît parfois la durée totale de cette tâche et se traduit par des expositions collectives plus élevées que si ladite tâche avait été effectuée par une petite équipe bien entraînée. Il faut examiner en détail et de très près cet aspect de l'organisation du travail pour veiller à ce que les doses soient aussi faibles que possible. Des études des temps et des mouvements ainsi qu'un entraînement sur maquette peuvent aider à assurer une bonne gestion en déterminant précisément le volume de travail requis pour exécuter chacune des étapes de la tâche ainsi que le nombre correct de travailleurs. Ces points sont examinés dans la section 4.3.5.

4.2.1.1. Exemple 9 : Ordonnancement des travaux en fonction de l'évolution des débit de dose

Lorsque les centrales nucléaires sont mises à l'arrêt, les débits de dose au voisinage des tuyauteries et des composants des circuits de refroidissement commencent par augmenter fortement. Les travaux sur ces circuits devraient donc être programmés avant la mise à l'arrêt ou longtemps après celle-ci afin de permettre une purification par échange d'ions et filtration ainsi qu'une certaine décroissance radioactive.

4.2.2. Formation théorique générale des travailleurs

Un personnel informé est essentiel pour tout programme d'optimisation de la protection et de maîtrise de l'exposition. Il faut avoir reçu une formation radiologique de base pour pouvoir entrer dans une zone radioactive quelconque et y effectuer des travaux. La formation pratique à l'optimisation couvre au minimum ses aspects fondamentaux — temps, distance et dispositifs de protection — et leurs liens avec l'optimisation de la protection (voir l'exemple donné dans la section 4.2.2.1). Une formation de requalification à des intervalles prescrits est généralement exigée. Cette formation de requalification comprend normalement un rappel de la formation de base initiale et une revue des règlements, documents d'orientation et protocoles de travail nouveaux en rapport avec le concept d'optimisation.

Des notions fondamentales de radioprotection ne constituent cependant qu'un premier pas. Il faut aussi que les travailleurs connaissent bien l'environnement dans lequel ils travaillent. Ils doivent connaître les pratiques et les principes fondamentaux à suivre pour les travaux sous rayonnements dans les milieux radiologiques particuliers où ils travaillent (tels que les zones radioactives, les zones fortement radioactives, les zones de contamination et les zones d'activité en suspension dans

l'air). Il faut également leur dispenser une formation pratique sur des questions telles que la façon de revêtir et d'enlever une tenue de protection, le port de heaumes et de gants, etc. Une bonne connaissance des milieux physiques est également indispensable. Les travailleurs ont besoin d'indications détaillées concernant par exemple les points d'entrée et de sortie de façon que le temps passé dans les zones radioactives soit réduit au minimum, ce qui diminue l'exposition. Il est également important qu'ils connaissent les débits de dose généraux dans la zone considérée ainsi que les points chauds et les zones d'attente où les doses sont faibles. Des explications complémentaires sont données à ce sujet dans la section 4.2.3.

4.2.2.1. Exemple 10 : Le logiciel de formation RADIOR

Pour expliquer le processus d'optimisation de la radioprotection, un logiciel de formation appelé RADIOR a été mis au point. Il comprend des modules sur les rayonnements ionisants, la gestion des risques radiologiques et l'application du principe d'optimisation ainsi qu'un test des connaissances acquises. Son contenu est pour l'essentiel d'application générale, mais l'exemple concret d'application du principe d'optimisation est tiré de l'industrie nucléaire. RADIOR a été mis au point avec le concours de l'AIEA et du Directeurat général de l'environnement de la Commission européenne. Il est disponible sur disquette auprès de l'AIEA en allemand, en anglais, en espagnol, en français, en russe et en suédois.

4.2.3. Sensibilisation et participation des travailleurs

Les personnes exécutant des tâches dans des zones radioactives peuvent influencer beaucoup sur leurs propres expositions. La sensibilisation des travailleurs a donc un rôle important à jouer dans la réduction des doses (voir l'exemple donné dans la section 4.2.3.1). Cette influence sur les expositions des travailleurs débute au stade de la planification des travaux à effectuer.

Une participation directe à leur planification offre aux travailleurs la possibilité de mettre à profit l'expérience et les leçons tirées pour l'élaboration du plan. Cela leur permet de mieux connaître les risques potentiels et de se sentir concernés par le plan. Connaître les plans ALARA généraux et ceux qui concernent des tâches particulières, c'est notamment savoir quels sont les objectifs relatifs tant à l'exposition annuelle qu'aux expositions pour lesdites tâches. Les intéressés ont ainsi une meilleure attitude et font plus attention aux détails dans l'exécution de leurs tâches et cela conduit à une réduction des expositions.

De nouvelles réductions des expositions peuvent être obtenues grâce à une participation des travailleurs à une évaluation en cours d'exécution, à la revue d'exécution et au retour d'information. Ces processus permettent de recueillir beaucoup d'informations utiles auprès des travailleurs. Le retour d'information et le

processus d'examen doivent s'effectuer dans le cadre d'une discussion ouverte. Il faut que les travailleurs aient l'assurance que leur contribution est appréciée et qu'ils peuvent tirer profit du processus d'optimisation.

Il existe d'autres moyens d'améliorer la sensibilisation des travailleurs. Des panneaux peuvent être disposés dans les zones de travail des installations à des endroits où les travailleurs peuvent les voir aisément, à titre de rappels constants du danger potentiel et de la nécessité de réduire l'exposition au minimum. Sur ces panneaux peuvent figurer par exemple des inscriptions telles que « Zone d'attente peu radioactive », « Ne pas s'attarder dans cette zone » et d'autres mises en garde concernant le danger potentiel que présente la manipulation de matières radioactives. De tels panneaux d'information sont très efficaces s'ils se distinguent les uns des autres par la taille et la couleur, s'ils sont manifestement différents des autres panneaux d'information et s'ils sont expressément considérés comme appropriés pour l'optimisation de la protection. L'emploi de dosimètres électroniques affichant lisiblement les niveaux de doses cumulés et les intensités de rayonnement actuelles sont également efficaces pour renseigner les travailleurs sur les conditions radiologiques ambiantes. On améliore encore la sensibilisation en affichant les résultats des enquêtes radiologiques à l'entrée des salles où il existe un danger radiologique de quelque type que ce soit.

Les travailleurs devraient par ailleurs être avertis que les zones à débits de dose élevés font normalement l'objet d'un contrôle d'accès sous une forme ou sous une autre, qui est assuré soit par l'emploi de systèmes de verrouillage, soit en exigeant qu'une personne désignée accompagne les travailleurs qui pénètrent dans une telle zone. En plus des procédures proprement dites, il faut expliquer pourquoi des contrôles d'accès sont introduits afin que les travailleurs ne soient pas tentés de tourner les mesures de protection par ignorance.

Une mesure supplémentaire qui favorise la sensibilisation des travailleurs consiste à étiqueter les matières radioactives de manière appropriée. La réglementation peut exiger l'apposition de certains types d'étiquettes qui donnent un minimum d'informations directement liées aux conditions radiologiques existantes, mais des informations supplémentaires, telles que des instructions pour la manipulation ou des précisions sur les outils de manipulation requis, accroissent encore la sensibilisation des travailleurs. Les étiquettes et les panneaux doivent tous être rédigés dans la ou les langue(s) que connaissent le mieux les travailleurs auxquels ils s'adressent.

4.2.3.1. Exemple 11 : Radiographie industrielle mobile

Une étude portant sur 700 radiographes travaillant avec des appareils mobiles de radiographie industrielle a été effectuée. Il a été constaté qu'environ 240 d'entre eux recevaient des doses annuelles supérieures à 5 mSv. Des investigations

approfondies ont permis de déterminer que les raisons pour lesquelles les radiographes recevaient des doses plus élevées qu'il n'était nécessaire étaient les suivantes :

- Conditions de travail difficiles,
- Non-respect des procédures opérationnelles fixées conformément à la réglementation sur la radioprotection,
- Utilisation d'appareils anciens.

Il a été établi qu'une des mesures les plus efficaces pour réduire les doses consisterait à former et à mieux sensibiliser les travailleurs, ce qui a été fait avec la participation à la fois de l'organisme de réglementation et des entreprises employant les radiographes.

4.2.4. Communication

La communication tient une place essentielle dans tout effort de réduction de l'exposition. Une communication régulière est nécessaire entre la direction, l'encadrement et le personnel à tous les échelons. Les travailleurs doivent être encouragés à communiquer avec la direction soit directement, soit au moyen d'une procédure formelle. Cela s'inscrit en grande partie dans le processus de retour d'information, dont il est question plus avant dans la section 5.3. Une participation des travailleurs à la définition des options de réduction des doses et à l'examen des considérations pratiques concernant leur adoption est également nécessaire.

4.2.4.1. Exemple 12 : Amélioration de la communication au moyen de boîtes à suggestions

Dans une installation, il faut que tout travailleur dispose d'un moyen de communiquer des idées, des enseignements retirés et des bonnes pratiques. Une méthode possible consiste à utiliser un simple formulaire de suggestions. Les formulaires et les boîtes pour les suggestions peuvent être disposés en divers points d'une installation. Les informations à donner dans le formulaire devraient comprendre le sujet de préoccupation (c'est-à-dire ce qui entraîne une exposition plus élevée qu'il n'est nécessaire), les propositions éventuelles pour y remédier et, facultativement, le nom de la personne qui a soumis le formulaire. La personne chargée de répondre à ce sujet de préoccupation devrait évaluer le problème et, le cas échéant, les solutions proposées. Qu'il soit possible ou non de donner suite à une proposition quelconque, une réponse écrite indiquant les résultats de l'évaluation devrait être adressée aux personnes qui ont soumis des formulaires.

4.3. MOYENS DE RÉDUIRE L'EXPOSITION POUR DES TÂCHES PARTICULIÈRES

4.3.1. Conception de l'installation et des équipements

Le moyen général le plus efficace de réduire l'exposition réside dans une conception initiale de l'installation qui tient compte de la nécessité d'optimiser la protection. Dans certaines installations modernes, on va jusqu'à éliminer complètement les expositions dues aux incorporations de radionucléides en recourant au confinement et à la télémanipulation ou, dans le cas d'une installation de radiothérapie, à supprimer l'exposition externe en recourant au travail à distance et à des dispositifs de protection. Il s'agit là d'exemples extrêmes, mais on ne saurait trop insister sur l'importance qu'il y a de prêter attention à la protection au stade de la conception. Les personnes qui participent à la conception d'installations doivent donc connaître parfaitement les conséquences de l'exigence d'optimisation.

Un autre moyen important de réduire l'exposition des travailleurs réside dans une bonne conception des équipements. Pour leur conception, il faut tenir pleinement compte de l'exposition des travailleurs qui les utiliseront, et un vaste système d'assurance de la qualité est nécessaire pour veiller à ce que la construction, l'exploitation, la maintenance et la modification des sources et des équipements satisfassent aux prescriptions pertinentes. Les capacités humaines doivent être prises pleinement en considération dans la conception et la construction.

Des modifications de la conception peuvent constituer un moyen efficace de réduire l'exposition. Comme exemple on peut citer l'installation de dispositifs de protection permanents dans des zones où l'on utilise fréquemment des dispositifs de protection provisoires (voir l'exemple donné dans la section 4.3.1.1). D'autres types de modifications de la conception peuvent apporter des améliorations à de nombreux aspects de l'environnement des travailleurs en améliorant l'accès, en accroissant l'efficacité et en facilitant l'exécution des tâches. L'amélioration de l'efficacité accroît la sûreté et réduit l'exposition. On a souvent tendance à les écarter en raison de leur coût, mais les modifications de la conception sont efficaces pour réduire l'exposition dans les installations qui sont déjà en service. Des modifications de la conception qui permettent d'optimiser la protection tout en améliorant la sécurité du travail et en accroissant la production sont susceptibles à la fois d'abaisser les coûts et de réduire l'exposition. C'est là un aspect important de l'optimisation, car il déborde les frontières avec d'autres programmes et peut conduire à des améliorations dans plusieurs d'entre eux.

Les modifications de la conception sont normalement prévues dans la composante à long terme d'un plan ALARA en raison des délais nécessaires pour les études techniques et le processus de budgétisation requis. En conséquence, on les évalue initialement en vue de déterminer simplement les possibilités de réduire

l'exposition. Par la suite, les modifications peuvent être évaluées à fond pour ce qui est de la réduction de l'exposition, de leur faisabilité et de leur coût.

