

**L'organisation du travail pour  
optimiser la radioprotection  
professionnelle dans les  
centrales nucléaires**

© OCDE 2010  
AEN n° 6400

AGENCE POUR L'ÉNERGIE NUCLÉAIRE  
ORGANISATION DE COOPÉRATION ET DE DÉVELOPPEMENT ÉCONOMIQUES

## ORGANISATION DE COOPÉRATION ET DE DÉVELOPPEMENT ÉCONOMIQUES

L'OCDE est un forum unique en son genre où les gouvernements de 31 démocraties œuvrent ensemble pour relever les défis économiques, sociaux et environnementaux que pose la mondialisation. L'OCDE est aussi à l'avant-garde des efforts entrepris pour comprendre les évolutions du monde actuel et les préoccupations qu'elles font naître. Elle aide les gouvernements à faire face à des situations nouvelles en examinant des thèmes tels que le gouvernement d'entreprise, l'économie de l'information et les défis posés par le vieillissement de la population. L'Organisation offre aux gouvernements un cadre leur permettant de comparer leurs expériences en matière de politiques, de chercher des réponses à des problèmes communs, d'identifier les bonnes pratiques et de travailler à la coordination des politiques nationales et internationales.

Les pays membres de l'OCDE sont : l'Allemagne, l'Australie, l'Autriche, la Belgique, le Canada, le Chili, la Corée, le Danemark, l'Espagne, les États-Unis, la Finlande, la France, la Grèce, la Hongrie, l'Irlande, l'Islande, l'Italie, le Japon, le Luxembourg, le Mexique, la Norvège, la Nouvelle-Zélande, les Pays-Bas, la Pologne, le Portugal, la République slovaque, la République tchèque, le Royaume-Uni, la Suède, la Suisse et la Turquie. La Commission européenne participe aux travaux de l'OCDE.

Les Éditions OCDE assurent une large diffusion aux travaux de l'Organisation. Ces derniers comprennent les résultats de l'activité de collecte de statistiques, les travaux de recherche menés sur des questions économiques, sociales et environnementales, ainsi que les conventions, les principes directeurs et les modèles développés par les pays membres.

Cet ouvrage est publié sous la responsabilité du Secrétaire général de l'OCDE. Les opinions et les interprétations exprimées ne reflètent pas nécessairement les vues de l'OCDE ou des gouvernements de ses pays membres.

*Cet ouvrage est publié sous la responsabilité du Secrétaire général de l'OCDE. Les opinions et les interprétations exprimées ne reflètent pas nécessairement les vues de l'OCDE ou des gouvernements de ses pays membres.*

### L'AGENCE POUR L'ÉNERGIE NUCLÉAIRE

L'Agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire (AEN) a été créée le 1<sup>er</sup> février 1958 sous le nom d'Agence européenne pour l'énergie nucléaire de l'OECE. Elle a pris sa dénomination actuelle le 20 avril 1972, lorsque le Japon est devenu son premier pays membre de plein exercice non européen. L'Agence compte actuellement 28 pays membres de l'OCDE : l'Allemagne, l'Australie, l'Autriche, la Belgique, le Canada, la Corée, le Danemark, l'Espagne, les États-Unis, la Finlande, la France, la Grèce, la Hongrie, l'Irlande, l'Islande, l'Italie, le Japon, le Luxembourg, le Mexique, la Norvège, les Pays-Bas, le Portugal, la République slovaque, la République tchèque, le Royaume-Uni, la Suède, la Suisse et la Turquie. La Commission des Communautés européennes participe également à ses travaux.

La mission de l'AEN est :

- d'aider ses pays membres à maintenir et à approfondir, par l'intermédiaire de la coopération internationale, les bases scientifiques, technologiques et juridiques indispensables à une utilisation sûre, respectueuse de l'environnement et économique de l'énergie nucléaire à des fins pacifiques ; et
- de fournir des évaluations faisant autorité et de dégager des convergences de vues sur des questions importantes qui serviront aux gouvernements à définir leur politique nucléaire, et contribueront aux analyses plus générales des politiques réalisées par l'OCDE concernant des aspects tels que l'énergie et le développement durable.

Les domaines de compétence de l'AEN comprennent la sûreté nucléaire et le régime des autorisations, la gestion des déchets radioactifs, la radioprotection, les sciences nucléaires, les aspects économiques et technologiques du cycle du combustible, le droit et la responsabilité nucléaires et l'information du public. La Banque de données de l'AEN procure aux pays participants des services scientifiques concernant les données nucléaires et les programmes de calcul.

Pour ces activités, ainsi que pour d'autres travaux connexes, l'AEN collabore étroitement avec l'Agence internationale de l'énergie atomique à Vienne, avec laquelle un Accord de coopération est en vigueur, ainsi qu'avec d'autres organisations internationales opérant dans le domaine de l'énergie nucléaire.

Publié en anglais sous le titre :

#### **Work Management to Optimise Occupational Radiological Protection at Nuclear Power Plants**

Les corrigenda des publications de l'OCDE sont disponibles sur : [www.oecd.org/editions/corrigenda](http://www.oecd.org/editions/corrigenda).

© OCDE 2010

Vous êtes autorisés à copier, télécharger ou imprimer du contenu OCDE pour votre utilisation personnelle. Vous pouvez inclure des extraits des publications, des bases de données et produits multimédia de l'OCDE dans vos documents, présentations, blogs, sites Internet et matériel d'enseignement, sous réserve de faire mention de la source OCDE et du copyright. Les demandes pour usage public ou commercial ou de traduction devront être adressées à [rights@oecd.org](mailto:rights@oecd.org). Les demandes d'autorisation de photocopier une partie de ce contenu à des fins publiques ou commerciales peuvent être obtenues auprès du Copyright Clearance Center (CCC) [info@copyright.com](mailto:info@copyright.com) ou du Centre français d'exploitation du droit de copie (CFC) [contact@cfcopies.com](mailto:contact@cfcopies.com).

## AVANT-PROPOS

Depuis 1992, le Système d'information sur les expositions professionnelles [*Information System on Occupational Exposure (ISOE)*] a mis en place un forum pour les professionnels de la radioprotection des installations électronucléaires et les autorités de réglementation nationales du monde entier pour discuter, promouvoir et coordonner des opérations coopératives internationales en faveur de la radioprotection des travailleurs dans les centrales nucléaires. L'objectif d'ISOE est d'améliorer la gestion des expositions professionnelles dans les centrales nucléaires à travers l'échange de données, d'informations et d'expériences pertinentes sur les méthodes permettant d'optimiser la radioprotection professionnelle.

La clé d'une gestion efficace des expositions professionnelles réside dans la planification et l'exécution minutieuses des travaux dans les centrales nucléaires, autrement dit « l'organisation du travail ». L'organisation du travail souligne l'importance d'aborder les travaux au travers d'une équipe pluridisciplinaire et d'assurer un suivi de toutes les étapes. En concentrant toute l'attention sur les travaux à entreprendre, il est possible d'assurer la réussite de leur exécution avec respect du calendrier et du budget, réalisation de l'objectif visé et optimisation de la radioprotection des travailleurs.

Depuis la publication du premier rapport ISOE sur l'organisation du travail en 1997, cette approche a été largement mise en œuvre dans l'industrie électronucléaire mondiale et s'avère efficace depuis plusieurs années pour la réduction des doses d'exposition professionnelle et des coûts des opérations. L'industrie électronucléaire reste cependant confrontée à des contraintes économiques et réglementaires, tandis que de nombreux autres changements sont également apparus, dont des évolutions dans le système de radioprotection, des avancées technologiques, des changements sociaux, politiques et économiques, et des perspectives de nouveaux programmes nucléaires. L'échange permanent d'expériences entre les professionnels de la radioprotection est tout aussi important. Ces défis et expériences collectifs ont fourni une base solide de connaissances pratiques pour reconsidérer l'organisation du travail au cours de cette première partie du 21<sup>e</sup> siècle.

Ce rapport réactualisé sur la gestion du travail constitue un guide pratique sur l'application des principes d'organisation du travail dans le cadre de l'optimisation de la radioprotection professionnelle. Il reconnaît que, bien que l'organisation du travail ne soit pas un concept nouveau, des efforts continus sont nécessaires pour maintenir un bon niveau de résultats, de performances et de tendances face aux défis actuels et futurs. Le but de ce rapport est donc de présenter les aspects essentiels de l'organisation du travail qui doivent être pris en compte par les personnels d'encadrement et d'exécution pour économiser du temps, des doses et des coûts. Il s'appuie sur des exemples pratiques issus de la communauté ISOE.

ISOE est coparrainé par l'Agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire (AEN) et l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA).

Réseau ISOE : [www.isoe-network.net](http://www.isoe-network.net)

## REMERCIEMENTS

Ce rapport sur l'organisation du travail a été établi par le Groupe d'experts sur la gestion du travail ISOE [*Expert Group on Work Management (EGWM)*] et approuvé par le Bureau d'ISOE. Le Groupe d'experts était composé des membres suivants :

M. W. Mizumachi	Président de l'EGWM Centre technique asiatique ISOE, JNES, Japon
Mme C. Schieber	Vice-présidente de l'EGWM Centre technique européen d'ISOE, CEPN, France
M. B. Ahier	Secrétariat conjoint d'ISOE, OCDE/AEN
Mme H. Bertin	EDF, France
M. B. Breznik	Centrale nucléaire de Krsko, Slovénie
M. W-C. Choi	KINS, Corée
M. P. Deboodt	Centre technique AIEA d'ISOE
Dr. R. Doty	Centrale nucléaire de Susquehanna, États-Unis
M. F. Drouet	Centre technique européen d'ISOE, CEPN, France
M. F. Garrote	Tecnatom, Espagne
Dr. V. Glasunov	VNIAES, Russie
Dr. Y. Hayashida	Centre technique asiatique d'ISOE, JNES, Japon
M. S. Hennigor	Centrale nucléaire de Forsmark, Suède
M. M. Kobayashi	Centre technique asiatique d'ISOE, Japon
M. M. Lunn	Centrale de Sizewell B, Royaume-Uni
Dr. D. Miller	Centre technique d'Amérique du Nord d'ISOE, Centrale nucléaire de Cook, États-Unis
Dr. S. Na	KINS, Corée
M. K. Ohr	Centrale nucléaire de Quad Cities, États-Unis
M. G. Renn	Centrale de Sizewell B, Royaume-Uni
M. V. Simionov	Centrale nucléaire de Cernavoda, Roumanie
M. D. Steinel	Centrale nucléaire de Philippsburg, Allemagne
M. S. Zorrilla	Centre nucléaire de Laguna Verde, Mexique

L'EGWM remercie pour leur contribution les nombreux membres d'ISOE qui ont fourni des exemples pratiques d'organisation du travail issus de leurs programmes locaux de radioprotection ainsi que les auteurs des exposés présentés aux symposiums ALARA internationaux et régionaux d'ISOE d'où ont été tirés des exemples supplémentaires. Ces exposés peuvent être consultés sur le site internet du réseau ISOE ([www.isoe-network.net](http://www.isoe-network.net)).

L'EGWM espère que la diffusion de ce « livre vert » sur l'organisation du travail encouragera l'optimisation de la radioprotection professionnelle et la réduction des expositions des travailleurs dans les centrales actuelles et futures.

## TABLE OF CONTENTS

<b>Avant-propos</b> .....	3
<b>Remerciements</b> .....	4
<b>1. Introduction</b> .....	9
1.1 Contexte .....	9
1.2 Principes de l'organisation du travail.....	11
<b>2. Aspects réglementaires</b> .....	15
2.1 Introduction .....	15
2.2 Normes et directives internationales .....	15
2.3 Politique de réglementation nationale .....	20
2.4 Procédures internes de l'industrie : restrictions opérationnelles .....	25
2.5 Résumé .....	27
<b>3. Politique ALARA</b> .....	29
3.1 Introduction .....	29
3.2 Programmes ALARA des centrales nucléaires .....	29
3.3 Rôles et responsabilités pour la mise en œuvre du programme ALARA.....	30
3.4 Comité ALARA et autres organisations ALARA spécifiques .....	33
3.5 Analyses ALARA .....	36
3.6 Guides ALARA des exploitants .....	37
3.7 Résumé.....	38
<b>4. Implication et performances des travailleurs</b> .....	39
4.1 Introduction .....	39
4.2 Performance des intervenants contribuant à la mise en œuvre du programme ALARA.....	39
4.3 Enseignement et formation pour la mise en œuvre de l'approche ALARA.....	40
4.4 Facteurs contribuant à l'implication des travailleurs.....	41
4.5 Résumé.....	46
<b>5. Préparation et planification des travaux</b> .....	47
5.1 Introduction .....	47
5.2 Optimisation de la durée des arrêts de tranche.....	47
5.3 Processus de préparation des travaux .....	50
5.4 Systèmes de contrôle des procédures de travail .....	54
5.5 Préparation des chantiers pour les travaux dosants .....	55
5.6 Analyses comparatives.....	58
5.7 Préparation du personnel.....	60
5.8 Résumé.....	62