4.3.1.1. Exemple 13 : Facteurs à considérer pour décider de la nécessité d'installer des dispositifs de protection permanents

Il se peut qu'en raison de la conception initiale d'une installation des échafaudages provisoires soient fréquemment nécessaires (par exemple pour les travaux de maintenance sur des composants tels que les générateurs de vapeur). Des évaluations de la nécessité de remplacer les échafaudages provisoires par des plates-formes permanentes font immédiatement apparaître des réductions des doses, étant donné qu'il n'est plus nécessaire d'installer des échafaudages à chaque cycle de rechargement en combustible. Les doses reçues lors de l'installation des plates-formes ne le sont qu'une seule fois. Les plates-formes permanentes ont aussi d'autres avantages : elles sont intrinsèquement plus sûres et présentent donc un risque moindre du point de vue de la sécurité du travail. Les travailleurs peuvent en outre s'acquitter de leurs tâches plus efficacement sans les volumineux harnais de sécurité qui sont nécessaires sur les échafaudages provisoires. Une évaluation, telle qu'elle serait présentée à la direction, ferait donc apparaître :

- Une réduction des coûts de main-d'œuvre du fait qu'il n'est pas nécessaire de monter et de démonter des échafaudages provisoires,
- Une réduction des coûts de main-d'œuvre due à l'accroissement de l'efficacité du travail (une réduction de la durée se traduit par une réduction des dépenses),
- Un accroissement de la sécurité du travail et de la confiance des travailleurs dans la sécurité du travail,
- Une réduction de l'exposition aux rayonnements du fait qu'il n'est pas nécessaire de monter et de démonter des échafaudages provisoires,
- Une réduction supplémentaire de l'exposition aux rayonnements due à l'accroissement de l'efficacité du travail.

4.3.2. Réduction du temps passé dans les zones radioactives

Une réduction du temps passé dans une zone radioactive entraîne toujours une réduction de l'exposition (voir l'exemple donné dans la section 4.3.2.1), mais il faut le réduire sans compromettre la qualité des résultats souhaités. Les réductions de l'exposition sont vaines si le travail doit être refait. La planification joue un rôle essentiel dans la réduction du temps passé dans les zones radioactives. Une bonne planification des tâches peut le réduire de différentes manières.

Veiller à ce que l'ensemble des outils, des fournitures et des autres équipements nécessaires soient disponibles sur le chantier réduira les délais. Faire en sorte que les instruments soient en bon état de fonctionnement réduira la probabilité que le travail et les essais doivent être refaits. Il est fondamental de disposer des outils appropriés pour la tâche particulière à exécuter. Certaines tâches peuvent exiger des outils spécialement conçus pour elles, qui peuvent être fabriqués dans l'installation où ces tâches doivent être exécutées. Cela est particulièrement utile, car le plus souvent la personne qui conçoit et fabrique l'outil sera celle qui effectuera le travail. Les travailleurs seront ainsi davantage sensibilisés tant au travail lui-même qu'aux considérations touchant l'optimisation et les connaîtront mieux.

Le fait pour le personnel de connaître les exigences d'une tâche peut en outre réduire le nombre de personne-heures passées dans une zone radioactive. Pour le familiariser avec les exigences du travail, on peut recourir à des exercices ou à des maquettes d'entraînement (voir la section 4.3.5). Par ailleurs, le recours à des travailleurs ayant déjà effectué une tâche antérieurement contribuera à une réduction du temps nécessaire. Dans ce cas, cependant, il y a un risque de déséquilibre entre les travailleurs pour ce qui est des doses reçues. Il est beaucoup plus utile de disposer de plusieurs travailleurs familiarisés avec la même tâche que d'un seul spécialiste. Cela aidera aussi, au besoin, à réduire le temps nécessaire pour des tâches complexes qui exigeront plus d'un ou deux travailleurs.

L'environnement de travail et toutes les diverses formes d'équipements et de tenues de protection peuvent aussi influencer sur le temps nécessaire pour effectuer une tâche particulière (c'est-à-dire sur l'efficacité des travailleurs). La planification d'une tâche comporte une évaluation de sa durée et de la dose correspondante avec et sans tenues de protection, équipements de protection (tels qu'une protection respiratoire) et mesures de prévention techniques (par exemple utilisation d'un ventilateur portatif pour abaisser la température ambiante). Il faut tenir compte de la dose estimée associée à la mise en place de tout équipement portatif ainsi que des doses que les travailleurs devraient recevoir lors de l'exécution d'une tâche. D'une manière générale, on constate que l'emploi de tenues de protection accroît le temps mis pour faire un travail et, partant, la dose due à l'exposition externe. Il réduira cependant l'exposition interne ou la probabilité d'une telle exposition, pour laquelle l'estimation des doses est moins fiable. L'optimisation aboutit notamment à un choix judicieux des tenues de protection, eu égard à toutes ces considérations.

4.3.2.1. Exemple 14 : Facteurs allongeant le temps d'exposition

Des conditions de travail médiocres sont susceptibles d'allonger sensiblement le temps passé par les travailleurs dans les zones radioactives. Une étude destinée à quantifier l'effet sur le temps d'exposition de certaines conditions de travail associées aux tâches de maintenance dans les centrales nucléaires a montré, par exemple,

qu'un éclairage insuffisant d'une zone de travail, un fort bruit ambiant sans emploi de liaisons audio entre les travailleurs ou l'encombrement peuvent entraîner un allongement du temps d'exposition allant jusqu'à 20% par rapport au même travail effectué avec un éclairage adéquat ou dans une zone non couverte.

Des analyses des opérations de maintenance courante et post-incident dans des centrales nucléaires ont montré que des anomalies ou des conditions de travail médiocres pouvaient allonger de 20 à 30% en moyenne le temps d'exposition associé à ces opérations. Il a été déterminé que les principales causes des anomalies résidaient dans une préparation insuffisante du travail (par exemple échafaudages non adaptés à la situation, problèmes d'ordonnancement), l'emploi d'outils inappropriés ou ne fonctionnant pas correctement et le manque de formation pratique.

L'utilisation de tenues et d'équipements de protection peut influencer beaucoup sur la durée et la qualité du travail. Une étude effectuée à l'aide de maquettes a montré que l'incidence du port d'une tenue de protection sur la durée du travail dépendait du type de tenue portée et pouvait varier selon le type de travail à effectuer. Ainsi, dans le cas d'un travail de précision effectué dans une zone encombrée, l'emploi d'une combinaison en caoutchouc munie d'un heaume ventilé peut allonger le temps de travail dans une proportion allant jusqu'à 30% par rapport à celui qu'exigerait la même tâche effectuée avec une combinaison en coton. Pour la même tâche, l'emploi d'une combinaison en caoutchouc avec un masque intégral ventilé, qui assure le même degré de protection contre la contamination interne mais est beaucoup plus encombrant, peut entraîner un accroissement allant jusqu'à 65% du temps nécessaire pour ladite tâche. Cet exemple montre que, pour le choix de la tenue de protection, il faut tenir compte des facteurs ergonomiques liés aux tâches à exécuter (tels que le degré d'effort, la précision requise ou la durée des tâches). L'emploi d'une tenue de protection et la procédure de travail devraient être pris en considération dans la conception des outils à utiliser.

4.3.3. Réduction du nombre de travailleurs requis

On peut optimiser le nombre des personnes participant à une tâche en supprimant celles qui sont superflues et en utilisant seulement le nombre minimum de travailleurs requis pour exécuter cette tâche. Comme dans le cas de la réduction du temps de travail, il faut le faire sans réduire la qualité des résultats souhaités ni compromettre la sécurité du personnel. On peut définir le personnel superflu comme étant celui qui ne s'acquitte pas d'une tâche précise. Les personnes qui effectuent des observations ou des tâches n'exigeant pas un contact physique ou direct avec le composant considéré ou la zone dans laquelle le travail est exécuté peuvent être retirées de la zone radioactive en question pour être envoyées dans une zone où l'intensité de rayonnement est plus faible. Ces personnes peuvent être invitées à faire leur travail rapidement et à retourner ensuite dans cette dernière zone. Le recours à la

télévidéo, à des moyens audio et à la télédosimétrie, si de tels moyens sont disponibles, peut rendre superflus les travailleurs affectés à des tâches d'observation. La planification du travail peut également aider : on peut par exemple prévoir qu'une personne s'acquittera de plus d'une seule tâche lorsqu'elle se trouve dans une zone ou qu'elle porte la tenue de protection appropriée.

4.3.4. Réduction des débits de dose

Les méthodes de réduction des débits de dose diffèrent suivant l'application et l'environnement dans l'installation considérée. Dans les installations possédant des circuits qui contiennent des fluides radioactifs, les débits de dose peuvent changer avec l'état des circuits, en sorte qu'ils peuvent être élevés autour des tuyauteries en général, dans des endroits précis (points chauds) ou les deux à la fois. Ces débits de dose élevés peuvent être maîtrisés et réduits au minimum, voire éliminés, par des méthodes telles que l'application de mesures de contrôle pour la chimie des circuits, la filtration, l'échange d'ions et le rinçage.

D'autres méthodes destinées à réduire sensiblement les débits de dose dans l'environnement des réacteurs consistent par exemple à améliorer la chimie de l'eau, à modifier les procédures d'arrêt et à recourir à l'injection de zinc. Dans le domaine médical, la modification des procédures, par exemple le passage de la curiethérapie par insertion directe à la curiethérapie avec chargement différé, peut réduire fortement les débits de dose pour les travailleurs. Ces méthodes relèvent davantage de la gestion générale d'une installation, mais elles servent à illustrer l'importance d'une participation des hauts responsables au processus d'optimisation.

Si une salle, une zone ou un composant est fortement contaminé, la contamination pourrait contribuer aux débits de dose localement ou dans l'ensemble de la zone et entraîner des doses plus élevées aux travailleurs. Une décontamination du composant ou de la zone en question pourrait réduire les débits de dose. Pour qu'il y ait optimisation, il faut que les doses reçues lors du processus de décontamination soient compensées par les doses évitées.

Des dispositifs de protection provisoires peuvent réduire efficacement les intensités de rayonnement dans diverses applications. Il faut évaluer toutes les tâches pouvant donner lieu à des niveaux de dose élevés pour déterminer si l'installation de dispositifs de protection provisoires serait efficace. Il faudrait procéder à une évaluation en vue de déterminer les avantages que présenterait l'installation de dispositifs de protection provisoires pour ce qui est de la réduction des débits de dose. Cette évaluation doit reposer notamment sur les doses estimées que recevront les travailleurs qui feront le travail avec et sans cette protection. La différence entre ces doses estimées est comparée aux doses qui seraient reçues lors de l'installation et de l'enlèvement des dispositifs de protection provisoires. Si la réduction des doses qui serait obtenue grâce à la mise en place de dispositifs de protection n'est pas

supérieure aux doses reçues lors de l'installation de ces dispositifs, il n'est pas nécessaire d'installer ceux-ci. Pour cette évaluation, il faudrait aussi tenir compte, le cas échéant, des doses évitées qui auraient été reçues autrement lors d'autres travaux effectués au voisinage des dispositifs qu'il est proposé d'installer.

Il faut réfléchir soigneusement à la conception des dispositifs de protection afin de les adapter autant que possible à la configuration de la zone de travail. Dans certains cas, il pourra être nécessaire de vérifier que leur mise en place ne réduit pas l'espace de travail au point que cela accroisse sensiblement le temps nécessaire pour le travail à effectuer et, ainsi, le temps d'exposition des travailleurs.

Outre les tâches qui peuvent donner lieu à des doses élevées, il faudrait aussi évaluer les zones à intensité de rayonnement moins élevée dans lesquelles on pénètre souvent pour ce qui est de l'utilisation de dispositifs de protection provisoires. Comme exemples de telles zones on peut citer les passerelles et les autres zones accessibles à tous où les gens se rassemblent ou par lesquelles ils passent. Il y a des circonstances dans lesquelles l'installation de dispositifs de protection provisoires paraît avantageuse, mais où il peut ne pas être possible de quantifier les doses évitées. Les dispositifs de protection devraient être installés aussi près que possible de la source. Plus ils seront proches de la source, plus ils seront efficaces pour réduire les débits de dose. Cela réduira en outre au minimum l'ampleur des dispositifs requis.

Le recours à des équipements de protection individuels est un moyen de réduire les doses qui peut être envisagé lorsque d'autres mesures ne permettent pas de les réduire comme il convient. Ainsi qu'il a été noté dans la section 4.3.3, il faut tenir compte de la perte d'efficacité. Celle-ci peut fort bien être minime, comme dans le cas par exemple de l'utilisation de tabliers de plomb en radiologie diagnostique et interventionnelle.

L'orientation du corps du travailleur par rapport à l'emplacement et à l'orientation de la source de rayonnements peut l'exposer à des débits de dose plus élevés qu'il n'est peut-être nécessaire. Le travailleur a besoin de connaître l'origine et la direction (le cas échéant) des rayonnements. Si le champ de rayonnement n'est pas uniforme, il doit se positionner de telle manière que les organes sensibles les plus exposés se trouvent dans les zones où les débits de dose sont les plus faibles, ce qui réduit les doses. Cela vaut plus particulièrement pour la manipulation des sources médicales et les applications de la radiographie.