<b>6. Aspects techniques et opérationnels de la préparation des travaux</b> .....	65
6.1 Introduction .....	65
6.2 Caractérisation du terme source .....	65
6.3 Techniques de réduction du terme source .....	66
6.4 Techniques de réduction des expositions .....	75
6.5 Outils et équipements .....	81
6.6 Equipements de protection individuelle .....	84
6.7 Optimisation des lieux de travail et coordination des travaux.....	84
6.8 Résumé.....	85
<b>7. Réalisation des travaux</b> .....	87
7.1 Introduction .....	87
7.2 Contrôle des méthodes de travail : partage des responsabilités .....	87
7.3 Systèmes de contrôle d'accès .....	89
7.4 Systèmes de télésurveillance .....	93
7.5 Contrôle de la contamination .....	94
7.6 Moyens pour éviter les doses inutiles et réduire les expositions de transit .....	96
7.7 Moyens pour éviter les reprises de travaux .....	98
7.8 Gestion des déchets .....	98
7.9 Collecte des informations de retour d'expérience lors de la réalisation des travaux.....	99
7.10 Résumé .....	100
<b>8. Évaluation des travaux et retour d'expérience</b> .....	101
8.1 Introduction .....	101
8.2 Analyse et suivi des travaux.....	101
8.3 Bases de données de retour d'expérience.....	104
8.4 Comparaison des pratiques ALARA .....	105
8.5 Partage d'expérience .....	107
8.6 Audits du programme .....	108
8.7 Résumé.....	109
<b>9. Garantir l'amélioration permanente</b> .....	111
9.1 Introduction .....	111
9.2 Réduction du terme source dès la conception et construction de nouvelles centrales nucléaires .....	111
9.3 Protections radiologiques dans les nouvelles centrales nucléaires.....	113
9.4 Systèmes de télésurveillance dans les nouvelles centrales nucléaires.....	114
9.5 Technologies robotiques dans les nouvelles centrales nucléaires .....	114
9.6 Composants sans entretien dans les nouvelles centrales nucléaires .....	115
9.7 L'organisation du travail dans les nouvelles centrales nucléaires.....	115
<b>10. Conclusions</b> .....	117
<b>Références</b> .....	119

## **Annexes**

1. Informations sur le programme ISOE .....	121
2. Exemple de rapports d'informations ISOE 3 sur des opérations particulières .....	123
3. Exemple de check-list ALARA avant travaux .....	125
4. Exemples de formulaires D'ANALYSE après travaux .....	127
5. Exemple de formulaire de suggestion d'améliorations en radioprotection.....	131

## **Figures**

1. Dose collective moyenne sur trois ans par réacteur pour les réacteurs en exploitation dans ISOE, 1992-2007 (homme-Sv) .....	10
2. Les éléments de l'organisation du travail et leur nature itérative .....	12
3. Élaboration des normes et réglementation en matière de radioprotection.....	16
4. Durée moyenne d'un arrêt par type de réacteur.....	49
5. Couche de dépôt de produits de corrosion du circuit primaire .....	66

## **Tableaux**

1. Limites de dose professionnelle réglementaires (corps entier) dans les pays participant à ISOE .....	23
2. Travaux dosants dans les réacteurs à eau légère.....	56



# 1. INTRODUCTION

## 1.1 Contexte

Les centrales nucléaires sont construites selon des normes techniques strictes, exploitées par des opérateurs bien formés soumis à autorisation, et évaluées de manière indépendante par des autorités réglementaires gouvernementales. Les exploiter sans erreurs est essentiel pour la sûreté, l'efficacité et l'acceptation par le public de la technologie des centrales nucléaires.

L'industrie nucléaire dans les années 60 et 70 a été caractérisée par une expansion rapide des centrales électronucléaires en remplacement des centrales à charbon et à gaz à grande échelle. Toutefois, à la fin des années 70 et dans les années 80, les accidents de la tranche 2 de Three Mile Island et de Tchernobyl ont ralenti cette poussée de l'énergie nucléaire dans de nombreux pays. En réaction à cette situation et en l'absence d'expansion, les années 80 se sont concentrées, dans une large mesure, sur l'amélioration de la sûreté du parc existant de réacteurs en exploitation.

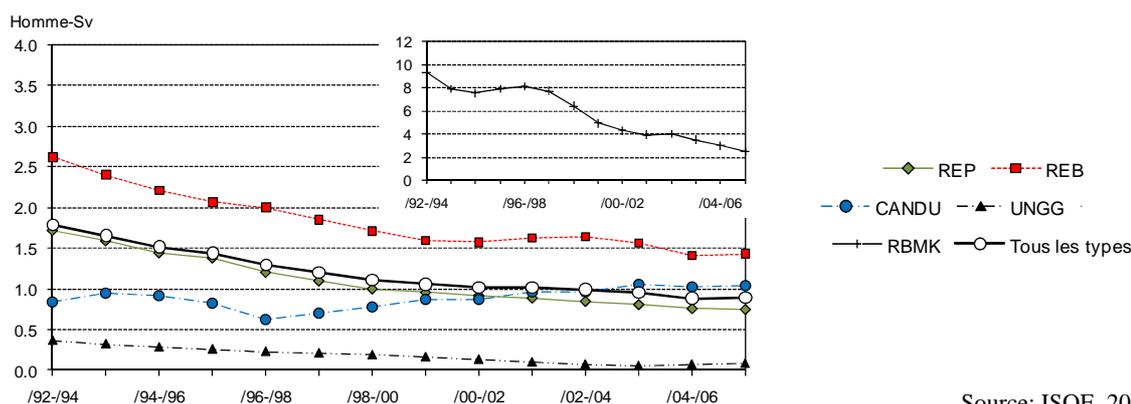
Dans de nombreux pays, les années 90 ont préparé les installations nucléaires à la déréglementation dans le secteur de l'électricité. L'industrie nucléaire américaine, par exemple, a comparé ses activités et performances aux pratiques européennes d'organisation du travail pour rechercher des moyens plus sûrs et plus efficaces d'exploiter et de recharger les tranches nucléaires et d'augmenter les facteurs de capacité annuels. En 2000, l'industrie nucléaire avait démontré, dans certains pays, sa capacité à effectuer des rechargements plus rapides et plus efficaces et à raccourcir les arrêts pour maintenance tout en améliorant l'optimisation de la radioprotection des travailleurs. Aux États-Unis, les facteurs de capacité sont ainsi passés de 80 % dans les années 70 et 80 à environ 90 % dans les années 90. Cette évolution s'est accompagnée d'une réduction des expositions des travailleurs dans toute l'industrie nucléaire.

De ce fait, dans le monde entier, les expositions professionnelles dans les centrales nucléaires ont diminué régulièrement depuis le début des années 90. Les pressions réglementaires, les avancées technologiques, l'amélioration de la conception des centrales et des procédures opérationnelles, la culture ALARA et l'échange d'informations ont contribué à cette tendance à la baisse (figure 1). Toutefois, du fait du vieillissement continu et du prolongement de la durée de vie possible des centrales dans le monde entier, des pressions économiques, des évolutions politiques, sociales et réglementaires, et du potentiel de nouveaux programmes nucléaires, la tâche de garantir des expositions professionnelles aussi faibles que raisonnablement possible (principe ALARA : as low as reasonably achievable), compte tenu des coûts opérationnels et des facteurs sociaux, reste un véritable défi pour les professionnels de la radioprotection.

Depuis 1992, le Système d'information sur les expositions professionnelles [Information System on Occupational Exposure (ISOE)], coparrainé par l'Agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire (AEN) et l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA), a mis en place un forum pour les professionnels de la radioprotection des installations électronucléaires et les autorités nationales de réglementation du monde entier pour discuter, promouvoir et coordonner des opérations coopératives internationales en faveur de la radioprotection des travailleurs dans les centrales nucléaires (voir annexe 1). L'objectif d'ISOE est d'améliorer la gestion des expositions professionnelles dans les centrales nucléaires à travers l'échange de données et d'informations régulièrement mises à jour et le partage d'expérience sur les méthodes permettant d'optimiser la radioprotection des travailleurs.

À cette fin, ISOE comporte un programme de collecte et d'analyse des données sur les expositions professionnelles mondiales, dont le but ultime est d'alimenter la plus grande base de données internationale sur les expositions professionnelles dans les centrales nucléaires et un réseau de communication pour partager entre participants l'expérience et les informations sur la réduction des doses. Ces ressources, y compris l'accès au site Web d'échange d'informations du réseau ISOE ([www.isoe-network.net](http://www.isoe-network.net)) sont à la disposition des participants au programme ISOE<sup>1</sup>.

Figure 1. Dose collective moyennée sur trois ans par réacteur pour les réacteurs en exploitation dans ISOE, 1992-2007 (homme-Sv)



Source: ISOE, 2008

La clé des succès mentionnés ci-dessus a été la compréhension de l'importance d'une planification et d'une exécution minutieuses des opérations de rechargement et des arrêts pour maintenance dans les centrales nucléaires. Le premier rapport ISOE sur «L'organisation du travail dans l'industrie électronucléaire» (AEN, 1997) a été important à cet égard. Il reflétait parfaitement les préoccupations d'une industrie nucléaire sous pression pour réaliser les objectifs de production avec un personnel technique et d'exploitation beaucoup plus restreint. En peu de temps, le rapport est devenu un guide qui a suscité un vif intérêt de la part des responsables de la radioprotection, des responsables de centrales et des managers. Ce rapport, basé sur les quelques premières années d'expérience d'ISOE, a fortement contribué à l'optimisation de la radioprotection des travailleurs de l'industrie nucléaire à un moment où les principes d'organisation du travail n'avaient pas encore été intégrés aux pratiques de travail courantes.

L'organisation du travail souligne l'importance d'aborder les travaux avec des équipes pluri-disciplinaires et de suivre toutes les étapes de ces travaux (conception, planification, préparation, mise en œuvre et suivi). En concentrant toute l'attention sur les travaux à entreprendre, il est possible d'assurer la réussite de leur exécution : respect du calendrier et du budget, réalisation de l'objectif visé.

L'organisation du travail est maintenant largement mise en œuvre dans l'industrie électronucléaire mondiale et s'avère, depuis plusieurs années, efficace en ce qui concerne la réduction des doses professionnelles et des coûts opérationnels. L'industrie électronucléaire reste cependant confrontée à des contraintes économiques et réglementaires, tandis que de nombreux autres changements sont également apparus (évolutions du système de radioprotection, avancées technologiques, changements sociaux, politiques et économiques, perspective de nouveaux programmes nucléaires, etc.). L'échange permanent d'expériences et d'informations entre les professionnels de la radioprotection des installations électronucléaires et les autorités nationales de réglementation est tout aussi important. Ces défis et expériences collectifs ont fourni une base solide de connaissances pratiques pour reconsidérer l'organisation du travail au cours de cette première partie du 21<sup>ème</sup> siècle.

1. Les participants officiels au programme ISOE incluent les installations électronucléaires et autorités nationales de réglementation qui participent à ISOE dans le cadre des conditions générales d'ISOE.

Compte tenu de la large utilisation du premier rapport sur l'organisation du travail par les professionnels de la radioprotection ces 10 dernières années et de l'évolution de l'environnement de travail depuis cette publication, le Conseil de gestion d'ISOE, suite à une proposition du centre technique asiatique d'ISOE, a mis en place en 2007 un Groupe d'experts sur l'organisation du travail (EGWM) chargé d'élaborer un rapport reflétant l'état actuel des connaissances, de la technologie et de l'expérience en matière de radioprotection des travailleurs dans les centrales nucléaires.

Comme pour le rapport de 1997, l'objectif du présent rapport sur « La gestion du travail pour optimiser la radioprotection professionnelle dans les centrales nucléaires » est de fournir un guide pratique sur l'application des principes d'organisation du travail dans le cadre de l'optimisation de la radioprotection professionnelle. Il reconnaît que, bien que l'organisation du travail ne soit plus un concept nouveau, des efforts soutenus sont nécessaires pour conserver des résultats, des performances et des tendances satisfaisants face aux défis actuels et futurs. Le but de ce rapport est donc de présenter les aspects essentiels de l'organisation du travail qui doivent être pris en compte par les personnels de direction et d'exécution pour gagner du temps, des doses et des coûts en s'appuyant sur les exemples pratiques issus de la communauté ISOE. L'EGWM espère que cette approche apportera une valeur pratique au lecteur et encouragera une amélioration continue des performances.

## **1.2 Principes de l'organisation du travail**

L'exploitation et la maintenance des centrales nucléaires impliquent l'exposition des travailleurs. L'expérience a montré qu'une approche cohérente et globale de l'organisation du travail, outre le fait de contribuer à une bonne radioprotection, favorise également une exploitation sûre et économique des centrales.

L'organisation du travail, telle que présentée dans ce rapport, est une méthodologie globale qui souligne l'importance de gérer complètement les travaux, de la planification au suivi, en utilisant une approche d'« équipe pluridisciplinaire » qui fait participer tous les parties prenantes. Bien que la réduction des doses ne soit qu'une des composantes de cette approche, le personnel de radioprotection des centrales nucléaires constitue une composante essentielle au sein de ces équipes et doit opérer dans ce contexte pour garantir que les expositions professionnelles restent aussi faibles que raisonnablement possible (principe ALARA).

Les facteurs déterminants pour les expositions professionnelles dans les centrales nucléaires sont les niveaux de rayonnement dans les zones de travail, le temps passé dans ces zones et le nombre de travailleurs concernés. Ces facteurs peuvent être influencés par des mesures techniques et administratives. La réduction des doses est souvent obtenue grâce à des réductions du terme source, du nombre de travailleurs dans la zone contrôlée, du temps passé par les travailleurs dans cette zone et de la quantité de reprises nécessaire (dues à un défaut de conception, à un matériel défectueux ou à une malfaçon).

Les mesures d'organisation du travail visent à optimiser la radioprotection professionnelle dans le cadre de la viabilité économique de l'installation. Si elle est correctement appliquée, l'organisation du travail conduira à une réduction des expositions professionnelles de type ALARA. De ce fait, les objectifs de réduction des coûts, des risques de sécurité classiques et de la durée des interventions peuvent être réalisés simultanément. En résumé, l'application efficace des principes d'organisation du travail devrait faire gagner du temps et réduire les doses et les coûts. Les facteurs importants à cet égard sont les mesures, méthodes et techniques qui influent sur :

- la dose et le débit de dose, y compris la réduction du terme source ;
- l'exposition, y compris le temps passé dans les zones contrôlées pour les travaux d'intervention, de maintenance, d'inspection et de réparation ;
- l'efficacité de la planification des travaux, y compris la planification à court et à long terme, l'implication des travailleurs, la coordination des activités, la formation et l'information.