Les outils à long manche ou télécommandés sont également efficaces pour réduire la dose au travailleur (voir l'exemple donné dans la section 4.3.4.1). La mesure fondamentale consistant à augmenter la distance par rapport à la source peut aussi réduire fortement les doses.

4.3.4.1. Exemple 15 : Outils à long manche

Parmi les outils à long manche figurent les perches munies de crocs pour enlever un filtre hautement radioactif de son caisson et le placer dans un château

blindé et les perches pourvues de grappins pour la manipulation de dispositifs hautement radioactifs sous l'eau. Les perches utilisées sous l'eau devraient être perforées de façon que l'eau puisse passer à travers, ce qui empêchera les rayonnements de remonter jusqu'aux travailleurs qui les manient.

4.3.5. Formation spécialisée

Outre la formation générale, une formation spécialisée peut également aider à réduire l'exposition dans le processus d'optimisation. Cette formation spécialisée peut être dispensée de différentes manières. Elle peut l'être dans le cadre d'une seconde phase de formation de base, qui est plus poussée et pourrait donc permettre aux travailleurs d'assumer des responsabilités accrues. La formation spécialisée peut aussi porter sur des sujets tels que la manipulation et le contrôle des sources de radiographie ou des sources diagnostiques médicales. Elle sera en rapport avec les risques courus par les travailleurs et devrait être dispensée avant l'exécution de toute tâche susceptible d'entraîner une exposition élevée.

Un entraînement et des exercices sur maquette sont efficaces dans la mesure où ils permettent aux travailleurs de s'exercer à des tâches sans être exposé au risque qui y est associé. Les intéressés peuvent effectuer un passage ou un essai à blanc susceptible d'aider à découvrir les problèmes éventuels. Cela aidera aussi à déterminer les insuffisances éventuelles en ce qui concerne les compétences des intéressés ou les outils qui pourront être utilisés pour effectuer la tâche. Cette formation pourrait donc aider à réduire le temps nécessaire pour s'acquitter de la tâche et à prévenir les erreurs possibles. L'entraînement sur maquette le plus efficace est celui qui reproduit les conditions réelles — faible éclairage, chaleur ou ventilation médiocre par exemple — de l'environnement de travail. Il faut en outre que les travailleurs portent l'ensemble des tenues de protection et des appareils respiratoires qui sont nécessaires pour exécuter la tâche.

Parmi les autres formes de formation spécialisée peuvent figurer les études des temps et des mouvements, qui aident à découvrir les problèmes éventuels propres à la tâche à exécuter. Cela peut inclure également une étude de l'orientation du corps du travailleur pour aider à réduire la dose à l'organisme entier.

5. DÉFINITION ET APPLICATION D'UN PLAN ALARA

L'étape qui fait suite à l'évaluation du programme et à la détermination de toutes les mesures qui pourraient être prises pour réduire l'exposition consiste à arrêter les moyens auxquels on recourra pour réduire l'exposition et à établir un plan de mise en œuvre. Certaines mesures seront évidentes et pourront être mises en œuvre à court

terme. D'autres, en revanche, pourront exiger une planification à plus long terme. Dans les deux cas, le plan devra être mis en œuvre de manière systématique et soutenue.

Les mesures en question peuvent aller des mesures de politique générale prises à un niveau élevé dans une compagnie d'électricité d'origine nucléaire pour la gestion des grands travaux à une mesure particulière telle que la mise en place de dispositifs de protection provisoires pour une tâche déterminée. Dans de nombreux cas, en particulier dans celui des mesures touchant directement aux facteurs humains (telles que les mesures concernant la communication, la sensibilisation et la formation théorique), la décision de les mettre en œuvre ne pose pas de problème et devrait faire partie intégrante de la gestion quotidienne du programmes de radioprotection et d'optimisation.

Quelle que soit la taille d'une installation, il faut déterminer la personne ou le service chargé de la coordination générale des efforts dans le cadre du programme d'optimisation. Cette personne ou ce service devrait en outre bénéficier de l'autorité et du soutien requis pour s'acquitter des fonctions liées à la mise en œuvre du plan ALARA.

5.1. ÉLÉMENTS GÉNÉRAUX

Avant d'examiner les plans détaillés et les aspects du plan de mise en œuvre qui touchent à des tâches particulières, il faut se pencher sur les aspects généraux ou communs d'un plan d'optimisation. Parmi les éléments communs aux programmes d'optimisation les plus fondamentaux figurent l'organisation du travail, l'inculcation aux travailleurs des principes fondamentaux de la radioprotection et de l'optimisation, l'accroissement de la sensibilisation du personnel au processus d'optimisation et les caractéristiques d'un processus de communication efficace.

Une bonne organisation du travail comporte une évaluation des conditions radiologiques au moment où il est prévu d'effectuer une tâche particulière. Il peut exister des possibilités d'effectuer de telles tâches à un autre moment, lorsque les conditions radiologiques sont moins dangereuses. La formation théorique générale des travailleurs est un élément primordial de l'expérience des travaux sous rayonnements, sur lequel peuvent s'appuyer les autres éléments de la formation pratique et de l'expérience.

La sensibilisation des travailleurs au processus d'optimisation et l'existence d'un processus efficace de communication dans le cadre d'un programme d'optimisation sont complémentaires. L'une ne pourrait guère exister sans l'autre. On assure une communication efficace et une sensibilisation des travailleurs grâce à un dialogue ouvert au sein de la hiérarchie et du personnel à tous les échelons et entre eux. La bonne application d'un plan ALARA dépend aussi du degré d'engagement de l'ensemble du personnel de l'installation considérée.

Un soutien et une participation de la direction sont impératifs pour plusieurs raisons. La hiérarchie doit être au courant des besoins et de l'avancement des diverses activités de réduction des expositions afin de prendre des décisions en connaissance de cause. L'engagement des travailleurs en faveur du processus d'optimisation augmentera avec celui de la direction. En outre, l'implication des responsables dans le processus d'optimisation les sensibilisera davantage aux questions qui sont difficiles à résoudre aux échelons inférieurs. Les hauts responsables peuvent intervenir par différents moyens, dans le cadre d'un comité de surveillance ou individuellement, suivant la taille de l'installation en question ou selon ce que la situation exige (voir l'exemple donné dans la section 5.1.1).

Tous les groupes de travailleurs concernés (ceux qui reçoivent les doses d'irradiation professionnelle) doivent participer au processus d'optimisation. Le degré de participation d'un groupe déterminé doit être en rapport avec le niveau de la dose reçue par ce groupe. Les groupes en mesure d'influer sur les conditions d'exposition devraient également y participer. L'assignation des tâches et l'obligation de rendre compte de l'exécution du plan au niveau des tâches de base faciliteront la gestion du plan. Les intéressés devraient se voir confier des tâches dans leurs domaines de compétence respectifs en matière d'optimisation. La responsabilité et l'obligation de rendre compte sont très importantes dans cette partie du processus. Des réunions régulières de suivi devraient faire le point de la situation et des progrès accomplis en ce qui concerne les questions à régler et les responsabilités assignées.

5.1.1. Exemple 16 : Création de structures spéciales de gestion ALARA

Dans certaines installations, il peut être utile de créer des structures spéciales de gestion ALARA afin de faciliter la coordination et la mise en œuvre des mesures. Ces structures peuvent comprendre :

- *Un comité ALARA.* Ce comité est chargé d'examiner et d'approuver le plan ALARA. Il se réunit périodiquement pour analyser les résultats obtenus dans l'installation considérée en matière de radioprotection, évaluer les suggestions concernant la réduction des doses et faire des recommandations à la direction. Ses membres sont généralement choisis de manière à apporter au comité un large éventail de compétences techniques et à ce que les différents groupes de travailleurs soient représentés.
- *Un coordonnateur ALARA (ou groupe ALARA).* Ce coordonnateur (ou ce groupe) vérifie que les décisions prises par le comité ALARA sont appliquées. Il constitue également l'intermédiaire désigné entre le personnel et la direction pour l'examen des questions touchant à la radioprotection. Lorsqu'un groupe

est créé, il se compose habituellement d'ingénieurs, de radioprotectionnistes et de techniciens, et il est chargé de procéder à une analyse approfondie des tâches se prêtant à l'application du principe ALARA.

5.2. ANALYSE ET CHOIX DES OPTIONS DE RÉDUCTION DES DOSES POUR DES TÂCHES PARTICULIÈRES

5.2.1. Analyse des options

Lorsque les décisions concernant l'application de certains moyens de réduire l'exposition pour des tâches particulières ne sont pas simples, il faut évaluer les mesures plus précisément pour ce qui est de leur efficacité dans la réduction des doses, de leur coût relatif et de la possibilité de les appliquer dans un délai donné (court ou moyen terme). Une telle évaluation doit être effectuée en particulier lorsque plusieurs options de réduction des doses sont envisagées pour l'exécution d'une tâche particulière afin de choisir celles qui conviennent le mieux, ou lorsque diverses combinaisons d'options de réduction des doses sont envisagées et concerneront des groupes de tâches.

Il faudrait considérer une évaluation de l'efficacité des options en termes de dose collective nette, compte tenu des économies de doses et des augmentations possibles des doses lorsque les options donnent lieu à des transferts de doses entre les travailleurs. Suivant les situations d'exposition, telles que les économies sur la dose collective par tâche, par groupe de tâches, par catégorie de travailleurs pour une tâche ou un groupe de tâches déterminé, par an ou pendant la durée de vie de l'installation, plusieurs estimations peuvent être établies. Au début d'une analyse, on choisit les indicateurs les plus pertinents pour l'étude d'optimisation considérée.

Suivant les conditions d'exposition, il pourrait également être nécessaire d'analyser l'évolution des distributions des doses annuelles individuelles en fonction des options de réduction des doses. Ce facteur est particulièrement important au stade de la conception des installations ou lorsque les options peuvent modifier sensiblement le niveau annuel des doses individuelles pour une catégorie déterminée de travailleurs (voir l'exemple donné dans la section 3.1.1.2).

Une évaluation des options de réduction des doses devrait comprendre une quantification des frais d'investissement et d'exploitation liés à leur mise en œuvre. Le degré de détail de l'évaluation des coûts devrait cependant être en rapport avec le coût global en jeu. Les estimations des coûts devraient être exprimées en termes de coûts nets, compte tenu non seulement de la hausse des coûts engendrée par les options mais aussi des économies possibles sous la forme d'une réduction des dépenses d'exploitation (voir l'exemple donné dans la section 5.2.1.1). Il faut accorder une attention particulière à la prise en compte des estimations des coûts

indirects engendrés par la mise en œuvre des options (par exemple les coûts de gestion des déchets résultant de la décontamination).

Quel que soit leur degré de détail, les estimations des coûts devraient être exprimées dans les mêmes unités de temps que les économies de doses. Par exemple, les économies de doses calculées sur une base annuelle doivent être rapprochées des coûts annuels. De la même manière, il faut, pour les économies de doses liées à des tâches, calculer les coûts par tâche.

5.2.1.1. Exemple 17 : Détermination des économies

On peut réaliser des économies en réduisant la durée d'une tâche et le nombre des travailleurs, en réduisant les coûts salariaux, en réduisant les coûts occasionnés par l'interruption des principales activités de l'installation considérée ou en réduisant les frais d'achat et les frais de gestion des déchets liés à l'utilisation de tenues de protection.

Une réduction des niveaux des doses individuelles peut permettre à une catégorie de travailleurs de s'acquitter d'autres tâches durant l'année sans atteindre la limite de dose individuelle. En pareils cas, on considérerait avoir économisé les coûts de 'remplacement', c'est-à-dire tous les coûts qu'aurait engendré la nécessité de dispenser une formation théorique et pratique à d'autres travailleurs et de les employer pour effectuer les mêmes tâches. Un autre point à considérer réside dans l'avantage qu'il y a de conserver des équipes expérimentées connaissant mieux les tâches qu'une nouvelle équipe qui ne les a pas encore exécutées.

5.2.2. Choix des options à mettre en œuvre

Un élément important du processus décisionnel consiste à déterminer clairement le cadre dans lequel la décision doit être prise, c'est-à-dire les contraintes financières (à savoir existence d'un budget déterminé pour la réduction des doses, budget général pour l'installation), les contraintes techniques ou temporelles (à savoir le temps disponible avant l'exécution d'une tâche comparé au temps nécessaire pour mettre en œuvre ou élaborer une autre option) et, au stade de la conception, les contraintes de dose individuelles. Dans certains cas, il peut être nécessaire d'examiner si des niveaux de dose individuelle maximums particuliers ont été fixés pour la tâche. La détermination de ces contraintes se traduit par la fixation d'un ensemble donné de critères de décision clairs, ce qui favorise la cohérence et la transparence dans la prise des décisions et l'efficacité dans l'allocation des ressources pour la protection.

Lorsque le choix d'une option n'est pas évident ou qu'il est trop compliqué, que plusieurs options pourraient être mises en œuvre ou que des investissements importants pourraient être nécessaires, les techniques d'aide à la décision peuvent

être utiles pour clarifier le processus décisionnel (voir l'annexe I). Lorsque des facteurs quantifiables sont pris en considération, on peut recourir à une analyse coût-avantages ou à d'autres techniques quantitatives. Ces techniques font appel à une valeur monétaire de l'unité de dose collective (appelée « valeur d'alpha » ou « valeur monétaire de l'homme-sievert »), qui correspond au montant qu'il est convenu de dépenser pour éviter une unité de dose collective. Cette valeur de référence est un outil qui, dans le processus décisionnel, aide à classer les options en fonction de leur rapport coût-efficacité et accroît la transparence tout en réduisant la subjectivité de la décision. (Voir l'annexe III pour la détermination et l'utilisation de la valeur d'alpha.)

Dans certains cas, il peut ne pas être possible de quantifier tous les facteurs en jeu ou de les exprimer dans des unités comparables. Il peut aussi être difficile de faire la balance entre les doses collectives et les doses individuelles ou entre les économies de doses et les augmentations des quantités de déchets ou de tenir compte de facteurs sociaux plus larges. Dans de telles situations, il peut être utile de recourir à des techniques qualitatives d'aide à la décision telles que l'analyse multicritères.

Les décideurs ne doivent pas oublier que les techniques d'aide à la décision ne fournissent pas nécessairement une réponse définitive ou la seule solution possible et n'obligent pas à appliquer toutes les options économiques. Ces techniques doivent être considérées comme des outils aidant à aborder les problèmes en vue de comparer l'efficacité relative des diverses options possibles en matière de protection, ainsi qu'à déterminer tous les facteurs pertinents et à les prendre en considération dans le processus décisionnel. Elles peuvent également être utiles pour la présentation des options à la direction.

5.3. SUIVI DE L'EFFICACITÉ D'UN PLAN ALARA

Eu égard à la nécessité d'assurer la continuité et d'appliquer les concepts ALARA à long terme, il convient de suivre l'efficacité de la mise en œuvre d'un plan ALARA dans tous ses aspects. Les plans ALARA comportent à la fois des éléments généraux à long terme et des aspects qui sont davantage liés aux tâches et axés sur elles, en sorte que le suivi et le retour d'information doivent porter sur les deux. L'effet de certains éléments, tels que le niveau général de formation théorique des travailleurs et l'accroissement de la sensibilisation, sont difficiles à contrôler isolément. Pour ces éléments, on a besoin d'indicateurs généraux, tels que l'évolution des doses individuelles et des doses collectives ainsi que la fréquence et la gravité des accidents ou incidents. En revanche, l'efficacité des parties du plan qui concernent des tâches précises peut être contrôlée et documentée directement. La tenue de relevés et d'une documentation assurera que les données sont disponibles pour les examens et les retouches ultérieurs du plan ALARA.

L'objectif de l'optimisation de la protection radiologique étant de réduire les doses individuelles et collectives, l'indicateur le plus pertinent est la dose (collective ou individuelle). L'efficacité d'un plan ALARA, considéré globalement, peut se mesurer d'après l'ampleur de la réduction des doses individuelles et collectives. Si une baisse des doses est toujours souhaitable, elle n'indique pas nécessairement qu'un plan ALARA est un succès.

D'autres facteurs, tels que la chimie de l'eau dans une centrale nucléaire, peuvent influencer sur les doses. Il faut donc recueillir et évaluer toutes les données pour expliquer une évolution éventuelle de l'exposition. Les bons résultats et les améliorations requises peuvent être déterminés aisément et régulièrement grâce à l'emploi d'indicateurs, ainsi qu'il est dit dans la section 3.1.2. Ce suivi devrait comporter une analyse des tendances, de façon que les évolutions favorables ou défavorables puissent être constatées et expliquées.

L'efficacité d'un plan ALARA peut en outre être contrôlée grâce à un retour d'information provenant de personnes ou de groupes dans le cadre d'un processus de communication formel ou informel (revues d'exécution et suggestions concernant le plan ALARA). Les informations obtenues grâce à ce processus peuvent servir à contrôler l'attitude générale du personnel et fournir une mesure de sa sensibilisation au processus d'optimisation et de son engagement en faveur de ce processus (c'est-à-dire une mesure du développement d'une culture ALARA).

Suivant la taille de l'installation considérée et l'ampleur du retour d'information provenant des travailleurs, il faudrait garder une trace de ces suggestions et y donner suite comme dans le cas des questions à régler assignées dans le cadre du processus de mise en œuvre du plan, dont il a été question dans la section 5.1. Cela offrira également l'occasion de communiquer des informations au personnel sur l'état de ces suggestions, ce qui améliorera la sensibilisation des travailleurs et leur permettra de voir les résultats de leurs efforts de réduction de l'exposition.

Les résultats d'un plan ALARA devraient être examinés dans les rapports engendrés par le processus d'examen périodique (éventuellement dans un rapport de situation trimestriel). Les examens devraient comporter des comparaisons des expositions d'une itération à l'autre pour les tâches répétitives, ainsi que des comparaisons avec les résultats obtenus dans des installations analogues ailleurs dans l'industrie (référenciation). Des représentants tant de la direction que des services devraient participer au processus d'examen.

Le processus d'examen devrait servir en outre à évaluer et à analyser la performance de façon que des mesures correctives puissent être définies pour remédier aux évolutions défavorables. Ces mesures correctives devraient être incorporées dans le plan de mise en œuvre et s'inscriraient dans le cadre de la culture naissante de l'optimisation de la protection. Il faudrait les présenter clairement comme incombant aux groupes concernés, tandis que l'on attendrait de la direction

qu'elle résolve les problèmes et mette au point des méthodes pour améliorer la performance. Cela conforte la notion d'obligation de rendre compte. À mesure que de bons résultats seront enregistrés, les examens périodiques aideront également à déterminer les moyens qu'il faut continuer à mettre en œuvre ou les nouveaux moyens qui peuvent être adoptés pour améliorer le processus de réduction des expositions.

6. CONCLUSIONS

On dit souvent que dans le domaine de la radioprotection l'accent est mis principalement sur l'optimisation de la protection. Or, cela ne donne pas immédiatement une idée de ce qui doit être fait effectivement sur le lieu de travail pour assurer l'optimisation. Dans le présent Rapport de sûreté, on a tenté de démythifier cette notion en décrivant en termes directs ce qu'il faut faire pour mettre en œuvre un processus d'optimisation et libérer le mode de pensée sur lequel repose l'optimisation d'une confiance excessive dans des techniques d'analyse telles que l'analyse coût-avantages, car ces techniques ne sont que de simples outils. À cette fin, on a utilisé l'acronyme ALARA dans le présent Rapport de sûreté, car il évoque les deux notions de réduction des doses et de caractère raisonnable.

Dans la description de l'approche générale de l'optimisation, une grande attention a été accordée à l'évaluation complète et systématique des conditions radiologiques dans un lieu de travail. Cette analyse est primordiale, car c'est sur elle que l'on se fonde pour comprendre ce qui doit être fait, ce qui peut l'être et les démarches disponibles pour que cela soit fait. En outre, elle fait le point des conditions initiales, ce qui permet de contrôler l'efficacité de la mise en œuvre d'un plan ALARA.

L'autre grand volet du présent Rapport de sûreté consiste en une revue générale des moyens qui seront probablement disponibles dans la plupart des lieux de travail pour réduire l'exposition. Ces moyens se subdivisent en moyens généraux, qui sont applicables dans l'ensemble d'une organisation, et en moyens plus adaptés à des tâches particulières. Certains de ces moyens généraux correspondent simplement à ce que l'on attendrait de toute organisation bien gérée, par exemple l'application de procédures efficaces et efficientes d'organisation du travail et l'adoption de dispositions pour la formation théorique et pratique des travailleurs. Une organisation bien gérée et efficace qui se préoccupe dûment de la sûreté de ses travailleurs appréciera les avantages de ces moyens sans avoir à procéder à une analyse décisionnelle complexe. Il existe cependant des situations dans lesquelles il faut optimiser la protection pour des tâches particulières. Il restera évident que dans bien des cas de ce genre des mesures de réduction des doses peuvent être prises à peu de

frais, voire qu'elles entraîneront des économies grâce à un accroissement de l'efficacité, ou, inversement, que dans d'autres cas les allocations de ressources nécessaires seraient disproportionnées par rapport aux réductions des doses. Il y aura néanmoins des cas où la réponse à la question de savoir ce qu'il conviendrait de faire pour réduire les doses de manière économique ne sera pas évidente ; en pareils cas, une certaine forme de technique d'aide à la décision pourra être utile.

Les résultats d'une évaluation et d'une analyse des options offertes pour apporter les améliorations requises débouchent sur ce qui a été appelé un plan ALARA dans le présent Rapport de sûreté. Il s'agit d'une combinaison d'actions à court et à long terme ou continues. L'efficacité d'un plan ALARA dépend de l'engagement de la hiérarchie et du personnel, qui est favorisé par la participation de ces deux groupes à l'élaboration dudit plan. Le contrôle de l'efficacité d'un plan ALARA assure le retour d'information nécessaire pour conforter à long terme les attitudes appropriées envers le principe ALARA dans l'ensemble d'une organisation.

La démarche décrite dans le présent Rapport de sûreté se veut générale et a donc été exposée en termes généraux. Les exemples donnés sont destinés à montrer comment cette démarche peut être et a été appliquée dans différentes circonstances. Elle sera appliquée avec un degré de détail différent selon qu'il s'agit d'une grande installation ou d'une petite entreprise, mais dans tous les cas la démarche générale exposée peut être adoptée et appliquée au profit des travailleurs sous rayonnements, des responsables et de leurs organisations.

RÉFÉRENCES

- [1] FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, INTERNATIONAL LABOUR ORGANIZATION, OECD NUCLEAR ENERGY AGENCY, PAN AMERICAN HEALTH ORGANIZATION, WORLD HEALTH ORGANIZATION, Radiation Protection and the Safety of Radiation Sources, Safety Series No. 120, IAEA, Vienna (1996).
- [2] AGENCE DE L'OCDE POUR L'ÉNERGIE NUCLÉAIRE, AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE, ORGANISATION DES NATIONS UNIES POUR L'ALIMENTATION ET L'AGRICULTURE, ORGANISATION INTERNATIONALE DU TRAVAIL, ORGANISATION MONDIALE DE LA SANTÉ, ORGANISATION PANAMÉRICAINE DE LA SANTÉ, Normes fondamentales internationales de protection contre les rayonnements ionisants et de sûreté des sources de rayonnements, collection Sécurité No 115, AIEA, Vienne (1997).
- [3] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Operational Radiation Protection: A Guide to Optimization, Safety Series No. 101, IAEA, Vienna (1990).
- [4] AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE, Critères d'intervention en cas de situation d'urgence nucléaire ou radiologique, collection Sécurité No 109, AIEA, Vienne (1999).
- [5] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, PAN AMERICAN HEALTH ORGANIZATION, WORLD HEALTH ORGANIZATION, Radiological Protection for Medical Exposition to Ionizing Radiation, Safety Standards Series No. RS-G-1.5, IAEA, Vienna (sous presse).
- [6] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION, Cost-Benefit Analysis in the Optimization of Radiation Protection, ICRP Publication 37, Pergamon Press, Oxford and New York (1983).
- [7] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION, Optimization and Decision-Making in Radiological Protection, Publication No. 55, Pergamon Press, Oxford and New York (1989).
- [8] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION, General Principles for the Radiation Protection of Workers, Publication 75, Pergamon Press, Oxford and New York (1997).
- [9] OECD NUCLEAR ENERGY AGENCY, Work Management in the Nuclear Power Industry: A Manual prepared for the NEA Committee on Radiation Protection and Public Health by the Information System on Occupational Exposure (ISOE) Expert Group on the Impact of Work Management on Occupational Exposure, OECD, Paris (1997).
- [10] COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES, ALARA: From Theory Towards Practice, Rep. EUR-13796, CEC, Luxembourg (1991).
- [11] NATIONAL COUNCIL ON RADIATION PROTECTION AND MEASUREMENTS, Dose Control at Nuclear Power Plants, NCRP Rep. No. 120, NCRP, Bethesda, MD (1994).