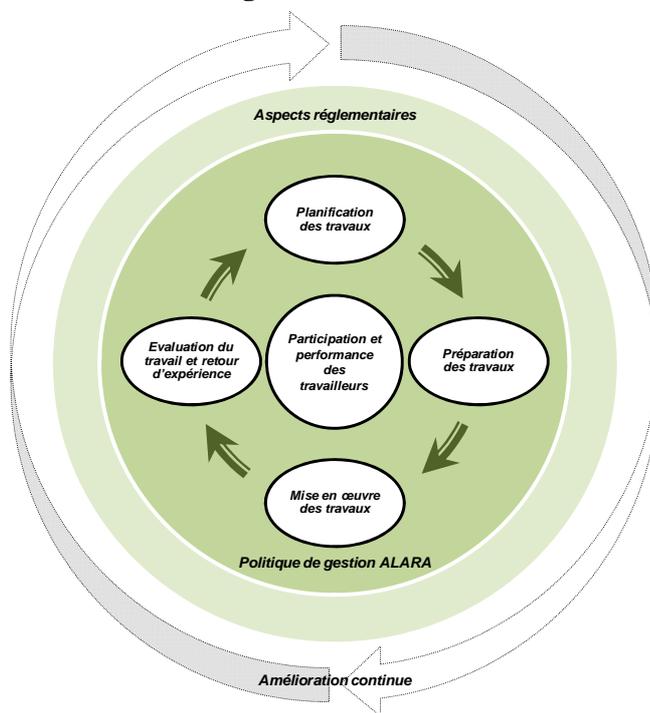
Du fait de leur nature étendue et transversale, l'influence de l'organisation et de la motivation sur l'efficacité des approches d'organisation du travail est aussi importante. La responsabilité des aspects mentionnés précédemment peut incomber à différentes parties de la structure organisationnelle d'une installation nucléaire. La nature pluridisciplinaire de l'organisation du travail doit donc être reconnue, prise en compte et bien intégrée quels que soient les travaux.

Ce rapport fournit des conseils pratiques, basés sur l'expérience opérationnelle au sein du programme ISOE dans les domaines clés de l'organisation du travail, pour optimiser la radioprotection professionnelle, notamment :

- les aspects réglementaires ;
- la politique de gestion ALARA ;
- la participation et la performance des travailleurs ;
- la planification et la programmation des travaux ;
- la préparation des travaux ;
- la mise en œuvre des travaux ; et
- l'évaluation du travail et le retour d'expérience.

Les aspects spécifiques de l'organisation du travail applicables à chacun de ces domaines sont illustrés par des exemples et des études de cas issus de l'expérience d'ISOE. Les sujets et exemples pratiques présentés sont destinés à fournir à toutes les personnes concernées par l'organisation du travail une expérience pertinente sur les bonnes pratiques de mise en œuvre des initiatives d'organisation du travail visant à optimiser la radioprotection professionnelle dans l'industrie électronucléaire.

Figure 2. Les éléments de l'organisation du travail et leur nature itérative

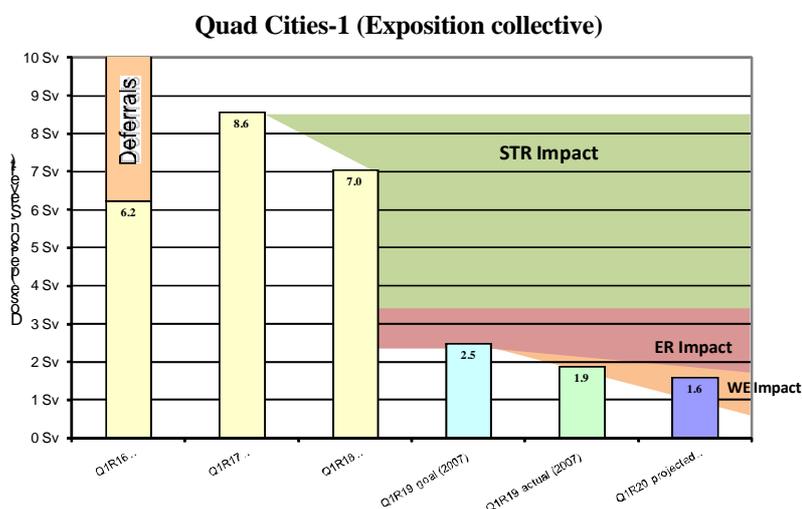


L'organisation du travail est une approche globale et itérative. La philosophie de l'organisation du travail est une boucle fermée comprenant la planification et la programmation, la préparation, la mise en œuvre, l'évaluation et le suivi avec comme objectif l'optimisation progressive et continue du travail global (figure 2). Le retour d'expérience est une composante importante et doit être obtenue localement

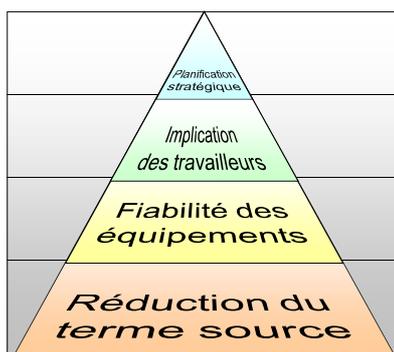
et à l'échelle mondiale. L'évaluation et le retour d'expérience constituent l'étape finale du travail et, en même temps, la première étape du processus. Toutefois, l'organisation du travail est également de nature prospective. De ce fait, vu l'évolution constante de nombreux paramètres inclus dans les rubriques précédentes tels que les avancées technologiques permanentes et la prise en compte des leçons passées et actuelles pour guider non seulement les travaux futurs mais aussi les opérations et conceptions futures, ce rapport se termine par un chapitre traitant de l'amélioration continue.

**États-Unis : exemple d'organisation du travail (Organisational ALARA) dans la centrale de Quad Cities**

La centrale de Quad Cities-1 a réussi à réduire l'exposition collective aux rayonnements grâce à une approche intégrée se concentrant sur toutes les composantes de l'organisation du travail (ou Organisational ALARA). Des efforts concertés concernant la réduction du terme source (STR), la fiabilité des équipements (ER), l'implication des travailleurs (WE) et la planification stratégique ont réduit l'exposition collective aux rayonnements à 1,9 H.Sv lors de l'arrêt pour rechargement de 2007, contre 8,6 H.Sv pour le rechargement de 2002 (alors causés par des problèmes de chimie affectant les débits de doses des tuyauteries primaire et secondaire et des problèmes d'équipement associés à l'augmentation de puissance des tranches). Cette approche a aussi permis de réduire de 70 % l'exposition collective en fonctionnement.



Les résultats positifs par domaine sont les suivants :



**Réduction du terme source :** décontaminations chimiques de la tuyauterie de recirculation et des sècheurs séparateurs, remplacement des aubes de turbines contenant des protections anti-érosion à base de Stellite, utilisation d'une charte de réduction des expositions sur le site avec la signature du vice-président du site (approbation/responsabilité), intégration des paramètres chimiques dans le vocabulaire de la gestion du site et dans les discussions quotidiennes, attention portée sur la chimie de l'eau et sur le dépassement des directives industrielles minimales et réalisation des meilleures performances disponibles pour les mesures comme le rapport cobalt/zinc.

*Fiabilité des équipements* : reprise de l'augmentation de puissance pour traiter les vibrations de la centrale via des diagnostics efficaces et traitement des causes sous-jacentes, mise en œuvre de la modification des piquages côté acoustique sur les lignes vapeur pour résoudre un problème de vibrations vieux de plus de 30 ans, réduisant ainsi considérablement les défaillances des équipements (les vibrations à pleine puissance ont été réduites de plus de 50 %), remplacement des sècheurs vapeurs à capacité accrue en ligne avec l'augmentation de puissance, développement de principes et d'une philosophie de performance humaine technique régissant les activités d'ingénierie incluant les problèmes d'exposition, incorporation de la dose comme indicateur obligatoire dans les discussions du comité d'hygiène sur l'établissement des priorités pour les modifications, intégration de la dose dans la liste des priorités pour la fiabilité des équipements.

*Implication des travailleurs* : allocation de responsabilités sur les doses individuelles, incluant des objectifs de dose individuelle quotidienne, mise en place d'une feuille de route des permis de travail sous rayonnement, obligation de détermination et de comptabilisation des doses individuellement par entrée, agents de maîtrise responsables des performances de l'équipe et du retour d'informations, managers responsables d'excédents de 10 microSv (1 mrem) lors des réunions de direction « Plan of the Day ».

*Planification stratégique* : dose du parc désormais contrôlée pour chiffrer les performances, comité ALARA mis en place, avec la responsabilité de la dose pour le site assumée par le vice-président directeur d'exploitation qui rend compte à la direction de la centrale, planification à long terme incluant l'impact de la dose sur les futurs travaux (sur 5 ans) dans le cadre du processus décisionnel.

## 2. ASPECTS RÉGLEMENTAIRES

*Les principaux fondamentaux de la radioprotection (justification, optimisation de la radioprotection et limitation des doses individuelles) sont établis au niveau international. Les réglementations nationales sont élaborées pour fournir un cadre pour la radioprotection en accord avec ces principes. À l'intérieur de ce cadre de travail, les installations doivent développer et définir leurs propres procédures et établir des objectifs pour gérer les expositions individuelles et collectives au cas par cas.*

### 2.1 Introduction

Bien qu'il incombe au détenteur de licence, en premier lieu, de s'assurer qu'une opération particulière est sûre du point de vue de la sûreté nucléaire et de la radioprotection, cela doit se faire dans le cadre réglementaire applicable. Les cadres réglementaires ont pour but de garantir le maintien et l'amélioration de la sûreté dans les installations nucléaires civiles via des réglementations concernant la sûreté nucléaire et d'assurer la protection des travailleurs, des membres du public et de l'environnement via des réglementations relatives à la radioprotection. Ces réglementations prévoient une infrastructure permettant d'obtenir une radioprotection efficace qui inclut une « culture de la sûreté » partagée par tous ceux qui assument des responsabilités dans ce domaine, des travailleurs jusqu'à la direction. Le régime d'octroi de licence fournit donc un des moyens de contrôle à la disposition des autorités de réglementation. Ces régimes peuvent varier en termes de niveau de prescription et peuvent donc avoir un effet sur les options à la disposition des installations dans le cadre de leur approche de l'organisation du travail. Ce chapitre traite brièvement des normes et des directives de sûreté et de radioprotection internationales et des moyens utilisés pour les mettre en œuvre dans les cadres réglementaires de chaque pays.

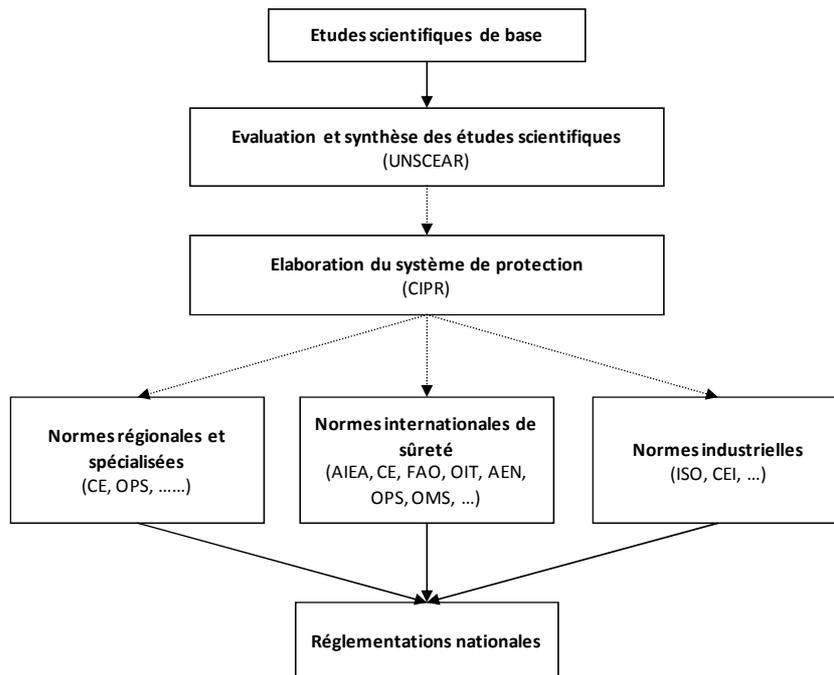
### 2.2 Normes et directives internationales

Plusieurs organismes internationaux contribuent de manière significative à l'établissement du cadre scientifique et légal dans le domaine de la radioprotection et ont donc un impact important sur les normes de sûreté adoptées au niveau national pour l'organisation du travail dans les installations nucléaires. Bien qu'aucun processus ne soit officiellement défini, ces organisations incluent le Comité scientifique des Nations Unies sur les effets des rayonnements ionisants (UNSCEAR), la Commission internationale de protection radiologique (CIPR), l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA), la Commission européenne (via le traité EURATOM) et l'Agence pour l'énergie nucléaire (AEN) de l'OCDE. En outre, d'autres organismes et programmes inter-gouvernementaux et non-gouvernementaux ont également fourni des remarques et des indications en ce qui concerne l'élaboration de nouvelles normes. Les rôles de ces organismes dans l'établissement du cadre de radioprotection sont traités ci-dessous (figure 3).

#### *Comité scientifique des Nations Unies sur les effets des rayonnements ionisants (UNSCEAR)*

L'UNSCEAR a été fondé en 1955 par les Nations Unies pour collecter et évaluer les informations sur les niveaux et les effets des rayonnements ionisants utilisés à des fins pacifiques et militaires et provenant de sources naturelles ou artificielles. Les gouvernements et organisations du monde entier se basent sur les estimations de l'UNSCEAR pour évaluer le risque associé aux rayonnements et établir des mesures de protection.

Figure 3. **Élaboration des normes et réglementation en matière de radioprotection**<sup>2</sup>



### ***Comité scientifique des Nations Unies sur les effets des rayonnements ionisants (UNSCEAR)***

L'UNSCEAR a été fondé en 1955 par les Nations Unies pour collecter et évaluer les informations sur les niveaux et les effets des rayonnements ionisants utilisés à des fins pacifiques et militaires et provenant de sources naturelles ou artificielles. Les gouvernements et organisations du monde entier se basent sur les estimations de l'UNSCEAR pour évaluer le risque associé aux rayonnements et établir des mesures de protection.