- [12] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, INTERNATIONAL LABOUR OFFICE, Occupational Radiation Protection, Safety Standards Series No. RS-G-1.1, IAEA, Vienna (1999).
- [13] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, INTERNATIONAL LABOUR OFFICE, Assessment of Occupational Exposure Due to External Sources of Radiation, Safety Standards Series No. RS-G-1.3, IAEA, Vienna (1999).
- [14] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, INTERNATIONAL LABOUR OFFICE, Assessment of Occupational Exposure Due to Intakes of Radionuclides, Safety Standards Series No. RS-G-1.2, IAEA, Vienna (1999).
- [15] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION, Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 26, Pergamon Press, Oxford and New York (1977).
- [16] COMMISSION INTERNATIONALE DE PROTECTION RADIOLOGIQUE, Recommendations 1990 de la Commission internationale de protection radiologique, CIPR Publication 60, Pergamon Press, Oxford et New York (1993).
- [17] UNITED KINGDOM HEALTH AND SAFETY EXECUTIVE, Report on the Development of Guidance on the Establishment of Dose Constraints for Occupational Exposure, National Radiological Protection Board, Didcot (1997).
- [18] OECD NUCLEAR ENERGY AGENCY, Considerations on the Concept of Dose Constraint: Report by a Joint Group of Experts from the OECD Nuclear Energy Agency and the European Commission, OECD, Paris (1996).
- [19] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION, A Compilation of the Major Concepts and Quantities in Use by ICRP, ICRP Publication 42, Pergamon Press, Oxford and New York (1984).
- [20] OECD NUCLEAR ENERGY AGENCY, INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Occupational Exposures at Nuclear Power Plants, Tenth Annual Report of the Information System on Occupational Exposure (ISOE) Programme, 2000, OECD, Paris (2001).
- [21] UNITED NATIONS, Sources and Effects of Ionizing Radiation (Report to the General Assembly), Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR), UN, New York (2000).

Annexe I

TECHNIQUES D'AIDE À LA DÉCISION

I-1. INTRODUCTION

Les techniques d'aide à la décision ne sont pas le sujet du présent Rapport de sûreté, mais cette brève annexe fournit suffisamment d'informations pour permettre de comprendre ce qui est dit dans le corps du texte à propos des différents types de techniques de ce genre. Aux fins de l'application de ces techniques dans la pratique, il faudra consulter les références pour de plus amples précisions.

Un aspect essentiel de l'approche de la CIPR en matière d'optimisation a consisté à quantifier les études d'optimisation chaque fois que cela était possible. Dans ses premières publications [I-1, I-2], la technique recommandée est celle de l'analyse coût-avantages. Dans la référence [I-3], l'analyse coût-avantages est citée comme exemple d'une telle technique, mais on y expose aussi d'autres techniques en recommandant leur emploi. Des indications pratiques concernant l'application de ces techniques ont été données [I-4, I-5]. Le résultat auquel aboutit l'application de toute technique quantitative d'aide à la décision est appelé « solution analytique ». Pour parvenir à une recommandation concernant l'optimum, il faut cependant y associer une évaluation qualitative de la performance en ce qui concerne les autres facteurs de radioprotection. Le résultat de cette combinaison nourrit ensuite le processus aboutissant à la prise d'une décision finale.

Quatre des différentes techniques disponibles sont décrites dans la référence [I-3] ; il s'agit de l'analyse coût-efficacité, de l'analyse coût-avantages, de l'analyse d'utilité multiattributs et de l'analyse multicritères de surclassement. Un point essentiel dont on n'a pas toujours conscience est que c'est la spécification des facteurs et des critères de radioprotection à employer dans l'analyse qui détermine le résultat et non la technique retenue. Si l'on décide que deux facteurs seulement sont pertinents, par exemple le coût et la dose collective, une technique simple telle que l'analyse coût-avantages fournira alors une solution analytique indiquant directement l'optimum. Appliquer une technique plus complexe à un problème aussi simple est superflu mais, si on le fait, on aboutira à la même solution analytique et au même choix optimal. Si l'on décide cependant que de multiples facteurs sont pertinents et, en particulier, si certains sont difficiles à quantifier, une technique simple ne traitera que quelques-uns d'entre eux et la solution analytique n'indiquera pas l'optimum ; il faut l'associer à une évaluation qualitative des options pour ce qui est des autres facteurs avant de pouvoir trouver l'optimum. Le fait que la décision concernant l'optimum se fonde sur cette combinaison de données quantitatives et de données qualitatives est quelque chose dont on n'a pas toujours bien conscience.

L'analyse coût-efficacité a certes été utilisée, mais elle permet seulement de choisir une option qui soit réduit la dose collective au minimum pour un coût de protection fixé, soit réduit le coût de la protection au minimum pour une économie de dose collective spécifiée. Or, ces méthodes fondées sur le coût-efficacité ne correspondent ni l'une ni l'autre à une optimisation de la protection, car elles ne comportent pas de mise en balance du coût de la protection et de la dose, qui est fondamentale.

I-2. ANALYSE COÛT-AVANTAGES

Le degré au-dessus de l'analyse coût-efficacité est constitué par l'analyse coût-avantages. Il s'agit d'une technique ancienne et c'est la première à avoir été introduite par la CIPR dans le contexte de l'optimisation. Cette technique est axée sur des mesures monétaires agrégées des coûts et des avantages associés aux options, l'objectif étant de déterminer l'option pour laquelle le coût total est minimum. Pour ce faire, on peut procéder à une analyse du coût total ou à une analyse différentielle. Il ne s'agit que de techniques mathématiques différentes.

Dans les premières publications de la CIPR, une forme simple d'analyse coût-avantages a été définie. Dans cette analyse, les seuls facteurs considérés comme directement pertinents pour l'optimisation étaient les coûts financiers entraînés par la mise en œuvre des mesures de protection et les niveaux correspondants de la dose collective. Dans ces conditions, on peut effectuer une analyse coût-avantages simple en transformant la dose collective en une valeur monétaire grâce à une valeur de référence de l'unité de dose collective, généralement appelée « valeur d'alpha ». La façon de calculer cette valeur est indiquée dans l'annexe III.

On poursuit ensuite l'analyse en ajoutant le coût de la protection X et le coût dérivé du détriment $Y (= \alpha S)$ pour obtenir le coût total $X + Y$. Le critère externe spécifié qui est nécessaire pour obtenir les chiffres est la valeur de l'unité de dose collective α . Le coût total pour chaque option représente une note de mérite, et la solution analytique correspond à l'option qui réduit le coût total au minimum.

Cette solution analytique ne prend toutefois en compte que deux facteurs, à savoir le coût et la dose collective, en sorte que, pour passer de la solution analytique en question à une option optimale recommandée, il faut prendre d'autres facteurs en considération de manière qualitative.

I-3. ANALYSE COÛT-AVANTAGES ÉLARGIE

La technique d'analyse coût-avantages considérée plus haut est strictement limitée à des comparaisons quantitatives entre le coût de la protection et la dose

collective. Or, il est possible, en principe, d'élargir le cadre de l'analyse coût-avantages. Un moyen possible de l'élargir consiste à prendre en compte la distribution des doses individuelles. Un des facteurs de protection radiologique considérés comme pertinents est le point de savoir si les doses individuelles sont fortes ou faibles. On peut l'exprimer sous la forme de la différence entre une dose collective due à un grand nombre de doses individuelles faibles et la même dose collective délivrée à une population plus restreinte recevant des doses plus fortes. Une méthode permettant de prendre ce jugement en considération consiste à modifier la valeur assignée à l'unité de dose collective en ajoutant un terme au coût du détriment. Ce nouvel élément du coût du détriment a été exprimé par la CIPR dans les références [I-2, I-3] en tant que terme bêta. Le détriment Y se définit alors comme suit :

$$Y = \alpha S + \beta_j S_j$$

où

β_j est la valeur supplémentaire assignée à l'unité de dose collective, et
 S_j est une fonction du niveau de la dose individuelle dans le groupe des travailleurs concernés.

L'application de cette formule permet de déterminer le coût du détriment, qui est la somme du terme alpha, de la dose collective et des termes bêta, la distribution des doses individuelles étant prise en compte. La prise en compte de la distribution des doses individuelles entraîne une augmentation du coût du détriment Y et modifie le coût total pour chaque option. Néanmoins, d'autres facteurs pertinents peuvent encore être omis de l'analyse quantitative et doivent être pris en considération de manière qualitative.

I-4. ANALYSE D'UTILITÉ MULTIATTRIBUTS

L'analyse coût-avantages est une méthode puissante mais il est aussi possible d'utiliser une technique d'un autre type, qui n'en diffère pas fondamentalement mais dans la manière dont elle traite les facteurs en question. Cette technique est connue sous le nom d'analyse d'utilité multiattributs. Intrinsèquement, elle consiste à utiliser un système de notation appelé fonction d'utilité pour les facteurs pertinents, avec cette particularité que, lorsque la note ou l'utilité est identique pour deux options, il n'y a pas de préférence pour l'une ou pour l'autre. La préférence est donnée à une option si elle est mieux notée que l'autre.

Dans la référence [I-4], un exemple tiré de la vie quotidienne a été utilisé pour illustrer en quoi consiste l'analyse d'utilité multiattributs et comment les facteurs quantifiables et non quantifiables sont utilisés conjointement à des processus faisant

intervenir des jugements pour parvenir à une décision. Pour l'achat d'une voiture, nous évaluons des facteurs tels que le prix, les frais de maintenance et l'efficacité en termes de consommation de carburant. Ces facteurs pourraient être pris en compte assez aisément si nous devons procéder à une analyse coût-avantages, éventuellement sous une contrainte générale telle que la somme dont nous disposons. Toutefois, pour évaluer d'autres facteurs, tels que l'accélération souhaitée ou la vitesse de pointe, la couleur de la peinture ou la qualité de la chaîne haute-fidélité, il n'est pas aisé de recourir à une analyse coût-avantages. Nous tenons compte néanmoins de tous ces facteurs dans la décision, nous notons chaque option — chaque voiture possible — selon notre propre attitude à l'égard des facteurs, puis nous mettons les facteurs en balance en nous fondant sur nos critères personnels. Les études faites par chacun d'entre nous feraient appel à la même base de données — les caractéristiques des différentes voitures — mais nos décisions pourraient être différentes en raison de nos attitudes individuelles à l'égard des facteurs et de nos propres critères pour peser un facteur par rapport à un autre. Ainsi, une personne pourrait attacher plus de poids à l'économie de carburant et à l'accélération, et une autre au choix de la couleur ou à la qualité de la chaîne haute-fidélité. La décision finale dépendra bien entendu du jugement du décideur.

Dans l'application de l'analyse d'utilité multiattributs, il faut spécifier les facteurs de protection radiologique et quantifier les conséquences de chaque option de protection pour ce qui est de ces facteurs, c'est-à-dire appliquer la même procédure initiale que dans le cas d'une analyse coût-avantages. Il faut ensuite générer, pour chaque facteur, une fonction d'utilité indiquant l'opportunité relative des résultats possibles pour le facteur considéré. En général, on attribue une utilité 1 au meilleur résultat ou à la conséquence la moins néfaste et une utilité 0 à la pire conséquence.

Un grand avantage de cette technique est que les fonctions d'utilité en question n'ont pas nécessairement besoin d'être linéaires. Les variations d'attitude en fonction de l'ampleur de la conséquence peuvent ainsi être prises en considération dans le processus décisionnel quantitatif. Il est également possible d'utiliser la technique de l'analyse d'utilité multiattributs pour tenir compte des facteurs qui ne sont pas considérés normalement comme quantifiables en assignant des fonctions d'utilité aux diverses valeurs du facteur considéré. Par exemple, si certaines options exigent le port de tenues de protection, celles-ci influenceront sur la facilité d'exécution des tâches. La valeur d'utilité maximum de 1 est évidemment assignée à l'option qui n'exige pas le port de tenues de protection, et la valeur d'utilité minimum de 0 à l'option qui rend le travail difficile.

I-5. ANALYSE MULTICRITERES DE SURCLASSEMENT

Toutes les techniques considérées jusqu'ici sont des techniques agrégatives, en ce sens qu'elles combinent tous les attributs représentant les facteurs pertinents qui

influencent une décision pour aboutir à une chiffre unique, qu'il s'agisse d'un coût total, comme dans le cas de l'analyse coût-avantages, ou d'une fonction d'utilité totale, comme dans celui de l'analyse d'utilité multiattributs. Or, pour que cette agrégation puisse être effectuée, deux conditions doivent être remplies. Premièrement, il est nécessaire que tous les facteurs soient commensurables, de façon que la valeur totale assignée finalement exprime de manière adéquate la contribution aux conséquences pour chacun des facteurs en jeu. Deuxièmement, le décideur doit accepter que des résultats médiocres pour un facteur puissent être compensés par de meilleurs résultats pour d'autres facteurs et que ces compensations soient acceptables sur toute la gamme des conséquences qui résultent de toutes les options de protection que l'on envisage.