L'UNSCEAR examine et évalue systématiquement les niveaux et les tendances des expositions professionnelles, publiques et médicales aux niveaux régional et global. Il évalue également régulièrement les indications d'effets sur la santé dus aux rayonnements ionisants à partir des études sur les survivants des bombardements atomiques au Japon et d'autres groupes exposés, ainsi que les avancées relatives à la compréhension des mécanismes par lesquels peuvent se produire des effets sur la santé après exposition aux rayonnements ionisants. Ces évaluations (par exemple, UNSCEAR, 2000, 2001, 2006) ont fourni les bases scientifiques utilisées par la CIPR pour élaborer ses recommandations concernant la radioprotection et par les agences compétentes de l'ONU pour formuler des normes de radioprotection internationales.

### ***Commission internationale de protection radiologique (CIPR)***

La CIPR est un organisme scientifique non-gouvernemental fondé en 1928 par le 2<sup>ème</sup> congrès international de radiologie. Il est considéré comme le plus grand organisme mondial en ce qui concerne la radioprotection, et publie périodiquement des recommandations sur lesquelles peuvent se baser les

2. CE : Commission européenne ; FAO : Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture ; CEI : Commission électrotechnique internationale ; OIT : Organisation internationale du travail ; ISO : Organisation internationale de normalisation ; OPS : Organisation panaméricaine de la santé ; OMS : Organisation mondiale de la santé.

normes et directives dans le domaine de la radioprotection dans son ensemble. L'autorité de la CIPR émane de la réputation de ses membres indépendants issus de disciplines scientifiques diverses et de la valeur de ses recommandations.

Les recommandations de la CIPR pour limiter les effets nocifs des rayonnements ionisants sont émises sous forme de publications et de déclarations ultérieures clarifiant ou prolongeant ces recommandations. Depuis plus de 50 ans, les recommandations de la CIPR constituent la base des normes et des principes nationaux et internationaux régissant l'utilisation des rayonnements ionisants. Fin 2007, la CIPR a émis dans sa Publication 103 (CIPR, 2007) de nouvelles recommandations générales découlant d'un processus de rédaction et de consultation exhaustif. La Publication 103 remplace officiellement les précédentes recommandations générales de la CIPR émises en 1990 dans la Publication 60 (CIPR, 1991). À la date de publication de ce rapport, la plupart des normes internationales et des réglementations sont encore basées sur la Publication 60 de la CIPR.

### *Le système de radioprotection de la CIPR*

Les trois principes fondamentaux qui constituent la base des normes et réglementations de radioprotection dans le monde entier tels que définis par la CIPR dans la Publication 60 et réitérés dans la Publication 103 sont les suivants :

- justification : pour toute décision qui modifie la situation d'exposition aux rayonnements, les bénéfices apportés doivent dépasser le détriment causé par les rayonnements ;
- optimisation de la protection : la probabilité d'occurrence des expositions, le nombre de personnes exposées et le niveau de leur dose individuelle doivent être maintenus aussi bas que raisonnablement possible, compte tenu des facteurs économiques et sociaux ;
- limitation de la dose : la dose totale pour chaque individu émise par des sources réglementées dans des situations d'exposition prévues (excepté pour l'exposition médicale des patients) ne doit pas dépasser les limites appropriées.

Les principales caractéristiques des nouvelles recommandations générales qui consolident et s'ajoutent aux précédentes recommandations publiées par la CIPR depuis la Publication 60 (CIPR, 2007) sont les suivantes :

- la conservation des trois principes fondamentaux de radioprotection en clarifiant la façon dont ils s'appliquent aux sources de rayonnement à l'origine de l'exposition et aux individus subissant l'exposition ;
- la mise à jour des facteurs de pondération pour les rayonnements et pour les tissus et du détriment radiologique en se basant sur les informations scientifiques disponibles les plus récentes ;
- l'évolution de la précédente approche de radioprotection reposant sur les pratiques et les interventions vers à une approche fondée sur la situation (situations d'exposition planifiées, d'urgence et existantes) et l'application des principes fondamentaux de justification et d'optimisation de la protection à toutes les situations d'exposition maîtrisables ;
- le maintien des limites de dose individuelle établies pour la dose efficace et la dose équivalente provenant de toutes les sources réglementées dans des situations d'exposition planifiées ;
- le renforcement du principe d'optimisation de la protection qui doit être applicable de la même manière à toutes les situations d'exposition avec des restrictions sur les doses individuelles et les risques (contraintes de dose et de risque pour les situations d'exposition planifiées, niveaux de référence pour les situations d'exposition existantes et les situations d'urgence) ;

- l'introduction d'une approche pour développer un cadre pour démontrer la protection radiologique de l'environnement.

Limites de dose : outre la réaffirmation des trois principes fondamentaux de radioprotection, les nouvelles recommandations générales de la CIPR ont maintenu les limites de dose précédemment définies dans la Publication 60. Pour les situations d'exposition professionnelle planifiées, la CIPR recommande d'exprimer la limite sous forme de dose efficace de 20 mSv/an, moyennée sur des périodes définies de 5 ans (100 mSv en 5 ans), avec comme condition supplémentaire que la dose efficace ne dépasse pas 50 mSv sur une année (CIPR, 2007). Les normes fondamentales internationales de sûreté et de radioprotection de 1996 (AIEA, 1996), ainsi que les normes fondamentales de sûreté et de radioprotection d'EURATOM de 1996 (EURATOM, 1996) indiquent pour la limite de dose individuelle une valeur de 100 mSv/5 ans, avec un maximum de 50 mSv sur une année<sup>3</sup>.

Optimisation : la mise en œuvre pratique de l'optimisation consiste à parvenir à un niveau de radioprotection optimal dans les circonstances en vigueur, maximisant la marge des bénéfices sur le détriment. Pour éviter l'inéquité dans la distribution des doses individuelles résultant d'une procédure d'optimisation, la CIPR recommande des restrictions relatives aux sources pour les doses individuelles (contraintes de dose). Pour les expositions professionnelles, la contrainte de dose est une valeur de dose individuelle utilisée afin de limiter l'éventail des options disponibles dans la procédure d'optimisation de façon à ce que seules les options susceptible d'engendrer des doses inférieures à la contrainte soient prises en compte (CIPR, 2007). La contrainte de dose n'est pas une limite réglementaire ; toutefois, si elle est dépassée, les mesures de protection doivent être réexaminées et, le cas échéant, modifiées. Le principe d'optimisation de la radioprotection est développé de manière plus approfondie dans la Publication 101 de la CIPR (CIPR, 2006).

### *Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA)*

L'AIEA, créée en 1957, est un organisme intergouvernemental indépendant au sein du réseau de l'ONU. Son principal objectif est de promouvoir l'énergie atomique dans l'intérêt de la paix, de la santé et de la prospérité dans le monde entier. Dans le cadre du système international de radioprotection, l'AIEA joue un rôle particulier pour l'établissement de guides, codes et normes internationales de sûreté représentant le consensus international.

Certaines normes de l'AIEA, du fait de leur vaste domaine d'application, sont coparrainées par d'autres organisations intergouvernementales internationales pour éviter la duplication des efforts et la publication de normes contradictoires. Les normes fondamentales internationales de sûreté pour la protection contre les rayonnements ionisants et pour la sûreté des sources de rayonnement [*International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources* (BSS)] de l'AIEA 1996 ont été coparrainées par six organisations internationales<sup>4</sup>, afin de promouvoir une très vaste utilisation des BSS par les différentes organisations internationales intergouvernementales et leurs homologues nationales. Les BSS de 1996 sont basées sur les principes de radioprotection développés dans la Publication 60 de la CIPR. Bien qu'elles ne soient obligatoires dans aucun pays, la plupart des États membres de l'AIEA ont actuellement intégré les BSS internationales dans leur législation nationale ou sont en accord avec les dispositions de ce document.

Au vu des nouvelles recommandations générales de la CIPR et de l'expérience relative à la mise en œuvre des BSS de 1996, des normes de l'AIEA et des autres documents stratégiques élaborés

- 
3. Les normes fondamentales internationales de sûreté et de radioprotection de 1996, ainsi que les normes fondamentales de sûreté et de radioprotection d'EURATOM étaient en cours de révision au moment de la publication de ce rapport.
  4. FAO, AIEA, OIT, AEN/OCDE, OPS, OMS.

depuis 1996, un processus de révision et de mise à jour des BSS internationales a été lancé en 2005. Cette nouvelle version sera approuvée, selon toute vraisemblance, par toutes les organisations de co-parrainage via leurs propres mécanismes institutionnels.

En outre, l'AIEA a traité le principe d'optimisation dans deux publications principales :

- Guide de sûreté sur la radioprotection professionnelle, [Safety Guide on *Occupational Radiation Protection* – RS-G-1.1] (AIEA, 1999) où sont décrites les principales caractéristiques du principe ALARA ainsi que le rôle des contraintes de dose et les niveaux d'investigation ;
- Rapport de sûreté sur l'optimisation de la radioprotection pour la maîtrise des expositions professionnelles [Safety Report on *Optimization of radiation protection in the control of occupational exposure*, Safety Report Series No. 21 (AIEA, 2002)], qui fournit des recommandations pratiques pour l'évaluation des situations d'exposition, des moyens pour réduire les expositions et la définition et la mise en œuvre d'un programme ALARA.

### ***Communauté européenne de l'énergie atomique (EURATOM)***

Le Traité EURATOM est entré en vigueur le 1<sup>er</sup> janvier 1958 après la signature du traité de Rome en mars 1957 et comprend les mêmes États membres que la Communauté économique européenne (CEE). L'objectif d'EURATOM est de promouvoir des efforts communs entre ses membres pour le développement de l'énergie nucléaire à des fins pacifiques.

L'article 2 (b) du traité instituant la Communauté européenne de l'énergie atomique prévoit l'établissement de normes fondamentales de sûreté pour la protection sanitaire des travailleurs et du grand public contre les dangers des rayonnements ionisants. Ces normes sont spécifiées dans une directive de l'Union européenne (UE) élaborée par la Commission européenne et lie juridiquement les États membres. Les normes fondamentales de sûreté pour la protection sanitaire des travailleurs et du grand public contre les dangers du rayonnement ionisant d'EURATOM [*EURATOM Basic Safety Standards for the protection of the health of workers and the general public against the dangers arising from ionizing radiation* (CE, 1996)] citées dans la directive 96/29/EURATOM adoptées par le Conseil européen en mai 1996 sont basées sur les recommandations de la Publication 60 de la CIPR. Reflétant leur statut d'acte législatif, les États membres de l'UE votent individuellement des lois nationales mettant en application les prescriptions des directives.

Comme pour les BSS internationales de 1996, un processus de mise à jour de la directive EURATOM de 1996 a été lancé avec l'intention d'élaborer une version reflétant les nouvelles recommandations de la CIPR, les nouvelles données scientifiques et l'expérience de mise en œuvre.

### ***Agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire***

L'Agence pour l'énergie nucléaire (AEN) est une agence spécialisée au sein de l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE) ; cette organisation intergouvernementale des pays industrialisés a été créée en 1958. L'AEN a pour mission d'aider ses pays membres à maintenir et à approfondir, par l'intermédiaire de la coopération internationale, les bases scientifiques, technologiques et juridiques indispensables à une utilisation sûre, respectueuse de l'environnement et économique de l'énergie nucléaire à des fins pacifiques. L'AEN est un forum servant à partager les informations et les expériences et à promouvoir la coopération internationale, un centre d'excellence qui aide les pays membres à mettre en commun et gérer leur expertise technique et un outil pour faciliter les analyses des politiques et établir des consensus basés sur ses travaux techniques.

L'AEN est la seule organisation pour l'énergie nucléaire intergouvernementale qui rassemble les pays développés d'Amérique du Nord, d'Europe et de la région Asie-Pacifique dans un petit forum apolitique avec un centre d'intérêt technique relativement focalisé. En général, les sujets traités par l'AEN font partie de domaines spécifiques orientés vers la technologie de pointe ou les politiques à partir desquels des documents directeurs internationaux et nationaux peuvent être élaborés. L'exécution des travaux en étroite collaboration avec d'autres organisations internationales garantit la complémentarité des efforts.

Au sein de l'AEN, le comité sur la radioprotection et la santé publique [Committee on Radiation Protection and Public Health (CRPPH)] est en charge d'étudier divers problèmes de radioprotection et de prendre des mesures pour aider les autorités nationales à adopter et maintenir de hauts standards de protection pour l'utilisation des rayonnements ionisants. L'AEN a travaillé en collaboration avec la CIPR pour évaluer les versions projets des recommandations par rapport à leurs conséquences en termes de politique, de réglementation et d'applications, et co-parraine les normes fondamentales internationales de sûreté.

### ***Autres organisations contribuant à l'élaboration des normes de radioprotection***

Outres les travaux entrepris par les organisations internationales décrites précédemment, d'autres organisations gouvernementales et non-gouvernementales et des réseaux de spécialistes constituent une source d'informations contribuant à l'élaboration de nouvelles normes. Les éléments ci-dessous en sont des exemples :

- Système d'information sur les expositions professionnelles (ISOE) : fournit aux experts en radioprotection des installations et aux autorités réglementaires nationales un forum pour discuter, promouvoir et coordonner des opérations coopératives internationales pour la radioprotection des travailleurs dans les centrales nucléaires. ISOE est coparrainé par l'OCDE/AEN et l'AIEA ;
- International Radiation Protection Association (IRPA) : fournit un support grâce auquel les spécialistes en radioprotection du monde entier peuvent communiquer plus facilement et ainsi faire progresser la radioprotection dans de nombreuses parties du monde ;
- Réseau ALARA européen [European ALARA Network (EAN)] : poursuit des recherches européennes spécifiques sur des sujets concernant l'optimisation de la radioprotection et facilite la diffusion au niveau européen des bonnes pratiques ALARA au sein de l'industrie, de la recherche et dans le secteur médical ;
- Western European Nuclear Regulators Association (WENRA) : cette association est un réseau destiné aux hauts responsables de la réglementation en sûreté nucléaire pour échanger leur expérience et discuter des problèmes de sûreté importants afin de faciliter l'élaboration d'une approche commune de la sûreté nucléaire et fournir des moyens indépendants pour examiner la sûreté nucléaire dans les pays candidats à l'Union européenne.