Ces deux conditions peuvent poser quelques problèmes si les facteurs considérés sont hétérogènes ou s'ils ne peuvent être évalués que de manière qualitative. Inversement, lorsque certaines conséquences des options de protection sont assez extrêmes, on peut estimer qu'une compensation n'est pas acceptable sur toute la gamme des conséquences. Dans ces conditions, une technique envisageant différemment cette gamme de conséquences pourrait être plus utile. Cette technique ne sera pas décrite plus avant ici ; elle est citée dans la référence [I-3] à titre d'exemple d'approche différente de l'optimisation de la radioprotection.

RÉFÉRENCES POUR L'ANNEXE I

- [I-1] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION, Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 26, Pergamon Press, Oxford and New York (1977).
- [I-2] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION, Cost-Benefit Analysis in the Optimization of Radiation Protection, Publication 37, Pergamon Press, Oxford and New York (1983).
- [I-3] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION, Optimization and Decision-Making in Radiological Protection, Publication 55, Pergamon Press, Oxford and New York (1988).
- [I-4] COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES, ALARA: From Theory Towards Practice, Rep. EUR 13796, CEC, Luxembourg (1991).
- [I-5] NATIONAL COUNCIL ON RADIATION PROTECTION AND MEASUREMENTS, Dose Control at Nuclear Power Plants, NCRP Rep. No. 120, NCRP, Bethesda, MD (1994).

Annexe II

LISTES DE CONTRÔLE ALARA

Les listes de contrôle constituent des outils utiles pour répondre aux besoins d'un programme d'optimisation ; leurs applications varient. Elles peuvent notamment être utilisées comme ordres du jour pour la planification des tâches ou pour les revues d'exécution et être distribuées aux travailleurs pour les inciter à la réflexion au sujet d'un processus de retour d'information. Il existe de multiples listes de contrôle ; celles-ci varieront probablement suivant le type et la taille de l'installation considérée. On trouvera dans la présente annexe des exemples précis provenant d'une centrale nucléaire typique des États-Unis d'Amérique et certaines listes de contrôle établies par le Centre français d'étude sur l'évaluation de la protection dans le domaine nucléaire (CEPN).

TABLEAU II-1. LISTE DE CONTRÔLE 1 POUR UN RÉACTEUR AUX ÉTATS-UNIS : LISTE DE CONTRÔLE ALARA POUR LA PLANIFICATION DES TÂCHES. EXAMEN D'UN ORDRE DE TRAVAIL SOUS RAYONNEMENTS

Questions pour la revue de chantier	Oui	Non	SO ^a	Observations
1. A-t-on examiné les dossiers sur l'exécution de cette tâche dans le passé ? a) Dans la négative, est-il prévu de constituer des dossiers ou d'améliorer ceux qui existent déjà lors de l'exécution de cette tâche ? b) Sera-t-il utile de se servir de photographies ou de bandes vidéo ? Dans l'affirmative, indiquer nommément la personne qui prendra les photographies et/ou réalisera les bandes vidéo.				
2. A-t-on déterminé ce qui pourrait perturber la tâche (c'est-à-dire tout ce qui pourrait ralentir le travail sans nécessité) ?				
3. S'agit-il d'une tâche à haut risque ou exécutée pour la première fois ?				
4. Exigera-t-elle une formation spéciale ou un entraînement sur maquette ? Dans l'affirmative, indiquer les dates, l'emplacement et le type.				
5. Recourra-t-on à des dispositifs de télémanipulation ou à une télésurveillance ? Dans l'affirmative, donner des précisions.				
6. Le travail doit-il entièrement être exécuté dans une zone radioactive ou contenant des particules en suspension dans l'air ? En particulier, le(s) composant(s) peut-il (peuvent-ils) être transféré(s) dans une zone où le rayonnement est plus faible ? Une préfabrication hors de la zone radioactive a-t-elle été envisagée pour les nouveaux composants à installer ?				
7. Le débit de dose dans la zone peut-il être réduit grâce à l'emploi de dispositifs de protection ou à un rinçage des circuits (pour supprimer la source) ?				
8. A-t-on déterminé si d'autres méthodes de travail permettraient de réduire l'exposition ? Dans l'affirmative, quelles sont ces autres méthodes de travail ?				

TABLEAU II-1. (cont.)

Questions pour la revue de chantier	Oui	Non	SO ^a	Observations
9. La tâche exigera-t-elle l'ouverture d'un circuit radioactif ?				
10. A-t-on établi une liste d'outils et vérifié son exactitude ?				
11. Des outils spéciaux seront-ils nécessaires ? Dans l'affirmative, de quel type sont-ils et les a-t-on mis à disposition ?				
12. La tâche engendrera-t-elle des déchets radioactifs ? Dans l'affirmative, indiquer le type (par ex. liquide, déchet actif sec, métal) et le volume approximatif.				
13. Les besoins en matière de communications sur le chantier ont-ils été déterminés ? Dans l'affirmative, les indiquer.				
14. A-t-on examiné les conditions et restrictions environnementales dans la zone de travail ? Décrire les conditions ou restrictions limitatives éventuelles.				
15. A-t-on examiné l'ordre et la procédure de travail en vue de déterminer les points d'arrêt pour la radioprotection (c'est-à-dire les étapes du travail qui pourraient entraîner une modification des conditions radiologiques) ?				
16. A-t-on examiné la liste des membres qualifiés de l'équipe de travail qui sont disponibles afin de veiller à la distribution des doses au sein de l'équipe ?				

^a SO : sans objet.

TABLEAU II-2. LISTE DE CONTRÔLE 2 POUR UN RÉACTEUR
AUX ÉTATS-UNIS : EXAMEN DE LA RADIOPROTECTION

Questions pour la revue de chantier	Oui	Non	SO ^a	Observations
1. Une réunion de planification de la tâche est-elle nécessaire ?				
2. Une réunion d'information préalable est-elle nécessaire ?				
3. A-t-on fixé un budget et un objectif en matière d'exposition pour la tâche ?				
4. Procédera-t-on à une décontamination du composant ou de la zone ?				
5. Des dispositifs de protection provisoires permettront-ils de réduire efficacement la dose collective pour la tâche ? Dans l'affirmative, indiquer le coefficient de protection provisoire sous « Observations ».				
6. Des mesures de prévention techniques sont-elles prévues pour les matières radioactives en suspension dans l'air ?				
7. Des zones d'attente peu radioactives ont-elles été déterminées ?				
8. A-t-on déterminé les incidences qu'aurait l'emploi d'appareils respiratoires sur l'estimation de l'exposition ?				

^a SO : sans objet.

TABLEAU II-3. LISTE DE CONTRÔLE 3 POUR UN RÉACTEUR
AUX ÉTATS-UNIS : LISTE DE CONTRÔLE ALARA POUR LA RÉUNION
D'INFORMATION PRÉALABLE

1. Décrire brièvement la séquence des événements.
 2. Décrire la zone de travail sur la base de la liste de sujets de préoccupation ci-après :
 - a) Conditions radiologiques au début de la tâche ;
 - b) Conditions et/ou dangers radiologiques potentiels à mesure que le travail progresse ;
 - c) Trajets à suivre pour accéder à la zone de travail et en sortir ;
 - d) Indiquer les zones d'attente peu radioactives pour le regroupement du matériel et/ou du personnel de soutien ;
 - e) Conditions et restrictions environnementales ;
 - f) Dispositifs de protection ;
 - g) Risques de sécurité (par ex. stress thermique, entrée dans un espace confiné).
 3. Décrire le matériel et/ou les méthodes à employer pour prévenir l'apparition ou la dissémination d'une contamination et réduire au minimum le risque que des matières radioactives se retrouvent en suspension dans l'air.
 4. Décrire les mesures d'entretien des locaux et de propreté des systèmes empêchant que des matières étrangères ne pénètrent dans des systèmes ouverts.
 5. Dosimétrie : exigences, emplacements et utilisation.
 6. Décrire les exigences en ce qui concerne les tenues et équipements de protection et la protection respiratoire.
 7. Décrire les méthodes particulières à suivre dans le cas de cette tâche pour revêtir et/ou enlever les tenues.
 8. Décrire les techniques de réduction de volume des déchets radioactifs et les considérations applicables à la manipulation et à la production de déchets spéciaux (par ex. huiles, garnitures, filtres, déchets mélangés).
 9. Toutes les questions à régler qui ont été recensées dans la liste ALARA pour la planification de la tâche ont-elles été résolues ? Dans la négative, quelles sont les questions qui subsistent et qui est chargé de les résoudre ?
 10. Ouvrir la discussion afin que l'équipe de travail puisse formuler des observations et faire connaître ses préoccupations.
-

TABLEAU II-4. LISTE DE CONTRÔLE 4 POUR UN RÉACTEUR AUX ÉTATS-UNIS : LISTE DE CONTRÔLE ALARA POUR LA REVUE D'EXÉCUTION

Questions pour la revue d'exécution	Oui	Non	SO ^a
1. Une réunion formelle d'information préalable a-t-elle été organisée et documentée ?			
2. Les services requis étaient-ils prêts et disponibles quand ils étaient nécessaires ?			
3. Les outils spécifiés ont-ils répondu aux besoins de la tâche ?			
4. Les travaux ont-ils avancé comme prévu ? Dans la négative, indiquer pourquoi.			
5. Les communications sur le chantier ont-elles donné satisfaction ?			
6. L'ordre et/ou la procédure de travail étaient-ils appropriés pour l'exécution de la tâche ?			
7. Les conditions environnementales ont-elles été propices au bon déroulement des travaux ?			
8. La quantité de déchets radioactifs produite a-t-elle été réduite au minimum ?			
9. Les mesures de contrôle ont-elles été suffisantes pour confiner la contamination à la zone de travail ?			
10. Si une protection respiratoire a été utilisée, s'est-on efforcé d'éliminer les matières radioactives en suspension dans l'air et d'éviter d'avoir à employer des appareils respiratoires ?			
11. Les conditions radiologiques ont-elles correspondu à ce qui était prévu dans les études effectuées avant la tâche ?			
12. Ouvrir la discussion pour solliciter des observations et proposer la fiche de commentaires du personnel. (Cocher tout ce qui est applicable.)			
Le champ de la tâche a-t-il été modifié ou élargi ?			
A-t-on rencontré des difficultés dans l'ordonnancement et/ou la coordination de la tâche ?			
Y a-t-il eu des défaillances des outils et/ou des équipements ?			
Y a-t-il eu des erreurs ou des indisponibilités en ce qui concerne les pièces et/ou les outils et/ou les équipements ?			
Y a-t-il eu des exigences imprévues en ce qui concerne la préparation du chantier ?			
D'autres activités ont-elles interrompu ou perturbé la tâche ?			
Les ordres et/ou les procédures de travail ont-ils présenté des insuffisances ?			
Les conditions radiologiques sur le chantier ont-elles évolué ?			
Est-ce que les mesures de contrôle radiologiques n'ont pas été suffisamment respectées ?			
Est-ce qu'il n'a pas été tenu suffisamment compte des bonnes pratiques ALARA ?			
Est-ce que les dispositifs de protection étaient insuffisants ?			

^a SO : sans objet.

TABLEAU II-5. LISTE DE CONTRÔLE 1 DU CEPN : LISTE DE CONTRÔLE POUR LA REVUE DE CHANTIER

	Oui	Non	À examiner
Dispose-t-on de données d'expérience antérieures sur des opérations similaires ?			
Ont-elles été prises en compte ?			
<i>I. Actions sur les sources</i>			
Avant l'arrêt : filtration chimique ?			
Décontamination ?			
Est-il possible de maintenir en eau certains circuits ?			
Enlèvement d'un élément de matériel très irradiant ?			
Autre ?			
<i>II. Protection</i>			
Protection biologique : est-elle fixe, mobile, intégrée à l'outillage ?			
Contre la contamination : une boîte à gants est-elle disponible ?			
Protection biologique ?			
La protection biologique est-elle intégrée à l'outillage ?			
Confinement statique ?			
Confinement dynamique ?			
Aspersion et exhaure ?			
Protection individuelle adaptée ?			
<i>III. Volume de travail dans les conditions d'exposition</i>			
La tâche est-elle indispensable ?			
La procédure est-elle optimale ?			
La tâche est-elle bien située dans le planning ?			
Doit-elle être exécutée entièrement dans une zone irradiée ?			
Peut-on éloigner certains opérateurs ?			
Le nombre d'opérateurs est-il justifié ?			
La répartition du travail est-elle optimisée ?			
Peut-on répartir les doses entre les opérateurs ?			
A-t-on prévu des outils spécialisés pour diminuer les doses ?			
Existe-t-il une possibilité de recourir au contrôle à distance ou à des outils automatisés ?			
Peut-on modifier les tenues pour faciliter le travail ?			
Peut-on améliorer les conditions ambiantes (par ex. température, éclairage) ?			
Les communications radio sont-elles possibles ?			
Une surveillance télévisée est-elle possible ?			
Les conditions d'accès sont-elles améliorables ?			
Du matériel de manutention est-il disponible ?			
Y a-t-il des superstructures adéquates (échafaudages par ex.) ?			
Y a-t-il des zones de repli et d'approvisionnement ?			
Existe-t-il des procédures pour l'emballage du matériel et des déchets ?			
Existe-t-il des procédures pour l'enlèvement du matériel ?			