### **2.3 Politique de réglementation nationale**

La réglementation de la sûreté nucléaire et de radioprotection est une responsabilité nationale pour laquelle les normes internationales fournissent une base harmonisée et cohérente. Selon le cadre réglementaire, les réglementations nationales peuvent avoir différents degrés d'influence sur l'application de l'organisation du travail.

Il incombe à l'exploitant nucléaire, en premier lieu, de s'assurer qu'une opération particulière est sûre en termes de sûreté nucléaire et de radioprotection : cela doit se faire dans le cadre réglementaire applicable. Un régime de réglementation efficace fournira un juste milieu entre les règlements

prescriptifs et ceux basés sur la performance, permettant ainsi à l'exploitant d'intégrer une certaine souplesse dans l'application de l'organisation du travail. Pour démontrer l'influence que les réglementations peuvent avoir sur les approches de l'organisation du travail, deux catégories de réglementations, et leur interrelation, sont étudiées : celles qui concernent la sûreté nucléaire et celles qui concernent la radioprotection.

### ***Réglementations de sûreté nucléaire***

Bien que toutes les réglementations nucléaires soient destinées à protéger les travailleurs, le public et l'environnement contre les effets nocifs des expositions aux rayonnements, la sûreté des installations nucléaires et la prévention des accidents nucléaires constituent un aspect particulier de cette protection. Les réglementations concernant les problèmes de sûreté nucléaire peuvent imposer aux détenteurs de licence des obligations susceptibles d'avoir un effet sur l'exposition des travailleurs. Ce sont, par exemple, les réglementations relatives à l'inspection et la maintenance des systèmes (y compris leur portée et leur fréquence) qui peuvent différer d'un pays à l'autre et présenter des degrés de flexibilité variables.

L'exposition des travailleurs effectuant la maintenance et l'inspection conformément aux exigences de sûreté nucléaire devrait être justifiée par les avantages d'une fiabilité accrue de la centrale. Selon l'importance d'un système particulier en termes de sûreté, un régime de maintenance conditionnelle et de maintenance corrective de la centrale peut présenter des avantages par rapport à un système plus *prescriptif* de maintenance préventive basé sur un calendrier prédéfini. Par exemple, si la fréquence annuelle des opérations d'inspection et de maintenance est élevée, l'application de l'organisation du travail peut être entravée. Par ailleurs, la flexibilité d'entreprendre des inspections combinées moins fréquemment ou de reporter des inspections jusqu'à ce que des conditions de radioprotection optimales soient obtenues, comme après une décontamination du système, peut réduire la dose et permettre la mise en place d'un calendrier d'inspection et de maintenance largement optimisé.

Pour prendre un autre exemple, alors qu'un règlement prescriptif pourrait exiger une inspection systématique des tubes d'un générateur de vapeur lors de chaque arrêt pour rechargement, un règlement axé sur les performances pourrait exiger que les futures inspections soient programmées en fonction des résultats de la dernière inspection. Ce dernier type de réglementation répond aux exigences de protection des travailleurs et du public tout en fournissant à l'installation la possibilité d'optimiser plus largement les expositions professionnelles. Les tendances récentes en matière de réglementation penchent plus du côté de réglementations axées sur les normes de performances que du côté de réglementations prescriptives ; ces tendances sont cohérentes avec les principes d'organisation du travail.

#### ***Belgique et Suède : réduction des interventions d'inspection des générateurs de vapeur***

En Belgique, après le remplacement des générateurs de vapeur de Doel 3 et Doel 4, seul un générateur de vapeur a été ouvert et contrôlé chaque année. Les autorités de sûreté belges ont accepté, après négociations avec Electrabel, que chaque générateur de vapeur ne soit inspecté qu'une fois tous les six ans. La centrale de Doel a opté pour l'ouverture de deux générateurs de vapeur à chaque troisième arrêt, ce qui permet deux arrêts de tranche consécutifs sans ouverture d'un générateur de vapeur. Cette inspection couvre la totalité d'un échantillonnage aléatoire de 40 % des tubes ; 10 % des tubes sont également contrôlés dans la zone de transition de dudgeonnage.

En Suède, dans la centrale de Ringhals (3 REP et 1 REB), l'autorité de sûreté (SKI) a convenu qu'étant donné que le REP avait bénéficié d'un remplacement des générateurs de vapeur, les nouveaux générateurs de vapeur pouvaient être inspectés tous les deux ans. Tous les tubes doivent être inspectés sur une période de 5 ans et 50 % des tubes sont inspectés tous les deux ans.

### ***États-Unis : processus de surveillance du réacteur et inspection basée sur les risques***

La Commission de réglementation nucléaire américaine [US Nuclear Regulatory Commission (NRC)] a lancé un programme d'amélioration de l'efficacité de son processus de réglementation. Un aspect clé de ce programme est le changement apporté à la façon dont la NRC mène son processus d'inspection pour les réacteurs électronucléaires. La base de cette approche est de procéder à des inspections des détenteurs de licence de réacteur électronucléaire en ayant connaissance des risques. Le concept fondamental est que, via la réalisation des objectifs et des attributs clés du processus, le titulaire de licence offre une garantie raisonnable de la préservation de la sûreté et de la santé publique. Sept pierres angulaires de la sûreté ont été définies, dont la radioprotection professionnelle.

Exemple : les procédures NRC d'inspection de la radioprotection amènent l'inspecteur à se concentrer sur les contrôles établis par le titulaire de licence pour les travaux effectués dans les zones de la centrale présentant le plus grand risque radiologique. Elles incluent les zones verrouillées à fort et très fort rayonnement et les zones où les débits de doses peuvent changer énormément (autour des réservoirs de vidange des déchets nucléaires, par exemple).

### ***Japon : réduction de la fréquence des arrêts***

Au Japon, avant 2007, les centrales appliquaient une période d'exploitation de 13 mois. Un nouveau système d'inspection, annoncé en 2007, permet désormais d'effectuer les activités de maintenance en fonction du programme de maintenance de chaque centrale. Dans ce système, les inspections uniformes ont été remplacées par des inspections orientées menées en fonction des caractéristiques de chaque centrale, autorisant ainsi des périodes d'exploitation allant de 18 à 24 mois.

## ***Réglementations relatives à la radioprotection***

Outre les réglementations de sûreté nucléaire, d'autres directives et réglementations nationales concernent directement les problèmes de radioprotection. Elles peuvent inclure les limites de dose pour les travailleurs et le public ainsi que les restrictions opérationnelles établies par l'autorité à utiliser pour la surveillance des activités dans les installations existantes (comme les niveaux d'intervention et d'investigation, etc.). Les objectifs de ces réglementations et de ces directives sont de garantir que la protection est optimisée et que lorsqu'on est proche des limites réglementaires statutaires des mesures sont prises pour empêcher qu'elles soient dépassées.

Les réglementations concernant le principe d'optimisation de la protection pour les travailleurs et le public peuvent avoir une influence supplémentaire sur l'organisation du travail en termes de contrôle des expositions professionnelles. Lors de la mise en œuvre de ce principe, il y a souvent un juste milieu entre les mesures visant à réduire davantage les doses d'exposition du public généralement très faibles résultant de l'exploitation quotidienne et celles qui peuvent potentiellement permettre des réductions importantes des expositions professionnelles. Par exemple, l'utilisation de certaines techniques de réduction des effluents peut conduire à des doses professionnelles résultant de leur installation, exploitation, maintenance et déclassement qui peuvent être disproportionnées par rapport aux avantages en termes de réduction de la dose du public. Il est donc important que les expositions résultantes soient bien gérées et que les options soient acceptées par tous les parties prenantes pertinentes. C'est un processus qualitatif et quantitatif qui doit être adapté à chaque situation afin que les expositions du public et les expositions professionnelles puissent être considérées comme aussi faibles que raisonnablement possible (ALARA).

### ***Limites de dose***

Les limites de dose réglementaires pour les travailleurs exposés professionnellement dans la plupart des pays respectent les recommandations de la CIPR (1991, 2007), les BSS internationales de 1996 ou la Directive EURATOM de 1996, même si la façon dont elles sont mises en œuvre peut varier.

Tableau 1. **Limites de dose professionnelle réglementaires (corps entier) dans les pays participant à ISOE<sup>5</sup>**

<b>Limites de dose professionnelle (corps entier)</b>	<b>Pays</b>
20 mSv en une seule année	Allemagne, Italie, Pays-Bas, Pakistan <sup>6</sup> , Roumanie, Royaume-Uni, Slovénie
20 mSv/an pour une période continue de 12 mois	Belgique, France
100 mSv/5 ans et 50 mSv en une seule année	Afrique du Sud, Arménie, Brésil, Bulgarie, Canada, Chine, Corée, Espagne, Fédération de Russie, Finlande, Hongrie, Japon, Lituanie, République tchèque, Slovaquie, Suède, Suisse
50 mSv/an	États-Unis, Mexique

En ce qui concerne la gestion des doses des travailleurs extérieurs ou migrants qui peuvent être employés par différentes installations et/ou travailler dans plusieurs pays, les employeurs et les titulaire de licence doivent être au fait de l'historique des doses reçues par ces travailleurs dans la mesure où ces informations sont disponibles. Une fois les travaux terminés, les personnes chargées d'enregistrer les informations sur les doses des travailleurs dans leur dossier individuel doivent s'assurer que cela est fait.

***Japon : passeports de dose***

Lorsqu'une centrale doit employer temporairement du personnel US (par exemple des soudeurs qualifiés pour le soudage sous eau), elle contrôle l'exposition de ces travailleurs selon le système japonais de contrôle des doses en tenant compte de leur exposition précédente. Si les travailleurs ont leur propre passeport de dose, l'installation japonaise accepte et complète ce passeport.

***Europe : expérience et suivi des travailleurs extérieurs***

La plupart des États de l'UE ont des documents d'enregistrement des doses pour les travailleurs extérieurs. Certains ont également des systèmes nationaux d'enregistrement des doses qui peuvent être spécifiques pour les travailleurs extérieurs ou applicables à tous les travailleurs sous rayonnements comme en France et en Espagne. En Espagne, le document personnel officiel comporte non seulement les informations sur les doses personnelles mais aussi d'autres informations comme l'historique des formations, la surveillance médicale, etc.

Un séminaire européen en 2006 sur les travailleurs extérieurs a conclu que la plupart des pays souhaitent un document d'enregistrement des doses personnelles pour les travailleurs extérieurs plus normalisé (EAN, 2006). Cela n'implique pas, cependant, la nécessité d'avoir un document strictement identique en termes de contenu dans chaque État membre. En ce qui concerne le contenu normalisé, un certain degré de flexibilité a été jugé souhaitable ; la Commission européenne définissant le niveau d'information minimal exigé. La question de la langue a été considérée comme un point essentiel : ce document devrait être au moins rédigé en anglais et dans la langue nationale de l'État où il a été délivré.

***Réglementation et directives ALARA***

Les autorités réglementaires nationales peuvent incorporer des directives ou réglementations concernant la mise en œuvre du principe ALARA. Ces réglementations ou directives peuvent se concentrer sur les procédures ou processus pouvant être adoptés par les titulaires de licences pour mettre en œuvre des programmes ALARA systématiques et efficaces. En outre, les autorités de réglementation peuvent également jouer un rôle important dans l'examen des programmes ALARA des titulaires de licences. Dans certains cas, les autorités réglementaires peuvent définir un seuil de dose collective au-dessus duquel les procédures de préparation ALARA formelles ou officielles doivent être approuvées par les autorités. De plus, un organisme réglementaire peut exiger la participation d'experts extérieurs pour donner leur avis et des conseils en cas de travaux donnant lieu à des niveaux d'exposition élevés.

5. Au moment de la publication de ce rapport.

6. Dans certaines circonstances très spécifiques, une limite de dose efficace de 50 mSv/an peut être autorisée par l'autorité de réglementation. La dose totale sur 5 ans ne doit pas dépasser 100 mSv.

### ***Canada et États-Unis : bases d'ALARA***

Au Canada, les réglementations de radioprotection [Radiation Protection Regulations (RPR 4(a))] comportent une exigence ALARA pour tous les titulaires de licences qui consiste à établir un programme de radioprotection pour maintenir les expositions aussi faibles que raisonnablement possible via la mise en place d'un certain nombre de programmes de contrôle, dont :

- Un contrôle par la direction des pratiques de travail ;
- Un contrôle de la qualification et de la formation du personnel ;
- Un contrôle de l'exposition aux rayonnements des travailleurs et du public ;
- Un contrôle des procédures de préparation pour les situations inhabituelles ;
- Une vérification de la quantité et de la concentration de toute substance nucléaire rejetée suite aux activités soumises à autorisation.

L'organisme de réglementation (CCSN) a publié à destination des titulaires de licence un guide ALARA (G-129, révision 1, octobre 2004) sur le type de mesures visant à contrôler et à minimiser efficacement les doses. Ce guide souligne l'importance d'un engagement explicite des cadres supérieurs pour réduire les doses à des niveaux ALARA, le besoin de programmes appropriés pour atteindre cet objectif et l'importance d'un examen périodique des doses liées au travail pour s'assurer qu'elles continuent à être contrôlées de manière adéquate. Le CCSN, entre autres choses, examine le processus adopté par les titulaires de licence pour maintenir les doses ALARA en application du paragraphe 4(a) des réglementations de radioprotection (RPR).

Aux États-Unis, la réglementation NRC 10 CFR 20.1101, Radiation Protection Programmes, indique les exigences réglementaires pour ALARA :

- Chaque titulaire de licence doit élaborer, documenter et mettre en œuvre un programme de radioprotection correspondant à la portée et à l'étendue des activités soumises à licence et suffisant pour garantir le respect des dispositions de cette partie ;
- Le titulaire de licence doit utiliser, dans la mesure du possible, les procédures et les contrôles techniques basés sur des principes solides de radioprotection pour obtenir des doses pour les travailleurs et des doses pour les membres du public aussi faibles que raisonnablement possible (ALARA) ;
- Le titulaire de licence doit périodiquement (au moins une fois par an) réexaminer le contenu du programme de radioprotection et sa mise en œuvre.

### ***Allemagne, Corée, France et Slovénie : réglementation ALARA***

En Allemagne, la réglementation spécifie que toute personne prévoyant de prendre part ou prenant part à des activités générant des rayonnements est obligée de maintenir tous les types d'exposition ou de contamination des personnes ou de l'environnement à la valeur la plus faible possible compte tenu de l'état actuel de la technique et des conditions de chaque cas individuel, même si les valeurs sont inférieures aux limites. La réglementation ne contient aucun critère obligatoire basé sur des aspects financiers pour la mise en œuvre de l'optimisation globale. Cela laisse le champ libre à l'interprétation en ce qui concerne la minimisation et l'optimisation. La pratique officielle vise quand même à obtenir une « minimisation », toutefois, le VGB a recommandé d'effectuer une analyse coûts-bénéfices pour le choix des options de radioprotection.

En Corée, l'exploitant KHNP s'est toujours efforcé de réduire les expositions professionnelles à des niveaux ALARA et a fait des avancées remarquables ces deux dernières décennies. Ces réductions ont été réalisées grâce à divers moyens même si le facteur principal a été le respect des exigences réglementaires. Les exigences ALARA ont été incorporées dans la réglementation coréenne comme suit :

- 1958 : institution de la loi Atomic Act ;
- 1983 : révision générale basée sur ICRP-9 (MPD, MPAD, MPC) ;
- 1994 : incorporation du principe ALARA ;
- 1998 : passage à une limite de dose de 100 mSv/5 ans et de 50 mSv/an maximum (200 mSv/5 ans jusqu'en 2002) ;
- 1999 : obligation de mettre en œuvre des programmes ALARA ;
- 2001 : application des concepts ALI, DAC.

**Allemagne, Corée, France et Slovénie : réglementation ALARA (Suite)**

En France, le Décret n° 2003-296 du 31 mars 2003 relatif à la protection des travailleurs contre les dangers des rayonnements ionisants spécifie que, pour appliquer le principe d'optimisation, pour chaque opération ayant lieu dans une zone contrôlée, une estimation prévisionnelle des doses professionnelles collectives et individuelles doit être faite et que les expositions professionnelles individuelles et collectives aux rayonnements ionisants doivent être maintenues en deçà des limites prescrites au niveau le plus faible qu'il est raisonnablement possible d'atteindre compte tenu des techniques disponibles et de la nature de l'opération à effectuer.

En Slovénie, les réglementations de sûreté nucléaire ont introduit le plan d'optimisation dans le cadre des exigences d'évaluation de l'exposition aux rayonnements (journal officiel No. 115/2003 – SV5) associées aux règles d'autorisation des pratiques de radioprotection (journal officiel No. 13/2004 – SV8, et No. 27/2006 – JV2/SV2).

**Espagne et Japon : examen réglementaire**

En Espagne, dans les années 90, l'organisme de réglementation (CSN) a publié un guide sur l'optimisation de la radioprotection dans les centrales nucléaires (*GSG-01.12 « Aplicación práctica de la optimización de la protección radiológica en la explotación de las centrales nucleares » – Application pratique de l'optimisation de la radioprotection pour l'exploitation des centrales nucléaires*). Il inclut les critères généraux du programme ALARA comme l'établissement des responsabilités, la nécessité d'une documentation officielle et les lignes directrices des programmes ALARA (indicateurs, objectifs, formation, gestion, etc.). Ces critères sont intégrés dans différents documents officiels à différents niveaux de l'organisation et sont révisés et évalués périodiquement.

Au Japon, l'autorité examine et approuve les programmes de sûreté opérationnelle que les titulaires de licence doivent soumettre et qui servent de base pour le maintien des expositions professionnelles à un niveau ALARA.

## **2.4 Procédures internes de l'industrie : restrictions opérationnelles**

Dans le cadre des procédures internes d'une installation, des restrictions opérationnelles peuvent être établies pour encourager la réduction des doses individuelles des travailleurs ou faciliter l'identification de ceux qui pourraient atteindre les limites de dose réglementaires. Ces restrictions peuvent également inclure des contraintes de dose, des doses cibles ou des objectifs de dose. Il faut noter que, selon les cadres nationaux, différentes terminologies sont utilisées par les exploitants pour ces restrictions opérationnelles. Les termes « contraintes de dose » ou « doses cibles » sont habituellement utilisés pour spécifier une dose individuelle annuelle maximale inférieure à la limite de dose. Les niveaux de dose individuelle donnant lieu à une action spécifique (contrôle, restriction d'accès, etc.) sont appelés « niveaux d'investigation » ou « niveaux d'alerte ». Enfin, dans certains cas, des niveaux maximum liés aux travaux en termes d'exposition individuelle ou collective peuvent également être définis. Ces niveaux sont appelés « objectifs de dose » ou également « contraintes de dose ». Ils sont fixés lors de la phase de préparation des travaux pour estimer ce que serait la dose maximale pour ces travaux et pour effectuer une optimisation de la protection inférieure à ce niveau. Ils peuvent également être utilisés une fois les travaux terminés pour comparer les doses réelles aux objectifs.

Même si les noms diffèrent, ces valeurs sont utilisées par les exploitants pour la gestion quotidienne des doses. Elles peuvent également être utilisées lors de la prise en compte de critères de radioprotection pour la conception d'un nouveau procédé ou d'une nouvelle installation. Du point de vue de l'organisation du travail, ces restrictions fournissent aux exploitants des outils permettant de faciliter la gestion des doses dans le cadre des limites réglementaires.

**Allemagne : travaux à effectuer en dehors de la période d'arrêt (centrale de Philippsburg)**

Si la défaillance d'un système doit être corrigée avant un arrêt, pour des raisons de sûreté de la centrale ou d'obligations techniques, l'équipe planifiant les activités de radioprotection demande de réduire la puissance de la centrale et estime la dose individuelle prévue en se basant sur le débit de dose de la zone. La règle principale est que, dans ce cas, la dose individuelle ne doit pas dépasser 1 mSv.

### ***Canada : réglementations de radioprotection et établissement de niveaux d'action***

Au Canada, le règlement général sur la sûreté et la réglementation nucléaires exige d'inclure dans une demande d'autorisation « une proposition de niveaux d'action aux fins de la section 6 du règlement de radioprotection » (RPR). RPR 6(1) définit un « niveau d'action » comme étant une dose de rayonnements spécifique ou autre paramètre qui, lorsqu'elle est atteinte, peut indiquer une perte de contrôle d'une partie d'un programme de radioprotection d'un titulaire de licence et déclenche l'obligation de prendre des mesures spécifiques. RPR 6(2) stipule que « lorsqu'un titulaire de licence s'aperçoit qu'un niveau d'action cité dans la licence a été atteint, il doit : mener une enquête pour établir pourquoi le niveau d'action a été atteint ; identifier les mesures à adopter et les appliquer pour restaurer l'efficacité du programme de radioprotection mis en œuvre conformément à la section 4 ; et notifier la Commission dans le délai spécifié dans la licence. »

Les niveaux d'action sont un outil important pour alerter le titulaire de licence et le CCSN de toute perte de contrôle potentielle.

En outre, certains exploitants canadiens établissent des niveaux de contrôle d'exposition [*Exposure Control Levels (ECL)*] et des limites de dose administratives [*Administrative Dose Limits (ADL)*] dans leur programme de radioprotection pour garantir qu'un niveau approprié de contrôle est appliqué lorsqu'un travailleur approche les limites de dose et que le risque de dépassement des limites réglementaires est minimisé.

Un niveau d'action (qui fait partie de la licence) doit être notifié au CCSN. Les niveaux de contrôle administratifs, les niveaux d'intervention opérationnels, etc., sont des outils internes essentiels pour la surveillance et la maîtrise des doses et, souvent, ils n'ont pas besoin d'être notifiés individuellement au CCSN. Les deux sont des indicateurs d'alerte précoces de problèmes potentiels de radioprotection et ils nécessitent des actions de suivi.

### ***France : restrictions opérationnelles des doses***

Pour respecter les limites de dose annuelle, l'exploitant français EDF a mis en œuvre des niveaux d'alerte en dose individuelle pour les travailleurs exposés régulièrement : i) un niveau de pré-alerte de 16 mSv/an sur une période continue de 12 mois et ii) un niveau d'alerte de 18 mSv/an. Si un travailleur atteint le niveau de pré-alerte, une surveillance spéciale est effectuée et son environnement de travail est adapté, éventuellement en coopération avec les services médicaux. Cependant, le travailleur est encore autorisé à pénétrer dans la zone contrôlée. Si le niveau d'alerte est atteint, le travailleur doit arrêter ses activités dans la zone contrôlée jusqu'à ce que les mesures suivantes soient prises : l'employeur, les spécialistes en radioprotection et les services médicaux sont informés ; une analyse des risques spéciale est effectuée pour estimer les doses futures du travailleur ; l'employeur délivre une autorisation spécifique pour continuer le travail.

### ***Japon : doses cibles***

Dans la réglementation japonaise, les limites de dose professionnelle sont fixées à 100 mSv/5 ans et 50 mSv/an. Ces valeurs ne sont pas dépassées dans les centrales nucléaires du pays. Toutefois, les exploitants font un effort pour réduire les expositions professionnelles en fixant un objectif inférieur pour les doses individuelles, par exemple 20 mSv/an. Au Japon, 66 000 personnes travaillent dans des centrales nucléaires parmi lesquelles seules 0 à 3 personnes ont dépassé 20 mSv en un an entre 2002 et 2007.

### ***Roumanie : points de contrôle de dose pour l'optimisation des expositions internes (centrale de Cernavoda)***

Le point de contrôle de dose (DCP) est une limite administrative interne pour le contrôle et la limitation de l'exposition aux rayonnements ionisants des travailleurs. Il représente la moitié de la dose efficace disponible à tout moment jusqu'à ce que la limite administrative de 18 mSv/an soit atteinte. Au début de l'année dosimétrique, le DCP est fixé à 9 mSv et décroît au fur et à mesure que la dose reçue augmente. Le DCP ne peut pas être dépassé en une seule exposition (tâche/travail unique pour une seule entrée dans le champ de rayonnements) sans l'approbation du spécialiste en radioprotection de la centrale.

Pour les réacteurs CANDU, le principal contributeur à la dose interne est l'eau lourde tritiée (DTO). Outre la limite de dose efficace totale administrative de 18 mSv/an, d'autres contrôles administratifs sont mis en œuvre pour optimiser la protection pour les doses internes dues à l'incorporation de DTO.

- limite d'évacuation de 1 mSv de dose engagée : lorsque la concentration en DTO dans l'urine dépasse 1,2 MBq/L, la soumission quotidienne d'un prélèvement est exigée et le sujet n'est pas autorisé à pénétrer dans une zone radiologique avec une contamination atmosphérique en tritium jusqu'à ce que la concentration diminue ;

***Roumanie : points de contrôle de dose pour l'optimisation des expositions internes (Suite)***

- niveau d'investigation de 0,3 mSv pour le suivi de l'exposition interne au tritium : les enquêtes sont effectuées par les coordinateurs ALARA des départements ;
- seuil de 0,03 mSv de dose engagée prévue pour l'utilisation d'appareils de protection respiratoire même si le débit de dose tritium ne dépasse pas le niveau de protection respiratoire obligatoire de 0,05 mSv/h ;
- objectifs mensuels de dose collective pour la centrale et les métiers ;
- indicateurs de performance pour améliorer les performances de la centrale et des métiers.

***Slovénie : contrainte de dose et limite de dose opérationnelle (centrale de Krško)***

Dans la centrale de Krško, la limite opérationnelle pour la dose individuelle corps entier pour l'exposition externe est de 10 mSv par an. L'approbation du directeur de la radioprotection et du directeur technique est exigée pour dépasser cette limite. La limite opérationnelle a été légèrement dépassée uniquement par quelques individus exposés lors de travaux de soudage ou de traitement des déchets radioactifs.

Conformément à la réglementation slovène, la centrale a proposé à l'autorité des contraintes de dose externe et interne (ces valeurs sont utilisées en tant que contrainte de dose autorisée) :

- la contrainte de dose pour l'exposition externe est de 15 mSv par an pour les travailleurs de catégorie A et de 6 mSv pour les travailleurs de catégorie B ;
- la contrainte de dose pour l'exposition interne est de 0,2 mSv par an.

Si ces contraintes de dose sont dépassées, l'autorité slovène de radioprotection doit être informée et la centrale doit prendre des mesures correctives.

## **2.5 Résumé**

Les principes et normes de radioprotection sont élaborés au niveau international et fournissent une base solide pour l'élaboration des réglementations nationales. Ces réglementations concernent habituellement i) la sûreté et ii) la radioprotection. Dans le domaine de la sûreté, un effort est fait pour développer et mettre en œuvre une maintenance de la centrale basée sur la performance plutôt qu'une maintenance prédéfinie prescriptive. Cela permet généralement de réduire le volume de maintenance et donc les expositions professionnelles. Dans le domaine de la radioprotection, des règlements spécifiques peuvent être incorporés pour encourager l'optimisation de la radioprotection. Outre le cadre réglementaire, les exploitants peuvent élaborer leurs propres règlements internes de radioprotection intégrant des restrictions opérationnelles pour la gestion des doses individuelles et collectives.