TABLEAU II-6. LISTE DE CONTRÔLE 2 DU CEPN :
GUIDE POUR LA RÉUNION DE RETOUR D'EXPÉRIENCE

Tâche :

Participants à la réunion :

Il doit être répondu aussi complètement que possible à toutes les questions en vue d'une évaluation de la tâche destinée à servir de base aux modifications pour les travaux futurs.

1. Les outils et le matériel nécessaires à la tâche étaient-ils disponibles au bon moment ?
 2. La zone était-elle prête pour votre tâche à votre arrivée ?
 3. Les mesures de protection étaient-elles adaptées à la tâche dans cette zone ?
 4. Combien de temps avez-vous eu pour préparer la tâche ? Était-ce suffisant ?
 5. D'autres tâches ont-elles interféré avec la vôtre ?
 6. Le lieu de travail a-t-il été maintenu propre et rangé afin que le travail soit aisé ?
 7. Toute l'équipe était-elle consciente de son exposition ? Avez-vous insisté pour que cette exposition soit limitée le plus possible ?
 8. Toute l'équipe était-elle consciente des objectifs dosimétriques du chantier ? L'équipe était-elle motivée ?
 9. Y a-t-il eu des problèmes de coordination avec d'autres spécialités, départements ou travailleurs ?
 10. Quels problèmes rencontrés ont pu conduire à l'augmentation des expositions ?
-

TABLEAU II-7. LISTE DE CONTRÔLE 3 DU CEPN : LISTE DE CONTRÔLE POUR LES ACTIONS À NE PAS OUBLIER — CIBLE : AGENTS DE MAINTENANCE DE L'EXPLOITANT ET DES SOUS-TRAITANTS

	Oui	Non	SO ^a
<i>Planification</i>			
Savez-vous précisément ce que vous avez à faire ?			
Connaissez-vous le trajet pour aller à votre chantier ?			
Avez-vous vérifié que votre tâche n'interférera pas avec d'autres ?			
Avez-vous vérifié vos outils avant d'entrer dans la zone ?			
Avez-vous vérifié qu'il ne vous en manque pas et que les outils sont tous en bon état de marche ? Les outils sont-ils adaptés à l'environnement ?			
<i>Environnement</i>			
Connaissez-vous les conditions d'exposition du travail ?			
Débit de dose ?			
Risques de contamination ?			
Position des sources les plus importantes ?			
Doses prévues ?			
Connaissez-vous les protections collectives prévues et leur emplacement ?			
Connaissez-vous les protections respiratoires que vous devez utiliser ?			
Connaissez-vous l'endroit où vous allez travailler ?			
Connaissez-vous les positions des prises électriques et des prises pour les fluides ?			
Connaissez-vous le point de repli le plus proche pour étudier votre gamme ou attendre qu'un autre travail soit terminé ?			
<i>Si vous n'avez pas la réponse à certaines de ces questions, demandez-la à votre chef d'équipe ou au radioprotectionniste du site.</i>			

^a SO : sans objet.

TABLEAU II-8. LISTE DE CONTRÔLE 4 DU CEPN : LISTE DE CONTRÔLE
DES ACTIONS À NE PAS OUBLIER AVANT DE DÉBUTER UN CHANTIER —
CIBLE : CHEFS D'ÉQUIPES

Tenir une réunion d'information avec l'équipe avant d'entrer dans la zone contrôlée.

Y décrire le travail à effectuer.

Y décrire l'endroit où le travail va être effectué et le meilleur trajet pour y aller,
compte tenu des conditions radiologiques (emplacement des points chauds par ex.).

Au besoin, décrire les contraintes environnementales susceptibles d'interférer avec
l'utilisation de l'outillage et l'exécution du travail (espace, éclairage, échafaudages,
protection biologique en place par ex.).

Présenter :

- La cartographie prévisionnelle
- Le risque de contamination
- Les protections prévues et leur emplacement
- Les doses prévues dans l'exécution du travail

Indiquer les points de repli.

Indiquer la place de la tâche sur le planning par rapport aux tâches précédentes
et suivantes sur le même lieu de travail.

*Si vous ne disposez pas de certaines informations, demandez-les au coordonnateur et/ou
radioprotectionniste.*

Annexe III

VALEUR MONÉTAIRE DE L'UNITÉ DE DOSE COLLECTIVE

III-1. INTRODUCTION

L'optimisation de la radioprotection a pour but d'allouer judicieusement les ressources de protection afin de ramener les doses au niveau ALARA, compte tenu des facteurs sociaux et économiques. Un outil économique faisant appel à la valeur monétaire de l'unité de dose collective et à l'analyse coût-avantages a été mis au point en vue de faciliter la prise des décisions dans un contexte de limitation des ressources disponibles pour la protection et d'efficacité décroissante des investissements consacrés à celle-ci. L'emploi de cet outil vise principalement à rendre les décisions plus transparentes en introduisant une certaine rationalité dans le choix des investissements.

L'attribution d'une valeur monétaire aux économies de doses correspondant à diverses options de radioprotection constitue un moyen de définir combien il est convenu de dépenser pour éviter une unité de dose collective, c'est-à-dire certains effets sur la santé susceptibles d'être induits par les rayonnements, compte tenu des ressources disponibles pour la protection et des caractéristiques des situations d'exposition.

Pour l'utilisation de l'analyse coût-avantages, il faut distinguer trois données principales :

- La valeur monétaire de l'homme-sievert, qui est une valeur de référence définie a priori.
- Le coût de la protection associé à une option déterminée, c'est-à-dire la somme qui sera dépensée si cette option est mise en œuvre.
- Le coût implicite de l'homme-sievert évité correspondant à une option déterminée, qui est le rapport entre les économies de doses et le coût de la protection associé à cette option. Il représente le coût d'un homme-sievert évité si l'option est mise en œuvre.

Lorsque le coût implicite de l'homme-sievert évité qui est associé à une option est nettement inférieur à la valeur monétaire de référence de l'homme-sievert, l'option peut être considérée comme raisonnable en termes de coût-efficacité. S'il est supérieur à cette valeur, l'option n'est pas jugée raisonnable d'après le seul critère du coût-efficacité (étant donné qu'elle coûte plus que la somme qu'il a été convenu de dépenser pour éviter une unité de dose collective). Dans tous les cas, pour la décision finale concernant la mise en œuvre de cette option, il faudra prendre d'autres facteurs en considération.

Il convient d'utiliser cet outil économique comme outil d'aide à la décision permettant de faciliter et de structurer le choix des options de protection dans le cadre d'un processus décisionnel complexe. Il ne faudrait pas l'employer seul pour prendre une décision, mais comme élément d'un ensemble prédéfini de critères de décision (techniques et politiques par exemple).

III-2. ÉVALUATION DE LA VALEUR MONÉTAIRE DE RÉFÉRENCE DE L'HOMME-SIEVERT

Ainsi qu'il a été indiqué plus haut, la valeur monétaire de l'homme-sievert est une valeur a priori qui indique combien on est prêt à dépenser pour éviter une dose collective d'un homme-sievert. Cette valeur peut être définie par différents organismes. Le plus souvent, elle est définie directement par les installations concernées dans le cadre de leurs règles décisionnelles. Dans certains cas cependant, les autorités nationales chargées de la sûreté ou de la radioprotection font des recommandations concernant la valeur de base à utiliser dans le processus d'optimisation. Dans tous les cas, toutefois, la valeur monétaire d'un homme-sievert est fixée par référence aux effets potentiels des doses sur la santé et aux ressources disponibles pour la protection dans l'installation ou le pays considéré. Au besoin, il peut aussi être tenu compte dans l'évaluation du niveau des doses individuelles ou de leurs distributions.

III-2.1. Relation dose-effet et valeur monétaire des effets sur la santé

La principale étape de la détermination de la valeur monétaire de l'homme-sievert se fonde sur l'examen de la relation dose-effet. C'est donc l'existence d'un risque potentiel pour la santé associé à tout niveau de dose qui justifie la volonté de réduire les doses au niveau ALARA. En adoptant, comme l'a recommandé la CIPR [III-1], l'hypothèse d'une relation dose-effet linéaire sans seuil, on peut évaluer la valeur monétaire de l'homme-sievert en multipliant la probabilité d'apparition d'un effet sur la santé associé à une dose collective d'un homme-sievert par la valeur monétaire de l'effet sur la santé. Les effets sur la santé (cancers et effets héréditaires) pouvant être exprimés sous la forme d'une perte d'espérance de vie, il est possible de relier leur valeur monétaire à la valeur monétaire associée à une année de vie. Deux grandes méthodes peuvent être utilisées pour déterminer la valeur de la perte d'espérance de vie :

- La méthode du capital humain, en vertu de laquelle la valeur monétaire d'une année de vie perdue est donnée par un agrégat économique, habituellement le produit intérieur brut annuel par habitant (voir l'exemple donné dans la section III-2.1.1) ;

- La méthode fondée sur le consentement à payer, qui fait appel à des études d'évaluation contingente pour mettre en évidence les préférences des individus lorsqu'il s'agit de réduire un risque déterminé.

III-2.1.1. Exemple III-1: Calcul de la valeur monétaire de l'homme-sievert par la méthode du capital humain

- Perte d'espérance de vie moyenne associée à un effet sur la santé induit par les rayonnements (cancers mortels et effets héréditaires) : 16 ans.
- Produit intérieur brut annuel par habitant : \$US 22 400.
- Valeur monétaire d'un effet sur la santé induit par les rayonnements : \$US 22 400 × 16 = \$US 358 400.
- Probabilité d'apparition d'un effet induit par les rayonnements sur la santé des travailleurs : $5,6 \times 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$
- Valeur monétaire d'un homme-sievert : \$US 358 400 × $5,6 \times 10^{-2} \approx$ \$US 20 000/homme·Sv.

III-2.2. Moyens de prendre en compte les distributions des doses individuelles

Dans la référence [III-1], la CIPR souligne la nécessité de prendre en considération la disparité dans les distributions des doses individuelles qui pourrait résulter de la mise en œuvre des options de protection. Il s'ensuit que les objectifs de l'optimisation de la radioprotection consistent à assurer une réduction des doses individuelles et collectives, la priorité étant donnée aux doses individuelles les plus élevées.

L'application de ces objectifs à la valeur monétaire de l'homme-sievert signifie que l'on accepterait de payer davantage pour éviter une unité de dose collective lorsque la dose individuelle augmente et, en outre, que cette augmentation de la valeur monétaire d'une unité de dose collective devient de plus en plus importante. Des modèles permettant de déterminer cette valeur croissante de l'homme-sievert ont été mis au point (voir l'exemple donné dans la section III-2.2.1) ; ils conduisent à un système de valeurs monétaires de l'homme-sievert dépendant de la plage des doses individuelles [III-2, III-3].

III-2.2.1. Exemple III-2: Modèle pour la détermination d'un ensemble de valeurs monétaires de l'homme-sievert selon le niveau des doses individuelles

Ce modèle est fondé sur l'hypothèse qu'au-dessous d'un certain niveau de dose individuelle il est plus judicieux de supposer une valeur monétaire constante pour l'unité de dose collective [III-3]. Au-dessus de ce niveau, la valeur monétaire de l'homme-sievert augmente avec le niveau de la dose individuelle, compte tenu du degré d'aversion envers le niveau de dose.

Ce modèle est illustré à la figure III-1, dans laquelle l'ordonnée est la valeur monétaire de l'unité de dose collective et l'abscisse le niveau de dose individuel, exprimé généralement en termes de dose annuelle moyenne.