### 3. POLITIQUE ALARA

*ALARA – as low as reasonably achievable (aussi faible que raisonnablement possible) – est habituellement considéré comme une manière de penser, une philosophie, une remise en question permanente pour savoir si toutes les mesures raisonnables ont été prises pour réduire les expositions. Pour encourager la mise en œuvre pratique de cette philosophie, il est nécessaire de créer des organisations spécifiques, assigner des responsabilités individuelles et collectives pour ALARA et établir des règles communes à appliquer.*

#### 3.1 Introduction

L'approche ALARA consiste à se demander en permanence si le meilleur a été fait dans les circonstances en cours et si tout ce qui est raisonnablement possible a été entrepris pour réduire les doses (CIPR, 2007). Comme pour la mise en œuvre de toute initiative, la réussite dépend de la motivation et du soutien émanant des plus hauts niveaux de l'organisation. La direction de la centrale doit mettre en place une structure de gestion ou une organisation pour garantir que la radioprotection est prise en compte de manière adéquate pour tous les travaux effectués. En particulier, la direction de la centrale doit être prête à soutenir, politiquement et financièrement, une approche favorisant les équipes pluridisciplinaires pour prévoir, préparer, mettre en œuvre et suivre les travaux. Bien que ces structures varient d'un pays à l'autre et d'un exploitant à l'autre, une grande partie des points clés de ces organisations sont communs comme indiqué dans ce chapitre.

#### 3.2 Programmes ALARA des centrales nucléaires

Outre l'obligation pour chaque exploitant de respecter « l'esprit ALARA », un programme ALARA structuré doit être élaboré et mis en œuvre dans toutes les centrales nucléaires. Ces programmes expriment l'engagement de la direction à mettre en œuvre de manière appropriée des mesures de radioprotection, à définir les objectifs et à décrire les structures, procédures et outils nécessaires à leur mise en œuvre. Cela inclut généralement :

- la fixation des objectifs, par exemple, l'obligation d'établir des objectifs de dose collective pour l'année, pour les arrêts de tranche et les travaux spécifiques ;
- la définition des ressources disponibles pour réaliser les objectifs du programme ;
- l'attribution des rôles et responsabilités ;
- la description du rôle et du fonctionnement du « Comité ALARA » ;
- la spécification des structures de radioprotection (coordination des arrêts de tranche, groupes de travail spécifiques pour la radioprotection, etc.) ;
- l'élaboration d'une politique d'enseignement/formation ;
- les méthodes de travail et les exigences pour la préparation des travaux, la mise en œuvre et l'analyse après les travaux ;
- les moyens pour mesurer la réussite des efforts ALARA, par exemple, un système de surveillance qui fournit régulièrement des informations tout au long de la chaîne hiérarchique sur l'état d'avancement des objectifs du programme ;
- les mesures nécessaires pour exécuter des actions correctives lorsque les informations fournies révèlent des défaillances ou des lacunes du programme.

### ***Fédération de Russie : programme ALARA standard pour toutes les centrales russes***

En 2000, Concern Rosenergoatom a lancé la mise en œuvre d'un programme ALARA dans toutes les centrales russes. Le programme ALARA standard pour les centrales russes a été élaboré en 2000 par l'institut de recherche russe pour l'exploitation des centrales nucléaires (VNIIAES). Les principales caractéristiques du programme sont les suivantes :

- a) Structures organisationnelles dans les centrales :
  - comité ALARA ;
  - groupes ALARA : les principales tâches et fonctions incluent l'analyse des travaux, la préparation, l'exécution et le retour d'expérience des travaux, etc.
- b) Programme d'actions standard visant à réduire les expositions professionnelles, comprenant :
  - des actions organisationnelles ;
  - des actions en vue de la réduction du terme source ;
  - des actions pour réduire les temps d'exposition.

Conformément au programme ALARA standard, chaque centrale a élaboré un programme ALARA local. Par exemple, le programme local de la centrale de Kalinin comporte les caractéristiques supplémentaires suivantes :

- objectifs de dose concernant le programme ALARA ;
- structure organisationnelle ALARA ;
- partage des responsabilités en ce qui concerne la mise en œuvre du programme ALARA ;
- mesures pour réduire les expositions professionnelles lors de la maintenance et du fonctionnement normal ;
- procédures pour la prévision, l'analyse et l'enregistrement des doses travailleurs;
- équipements spéciaux pour la réduction des doses ;
- formation des employés au programme ALARA ;
- liste des travaux à 1 homme-Sv ou plus qui doivent être optimisés pour réduire l'exposition.

### **3.3 Rôles et responsabilités pour la mise en œuvre du programme ALARA**

Tous les travailleurs et managers doivent partager la responsabilité de la mise en œuvre du programme ALARA dans leur domaine d'activité.

L'engagement de la direction pour tout projet est toujours démontré par la présence et le soutien des managers. La politique de la direction doit donc encourager les managers à aller fréquemment visiter les chantiers et à avoir une connaissance directe de l'état du projet et des problèmes. Des visites de la centrale doivent être effectuées avec un but ou un centre d'intérêt spécifique (par exemple, tenue des lieux, propreté, respect des procédures par les travailleurs, adéquation des outils, avancement de tâches de réparation spécifiques, etc.). Cela peut être facilité par une délégation appropriée de l'autorité visant à dégager du temps pour les managers afin de leur permettre d'effectuer des rondes d'observation dans toute la centrale.

En outre, la politique de la direction peut exiger que les travaux soient effectués en respectant des limites spécifiées (dose, heures-hommes, délai, etc.). Cela peut être mis en œuvre via des obligations contractuelles pour les prestataires et par la volonté de la direction de financer et d'affecter du personnel aux tâches nécessaires à la réalisation des objectifs assignés. La communication à tous les travailleurs de ces objectifs et de l'engagement de la direction envers ces objectifs est également très importante.

La responsabilité de cette philosophie ALARA incombe à tous les domaines fonctionnels de la centrale qui incluent en général :

- les managers de la centrale : responsables de la performance ALARA, y compris la définition des normes internes ;

- la chimie : spécifications chimiques, rôle clé pour l'élaboration des procédures d'arrêt, etc. ;
- l'exploitation : mise en œuvre des recommandations des chimistes pour que la centrale respecte les spécifications chimiques, pour que les niveaux d'eau restent conformes aux recommandations de radioprotection, etc. ;
- la maintenance : exclusion de corps étrangers, préparation des outils et zones de travail, formation sur maquette, etc. ;
- la radioprotection : conseille les responsables et autres groupes de travail, définit les normes, la mise en œuvre pragmatique des règles et des réglementations, etc. ;
- les supports techniques : utilisation de l'expérience opérationnelle pour minimiser les besoins en maintenance, etc. ;
- la préparation et la planification des travaux : comprendre comment les plannings de travaux sont liés à la configuration de la centrale et comment les écarts par rapport aux plannings peuvent affecter la démarche ALARA, etc. ;
- la logistique des arrêts de tranche : prise en compte de la logistique lors des périodes d'arrêt (à distinguer des périodes de fonctionnement normal) ;
- la gestion des installations : tenue des lieux et propreté, par exemple ;
- les prestataires.

Il faut noter que l'organisation et la structure de ces fonctions peuvent différer d'une installation à l'autre et éventuellement entre les périodes de fonctionnement normal et les périodes d'arrêt de tranche. Il est donc difficile de définir ce que pourrait être la « meilleure » répartition des responsabilités. Toutefois, certaines règles génériques peuvent être tirées de l'expérience antérieure de nombreux exploitants ; les paragraphes suivants traitent de cette question de manière plus approfondie.

#### ***Royaume-Uni : rôle de la direction***

Au Royaume-Uni, l'employeur est obligé par la loi de nommer des personnes compétentes, en nombre suffisant, chargées de superviser la radioprotection. Ces personnes sont responsables vis-à-vis de l'employeur du respect par les travailleurs des règlements de la centrale en matière de sûreté radiologique. Pour être efficaces, ces personnes doivent avoir le pouvoir de commandement d'un superviseur et connaître les travaux en cours d'exécution ; elles doivent également connaître l'impact des exigences de radioprotection sur le maintien de doses aussi faibles que raisonnablement praticable (as low as reasonably practicable – ALARP). À Sizewell B, chaque superviseur de premier niveau (en maintenance, exploitation, etc.) est nommé « superviseur de radioprotection » ; il informe son équipe des permis de travail radiologique et veille au respect des règlements. En outre, l'autorité réglementaire a rappelé à tous les utilisateurs de rayonnements ionisants que les managers doivent participer activement à la promotion du concept ALARP et aux prises de décisions ayant un impact sur les expositions professionnelles.

#### ***Répartition des responsabilités vis-à-vis d'ALARA***

Bien que la répartition des responsabilités puisse varier selon les pays et les exploitants, les domaines de responsabilités suivants sont généralement applicables.

Pour les grands exploitants, les responsabilités vis-à-vis d'ALARA au niveau des services centraux de l'entreprise comportent habituellement :

- l'élaboration de la philosophie ALARA globale ;
- la normalisation dans tout le parc de la politique et des procédures ALARA ;
- l'élaboration des plans d'action génériques pour l'optimisation et la réduction des doses ;
- l'établissement d'objectifs de dose à court (3 mois à 1 an), moyen (1 à 5 ans) et long (10 ans, par exemple) terme, pour toute l'entreprise ou pour chaque site, le cas échéant ;
- la création de comités indépendants pour l'examen détaillé du remplacement de composants majeurs (remplacement d'un générateur de vapeur ou d'un couvercle de cuve, par exemple) ;

- le partage dans tout le parc de l'expertise et de l'expérience ALARA ;
- l'établissement des objectifs de dose pour les nouveaux programmes de construction.

En outre, pour toutes les centrales, les responsabilités et rôles organisationnels suivants pour le programme ALARA sont habituellement assignés, bien qu'en pratique, il puisse y avoir des variantes.

La *direction générale* doit promouvoir, accorder les ressources nécessaires et soutenir le programme ALARA pour assurer sa réussite globale.

Les *managers de la centrale* sont responsables du programme ALARA global en accord avec la politique et les objectifs de l'exploitant (qui, dans certains cas, peuvent être élaborés au niveau des services centraux). À cet effet, ils :

- participent à la formulation des objectifs du programme ALARA de la centrale ;
- assistent le personnel de la centrale en termes de mise en œuvre des mesures de radioprotection, en particulier le responsable de la radioprotection ;
- s'assurent que des voies de communication ouvertes existent vers les services centraux ;
- examinent l'état des efforts de la centrale en matière de réduction des expositions.

Les *chefs de service* sont responsables de la mise en œuvre du programme ALARA de la centrale dans leur domaine d'activité et sont chargés de s'assurer que les travaux sont exécutés conformément aux procédures ALARA. À cet effet, ils :

- définissent la contribution de leur service au programme ALARA de la centrale ;
- établissent les objectifs dosimétriques de leur service ;
- valident et contrôlent les procédures et méthodes élaborées pour atteindre les objectifs ;
- assistent leur personnel en ce qui concerne la mise en œuvre du principe ALARA ;
- examinent périodiquement les performances du service en ce qui concerne les objectifs du programme ALARA.

Les *responsables de la radioprotection* sont chargés de l'élaboration et de la mise en œuvre du programme de radioprotection et doivent avoir le pouvoir de « remonter la hiérarchie » pour résoudre les problèmes de radioprotection. En particulier, ils :

- élaborent des méthodes et procédures pour la mise en œuvre du principe ALARA ;
- identifient et analysent les conditions et les opérations (y compris le risque) qui peuvent donner lieu à une exposition importante ;
- mettent en œuvre un programme de contrôle des expositions et fournissent des informations en retour aux autres services (données radiologiques, niveaux d'exposition, etc.) ;
- mettent en œuvre la formation initiale à la radioprotection et fournissent en permanence les données d'entrée pour le programme de formation de la centrale.

Les *techniciens de radioprotection* sont responsables des opérations suivantes sur le terrain et contribuent à garantir la mise en œuvre des politiques de radioprotection et l'exécution des travaux conformément au principe ALARA. Leurs responsabilités sont, entre autres, de :

- fournir une assistance et des conseils aux travailleurs pour les encourager à adopter un comportement ALARA ;
- suivre les travaux pour s'assurer du respect des procédures de sûreté et de radioprotection ; et
- dans certaines centrales, arrêter les travaux en cas d'écart sérieux par rapport aux objectifs dosimétriques ou lorsque le risque radiologique pour les travailleurs s'accroît de manière importante.

Enfin, *chaque travailleur individuellement* est chargé de maintenir son exposition aussi faible que raisonnablement possible en suivant les formations et les procédures de radioprotection et en identifiant et signalant aux responsables les possibilités de réduction de la dose. Les travailleurs sont, en particulier, chargés de :

- maintenir leur niveau d'exposition individuelle et celui des travailleurs qui les entourent aussi faible que raisonnablement possible en appliquant les bonnes pratiques et procédures en matière de radioprotection ;
- identifier et suggérer des améliorations et des bonnes pratiques pour la réduction des expositions.

### ***Répartition des responsabilités vis-à-vis d'ALARA entre les exploitants et les prestataires***

Il est nécessaire que la répartition des responsabilités entre les exploitants et les prestataires soit claire en ce qui concerne la mise en œuvre du programme ALARA. Les exploitants, en tant que propriétaires de la source, sont habituellement responsables de l'environnement de travail. Si le prestataire applique les procédures de travail de l'exploitant, ce dernier est responsable de l'optimisation de la radioprotection au niveau du poste de travail. Si, par contre, le prestataire élabore ses propres procédures, il lui incombe de prouver à l'exploitant que la protection a été optimisée. Dans certains cas, il est possible d'incorporer des obligations contractuelles spécifiques en ce qui concerne la radioprotection. Toutefois, le dialogue entre l'exploitant et le prestataire est, dans tous les cas, l'élément clé pour l'amélioration de la radioprotection.