Valeurs proposées pour le modèle. Dans la pratique, il faut, pour appliquer ce modèle, assigner une valeur à trois paramètres : α_{Base} , d_0 et a :

- α_{Base} représente la valeur monétaire du détriment pour la santé qui est associé à une unité de dose collective.
- La valeur de d_0 correspond au niveau de la dose individuelle au-dessous duquel l'aversion envers le niveau de dose n'est pas prise en compte. Cette valeur dépend du degré d'acceptation du risque de la population exposée. Dans le cas des doses professionnelles, par exemple, on a adopté la valeur correspondant à la limite de la dose individuelle pour le public, à savoir 1 mSv/a (cette valeur pourrait être adoptée selon la situation particulière considérée).
- Le coefficient a correspond au degré d'aversion envers le niveau de dose individuelle. Il a été démontré que a doit être supérieur à 1 pour satisfaire aux objectifs. Dans le cas des doses professionnelles, une plage de valeurs comprises en 1,2 et 1,8 paraît raisonnable d'après les travaux publiés sur l'aversion envers le risque.

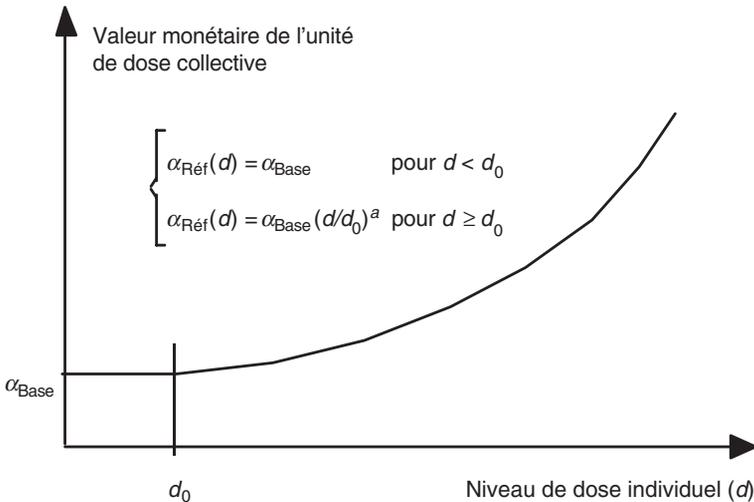


FIG. III-1. Modèle proposé pour l'évaluation monétaire du détriment radiologique.

III-3. EXEMPLES DE VALEURS MONÉTAIRES UTILISÉES POUR L'UNITÉ DE DOSE COLLECTIVE

Une revue des pratiques suivies au niveau international montre que l'idée d'assigner une valeur monétaire à l'homme-sievert fait de plus en plus son chemin parmi les exploitants et les organismes de réglementation, bien que son emploi soit simplement recommandé et non obligatoire [III-4] (voir les tableaux III-1 à III-3). La valeur monétaire sert essentiellement à éclairer les décisions importantes (concernant par exemple la modification des installations ou des réparations coûteuses). Elle est considérée principalement par les utilisateurs comme un outil qui réduit la subjectivité du choix et qui sert occasionnellement dans les discussions avec les sous-traitants ou les autorités.

TABLEAU III-1. VALEUR MONÉTAIRE DE L'HOMME-SIEVERT RECOMMANDÉE PAR DIFFÉRENTES AUTORITÉS

Pays (année)	Valeur monétaire de l'homme-sievert en monnaie nationale	Valeur monétaire de l'homme-sievert en \$US
Canada (1997)	\$Can 100 000, fixée à partir de références internationales	75 000
États-Unis (NRC) (1995)	\$US 200 000	200 000
Finlande (1991)	\$US 100 000, valeur commune à tous les pays nordiques	100 000
Pays-Bas (1995)	f. 1 000 000	500 000
République tchèque (1997)	CK 500 000–5 000 000, suivant le niveau de dose individuel et la situation d'exposition	17 000–170 000
Roumanie (2000)	\$US 220 000	220 000
Royaume-Uni (1993)	£ 10 000–100 000, suivant la situation d'exposition (n'est pas spécifique à des installations) et le niveau de dose individuel	17 000–170 000
Suède (SSI) (1992)	KrS 400 000–2 000 000	55 000–270 000
Suisse (1994)	FS 3 000 000	3 000 000

Note : 1 \$US = \$Can 1,33, CK 30, £ 0,6, f. 2, KrS 7,5 et FS 1 (en 1998).

SSI : Autorité suédoise de radioprotection. **NRC :** Nuclear Regulatory Commission.

TABLEAU III-2. VALEUR MONÉTAIRE DE L'HOMME-SIEVERT UTILISÉE PAR DIFFÉRENTES CENTRALES (VALEUR UNIQUE)

Pays	Centrale	Année d'adoption	Valeur monétaire de l'homme-sievert en monnaie nationale	Valeur monétaire de l'homme-sievert en \$US
Afr. du Sud	Koeberg	1993	\$US 1 000 000	1 000 000
Canada	Gentilly	—	\$Can 1 000 000	750 000
Espagne	Asco	1994	\$US 2 000 000	2 000 000
	Vandellos	1982	Ptas 100 000 000	700 000
États-Unis	Valeur par centrale pour 90% des réacteurs	1990–1991 en général, 1993–1997 pour les valeurs les plus élevées	Valeur min. :	Valeur min. :
			\$US 500 000,	500 000,
			Valeur max. :	Valeur max. :
			\$US 2 810 000,	2 810 000,
			Valeur médiane :	Valeur médiane :
\$US 1 200 000	1 200 000			
\$US 1 000 000	1 000 000			
Roumanie	Cernavoda	2000	\$US 220 000	220 000
Slovénie	Krško	1996	\$US 700 000	700 000
Suède	Valeur commune à toutes les centrales	1992	KrS 4 000 000	550 000

Note : 1 \$US = \$Can 1,33, Ptas 150, KrS 7,5 (en 1998).

TABLE III-3. VALEUR MONÉTAIRE DE L'HOMME-SIEVERT UTILISÉE PAR DIFFÉRENTES INSTALLATIONS (SYSTÈME DE VALEURS DÉPENDANT DU NIVEAU DE DOSE INDIVIDUEL ANNUEL)

Pays	Installation	Année d'adoption	Valeur monétaire de l'homme-sievert en monnaie nationale	Valeur monétaire de l'homme-sievert en \$US
Allemagne	Proposition de la VGB à l'essai dans les installations	1996	<1 mSv : pas de valeur 1-10 mSv: DM 300 000 10-20 mSv : valeur augmentant linéairement pour atteindre DM 3 000 000 à 20 mSv	<1 mSv : pas de valeur 1-10 mSv : 170 000 10-20 mSv : valeur augmentant linéairement pour atteindre 1 695 000 à 20 mSv
Belgique	SCK-CEN	1995	<1 mSv : FB 1 000 000 1-2 mSv : FB 2 500 000 2-5 mSv : FB 10 000 000 5-10 mSv : FB 25 000 000 10-20 mSv : FB 50 000 000 20-50 mSv : FB 200 000 000	<1 mSv : 27 000 1-2 mSv : 67 000 2-5 mSv : 267 000 5-10 mSv : 667 000 10-20 mSv : 1 333 000 20-50 mSv : 5 333 000
Canada	Darlington : système dépendant de la catégorie de travailleurs	—	De quelques milliers de \$Can à \$Can 2 000 000 Exemple : travailleurs en général : \$Can 200 000, équipes de maintenance des réacteurs : \$Can 1 500 000	De quelques milliers de \$US à \$US 1 500 000 Exemple : travailleurs en général : 150 000, équipes de maintenance des réacteurs : 1 130 000
Espagne	Cofrentes: système de valeurs dépendant du niveau de la dose collective annuelle	1994	<3 homme-Sv par réacteur et par an en moyenne sur 3 ans : Ptas 100 000 000 >3 homme-Sv par réacteur et par an en moyenne sur 3 ans : Ptas 150 000 000	<3 homme-Sv par réacteur et par an en moyenne sur 3 ans : 667 000 >3 homme-Sv par réacteur et par an en moyenne sur 3 ans : 1 000 000
États-Unis	South Texas	1993	<10 mSv : \$US 500 000 >10 mSv : \$US 2 500 000	<10 mSv : 500 000 >10 mSv : 2 500 000
France	Electricité de France	1993	0-1 mSv : FF 100 000 1-5 mSv : FF 500 000 5-15 mSv : FF 2 300 000 15-30 mSv : FF 6 700 000 30-50 mSv : FF 15 000 000	0-1 mSv : 17 000 1-5 mSv : 83 000 5-15 mSv : 383 000 15-30 mSv : 1 117 000 30-50 mSv : 2 500 000
Pays-Bas	Borselle	1992	<15 mSv : f. 1 000 000 >15 mSv : f. 2 000 000	<15 mSv : 500 000 >15 mSv : 1 000 000
Royaume-Uni	Sizewell	—	Le NRPB a fixé pour les travailleurs : entre £10 000 et £50 000	Le NRPB a fixé pour les travailleurs : entre 17 000 et 85 000

Note : 1 \$US = FB 37,5, \$Can 1,33, FF 6, DM 1,77, f. 2, Ptas 150, £ 0,6 (en 1998). **SCK-CEN :** Studiecentrum voor Kernenergie / Centre d'étude de l'énergie nucléaire. **VGB :** Technische Vereinigung der Grosskraftwerkbetreiber. **NRPB :** National Radioprotection Board.

RÉFÉRENCES POUR L'ANNEXE III

- [III-1] COMMISSION INTERNATIONALE DE PROTECTION RADIOLOGIQUE, Recommandations 1990 de la Commission internationale de protection radiologique, CIPR Publication 60, Pergamon Press, Oxford et New York (1993).
- [III-2] CLARK, M.J., FLEISHMAN, A.B., WEBB, G.A.M., Optimisation of the Radiological Protection of the Public (A Provisional Framework for the Application of Cost-Benefit Analysis to Normal Operations), NRPB R-120, National Radioprotection Board, Didcot (1981).
- [III-3] LOCHARD, J., LEFAURE, C., SCHIEBER, C., SCHNEIDER, T., A model for the determination of monetary values of the man-sievert, *J. Radiol. Prot.* **16** (1996) 201-204.
- [III-4] LEFAURE, C., Monetary Values of the Person-Sievert — From Concept to Practice: The Findings of an International Survey, CEPN-R-254, Centre d'étude sur l'évaluation de la protection dans le domaine nucléaire, Paris (1998).

PERSONNES AYANT CONTRIBUÉ À LA RÉDACTION ET À L'EXAMEN

Atoyan, V.	Compagnie arménienne d'électricité nucléaire (Arménie)
Avetisyan, A.	Autorité arménienne de réglementation nucléaire (Arménie)
Blaikie, J.	Texas Utilities (États-Unis d'Amérique)
Boutrif, E.	Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture
Breznik, B.	Centrale nucléaire de Krško (Slovénie)
Cool, D.A.	Commission de la réglementation nucléaire (États-Unis d'Amérique)
Crick, M.	Agence internationale de l'énergie atomique
Deboodt, P.	SCK-CEN (Belgique)
Dobiš, L.	Centrale nucléaire de Bohunice (Slovaquie)
Foster, P.	Institution of Professionals, Managers and Specialists (Royaume-Uni)
Godås, T.	Institut suédois de radioprotection (Suède)
Gustafsson, M.	Agence internationale de l'énergie atomique
Hudson, A.P.	Conseil national de radioprotection (Royaume-Uni)
Lund, I.	Institut suédois de radioprotection (Suède)
Massera, G.	Agence internationale de l'énergie atomique
Montesinos, J.J.	Conseil de sûreté nucléaire (Espagne)
Mrabit, K.	Agence internationale de l'énergie atomique
Na, S.H.	Agence internationale de l'énergie atomique
Nasim, B.	Commission pakistanaise de l'énergie atomique (Pakistan)
Niu, S.	Bureau international du Travail
Owen, D.	British Nuclear Fuels plc (Royaume-Uni)
Pradeep Kumar, K.S.	Centre de recherche atomique Bhabha (Inde)
Rodna, A.	Commission nationale de contrôle des activités nucléaires (Roumanie)

Sadagopan, G.	Centre de recherche atomique Bhabha (Inde)
Schieber, C.	Centre d'étude sur l'évaluation de la protection dans le domaine nucléaire (France)
Sharma, D.N.	Centre de recherche atomique Bhabha (Inde)
Sohrabi, M.	Agence internationale de l'énergie atomique
Valentin, J.	Commission internationale de protection radiologique
Viana, R.N.	Centrale nucléaire Angra (Brésil)
Viktory, D.	Institut national de santé de la République slovaque (Slovaquie)
Webb, G.A.M.	Brighton (Royaume-Uni)
Wrixon, A.D.	Agence internationale de l'énergie atomique
Xia, Y.	Institut chinois de l'énergie atomique (Chine)

Réunions de consultants

Vienne (Autriche) : 3–7 mai, 13–17 décembre 1999, 22–24 août 2000