#### ***France : prestataires à EDF***

Pour les opérations de maintenance nationales exécutées par des prestataires nationaux, EDF a incorporé dans les contrats pluriannuels des obligations spécifiques relatives à la radioprotection. Ces contrats comportent une partie détaillant une quantité fixée de travaux et une partie « facultative » détaillant les travaux supplémentaires possibles. Si un prestataire ne remplit pas les obligations spécifiées dans le contrat ou ne manifeste pas un bon comportement en ce qui concerne la radioprotection, la partie facultative du contrat peut ne pas lui être attribuée.

#### ***Slovénie : responsabilités du prestataire (centrale de Krško)***

Du point de vue de la responsabilité du prestataire pour ALARA, une politique de gestion efficace est d'incorporer l'obligation de respecter le programme ALARA dans les contrats commerciaux. À la centrale de Krško, le prestataire peut être passible, en cas de dose collective élevée, de paiement de pénalités à la centrale suite au non-respect des exigences ALARA. Si la dose globale dépasse la valeur du plan ALARA de 10 hommes-mSv, le prestataire doit payer un montant de 10 000 €, plus un montant supplémentaire de 5 000 € pour chaque 5 hommes-mSv supplémentaire au-dessus de la dose indiquée dans le plan ALARA. Le règlement des pénalités est convenu par les deux parties lors de la réunion de bilan. Dans ce cas, la valeur d'alpha définie par la centrale est également utilisée pour des raisons commerciales pour obliger le prestataire à assumer une responsabilité adéquate en ce qui concerne le programme ALARA.

### **3.4 Comité ALARA et autres organisations ALARA spécifiques**

Selon l'organisation de l'exploitant, des comités ALARA peuvent être mis en place à différents niveaux : entreprise, ingénierie, centrale, etc. Pour les exploitants gérant un grand nombre de centrales, il peut être utile de créer un comité ALARA au niveau de l'entreprise afin de diffuser les principaux objectifs des politiques ALARA de l'exploitant et de coordonner les mesures de radioprotection entre les centrales. Ce comité est généralement présidé par un représentant de la direction générale de la radioprotection et ses membres sont des représentants de la direction générale de la centrale. Certains exploitants ayant mis en place des services ingénierie au niveau de l'entreprise peuvent également mettre

en place des comités ALARA pour coordonner l'intégration des aspects relatifs à la radioprotection dans les développements techniques (par exemple, élaboration de modifications de la centrale ou de travaux de maintenance spéciaux, etc.).

### ***Comité ALARA***

Un comité ALARA est mis en place chez certains exploitants pour fournir une planification et un examen permanents pluridisciplinaires du programme ALARA. Ce comité est généralement présidé par un représentant de l'équipe de direction pour garantir un pouvoir décisionnel et les membres sont généralement des représentants des différents services de la centrale (radioprotection, chimie, maintenance, exploitation, ingénierie, planification, préparation et logistique).

Le comité est généralement en charge d'examiner et d'approuver le programme ALARA proposé par la direction de la centrale, de définir les objectifs d'exposition professionnelle annuelle et de s'assurer que le programme est mis en œuvre et solide. Le comité ALARA doit se réunir périodiquement pour examiner la performance ALARA de la centrale, évaluer les suggestions pour les réductions des doses individuelles et formuler des recommandations envers la direction en ce qui concerne l'efficacité du programme ALARA. Les comptes-rendus de chaque réunion doivent spécifier qui est responsable de chaque action décidée par le comité et doivent être diffusés à tous les départements.

Le comité ALARA de la centrale peut être consulté pour valider les dossiers ALARA de certains travaux de maintenance. La décision de présenter ces travaux au comité dépend habituellement du niveau des expositions individuelles ou collectives associées aux travaux ou de la nécessité d'un arbitrage pour la sélection de la meilleure option de protection (voir aussi section 3.5).

### ***Groupe technique ALARA***

Pour faciliter la mise en œuvre pratique du programme ALARA, il peut être utile de créer un groupe technique ALARA spécifique composé de professionnels de la radioprotection et d'ingénieurs. Le rôle de ce groupe peut inclure la participation aux réunions de planification, de programmation et de préparation des travaux, à l'examen détaillé des procédures de travail, à la conception de protections biologiques temporaires, etc.

#### ***Allemagne : création du comité ALARA suite à un examen OSART (centrale de Phillipsburg)***

Un examen OSART mené en 2004 a suggéré la mise en place d'un comité ALARA. Ce comité se réunit deux fois par an pour la préparation des arrêts de tranche et l'établissement du bilan des événements annuels. Le comité ALARA se compose de membres de la direction de la centrale, de l'exploitant de la centrale et des responsables RP des départements spécifiques *i.e.* maintenance et exploitation. Le comité constitue un contact important pour la direction de la centrale. Il est ainsi possible de mieux préparer la radioprotection. Cela signifie que les projets les plus récents et ceux comportant des défauts potentiels peuvent faire l'objet d'une discussion ouverte et être analysés. Le comité encourage la volonté de traiter les problèmes de radioprotection.

#### ***Corée : organisation et responsabilité ALARA (KHNP)***

KHNP a révisé son programme ALARA et a élaboré une procédure ALARA standard pour satisfaire aux recommandations de la CIPR 60 mises en application par la loi (1998). Les procédures ALARA précédentes avaient été appliquées à chaque centrale jusqu'à l'élaboration de la procédure standard pour toutes les centrales en 2000. L'organisation et les responsabilités du comité ALARA et du comité pratique ALARA, indiquées ci-dessous, sont décrites dans la procédure standard.

**Corée : organisation et responsabilité ALARA (KHNP) (Suite)**

Poste	Comité ALARA	Comité pratique ALARA
Président	Directeur de la centrale	Responsable radioprotection
Secrétaire	Responsable de la section radioprotection	Chef de la section radioprotection
Membres	Directeur adjoint de la centrale Responsable AQ Directeur de toute la centrale Responsable prestataires	Chef de la section groupe de travail Responsable du groupe de travail prestataires Responsable des prestataires radioprotection Membre recommandé par le président

Le comité ALARA est chargé des examens généraux du programme ALARA (politique RP, objectif annuel, stratégie ALARA à long terme, etc.). Les deux comités sont responsables des éléments suivants, en fonction des doses prévues pour les travaux :

- examen de la préparation de l'optimisation de la radioprotection ; examen ALARA après les travaux si la dose réelle dépasse la dose prévue de 25 % ;
- examen du plan de contrôle de la radioprotection ;
- examen du plan d'optimisation de la radioprotection (chaque fois que le président le demande).

**États-Unis : groupe technique ALARA**

Aux États-Unis, le groupe technique ALARA est généralement composé de plusieurs spécialistes en radioprotection et techniciens qui effectuent les examens ALARA courants et remplissent des fonctions de comptabilisation des doses. Généralement, le groupe effectue annuellement 200 à 300 examens de travaux ALARA, fait des recommandations au comité ALARA pour les objectifs de dose annuelle et de dose pour les arrêts (en homme-Sv), administre la base de données de suivi des expositions, les systèmes de télésurveillance, la dosimétrie électronique par télémetrie et la robotique. Ce groupe est également en charge de la conception des protections radiologiques permanentes et temporaires. Ce groupe doit travailler en liaison étroite avec toutes les phases de planification, programmation et préparation des travaux pour garantir que les mesures de radioprotection appropriées sont incorporées (par exemple, le maintien des niveaux d'eau dans la tuyauterie pour profiter de l'effet d'écran de l'eau). Roumanie : culture ALARA (centrale de Cernavoda)

Dans la centrale de Cernavoda, la culture ALARA fait intervenir les éléments ci-après.

Les coordinateurs ALARA des groupes métiers :

- analysent les rapports de dose mensuels pour leurs métiers (doses reçues par rapport aux objectifs de dose, doses reçues pour les activités/travaux principaux) ;
- participent à la publication et au suivi des indicateurs et objectifs ALARA du groupe métier et des plans de réduction des doses ;

Le comité technique ALARA est en charge des :

- évaluations ALARA avant et après les travaux pour les activités/travaux dont la dose collective estimée est supérieure à 20 hommes-mSv ;
- analyses de ces activités établies via le processus d'auto-évaluation ;
- établissement des objectifs et cibles spécifiques ALARA ;
- analyses de l'évolution des indicateurs de performance relatifs à la dose ;
- collectes, analyses et évaluations des données pour déterminer l'efficacité du processus ALARA ; analyses coûts-bénéfices du processus ALARA ;
- évaluations et approbations des plans d'action pour diminuer l'exposition au niveau des groupes métiers.

Le comité ALARA approuve les objectifs ALARA et effectue une analyse de tendance des indicateurs de performance ALARA et, si nécessaire, établit des mesures correctives et modifie les objectifs. Les objectifs ALARA incluent les éléments suivants :

- doses collectives des groupes métiers et de la centrale (homme-mSv/an) ;
- doses collectives des arrêts prévus (homme-mSv) ;
- doses collectives des travaux majeurs (homme-mSv) ;
- dose collective interne de la centrale ( % de la dose collective de la centrale) ;
- dose collective interne des groupes métiers ( % de la dose collective des groupes métiers).

### 3.5 Analyses ALARA

Les analyses ALARA sont habituellement effectuées par le groupe technique ALARA si une telle structure a été créée. Toutefois, quelle que soit l'organisation, elles doivent être effectuées par des équipes pluridisciplinaires composées de membres du personnel de radioprotection et de spécialistes techniques correspondant au chantier spécifique examiné.

Lors de l'application du principe ALARA à des travaux particuliers, il est évident que tous les travaux ne nécessitent pas le même niveau d'analyse. Selon le risque radiologique associé aux travaux, le niveau d'effort consacré à leur analyse en vue de réduire les doses variera. Normalement, des critères dosimétriques établis définissent le niveau d'effort et spécifient également le niveau hiérarchique d'approbation nécessaire avant que les travaux puissent être effectués. Ces critères sont souvent définis de telle manière que si le niveau de dose individuelle prévu et/ou la dose collective totale prévue pour les travaux dépasse un certain seuil, un niveau défini d'évaluation et d'approbation est exigé.

Pour la sélection des mesures de réduction des expositions, des techniques d'aide à la décision telles que l'analyse coûts-bénéfice sont souvent efficaces. L'utilisation de ces analyses implique l'adoption d'une valeur monétaire de référence pour l'unité de dose collective (appelée « valeur d'alpha »). Dans la plupart des cas, l'utilisation officielle de la valeur d'alpha se limite aux décisions considérées comme particulièrement importantes en termes de budget ou d'impact sur les opérations ou sur la sûreté de l'installation. Cette valeur doit être utilisée en tant qu'« outil d'aide à la décision » plutôt qu'en tant qu'« outil de prise de décision » pour aider à réduire la subjectivité dans le processus décisionnel. Dans la plupart des cas, elle n'est rien de plus qu'un critère parmi d'autres. Toutefois, même si le résultat d'une technique d'aide à la décision n'est qu'un critère pour la prise de décision, cette technique permet de mieux structurer le problème, d'identifier les critères de décision et de quantifier les différents éléments nécessaires (dose collective, distribution des doses individuelles, efficacité des techniques de radioprotection, etc.). Elle facilite également la transparence du processus décisionnel.

#### ***Belgique et France : classement des travaux en fonction de la dose prévue***

En Belgique, dans la centrale de Doel, un dossier ALARA, dont le niveau de détail dépend de la dose collective et du débit de dose, doit être préparé :

- débit de dose ambiant  $< 0,1$  mSv/h (et débit de dose au contact  $< 0,5$  mSv/h) et/ou dose collective  $< 0,5$  homme-mSv : pas de dossier de préparation détaillé ;
- débit de dose ambiant  $< 0,1$  mSv/h (et débit de dose au contact  $> 0,5$  mSv/h) et/ou dose collective de 0,5 à 5 hommes-mSv : préparation d'un dossier ALARA avec les doses prévues détaillées et une check-list des actions de radioprotection à mettre en œuvre ;
- dose collective de 5 à 25 hommes-mSv : réunion obligatoire entre les professionnels et le personnel de radioprotection pour préparer le dossier ALARA qui doit être validé par le personnel de radioprotection ;
- dose collective  $> 25$  hommes-mSv : même procédure que ci-dessus plus réunion du comité ALARA pour identifier les actions permettant de réduire la dose collective.

En France, EDF a établi des référentiels internes de radioprotection comprenant un chapitre spécifique sur l'optimisation de la radioprotection. Selon la dose collective, le débit de dose ou le niveau de contamination, une analyse ALARA plus ou moins détaillée doit être faite. Les valeurs de référence pour la dose collective et le débit de dose utilisées pour déterminer un niveau sont les mêmes pour toutes les centrales EDF. Les niveaux de contamination sont établis par chaque centrale.

- niveau 0 : débit de dose ambiant  $< 0,1$  mSv/h et/ou dose collective  $< 1$  homme-mSv : aucune étude d'optimisation spécifique nécessaire ; l'application des règles standard de radioprotection et des bonnes pratiques est considérée comme suffisante ;
- niveau 1 : débit de dose ambiant de 0,1 à 2 mSv/h et/ou dose collective de 1 à 10 hommes-mSv : une analyse ALARA « simplifiée » est effectuée par le préparateur des travaux ;

***Belgique et France : classement des travaux en fonction de la dose prévue (Suite)***

- niveau 2 : débit de dose ambiant de 2 à 40 mSv/h et/ou dose collective de 10 à 20 hommes-mSv : une analyse ALARA approfondie est effectuée par le préparateur des travaux en collaboration avec le département de radioprotection ;
- niveau 3 : débit de dose ambiant > 40 mSv/h et/ou dose collective > 20 hommes-mSv : une analyse ALARA approfondie est effectuée sous la responsabilité du département de radioprotection en collaboration avec le préparateur des travaux. Cette analyse doit inclure la comparaison de plusieurs options de protection. Elle doit être acceptée par le comité ALARA de la centrale.

***Corée : modèle de valeur monétaire***

Au symposium ALARA asiatique ISOE de 2007, l'institut coréen de sûreté nucléaire [Korean Institute of Nuclear Safety (KINS)] a proposé un nouveau modèle de valeur monétaire. Il a étudié les valeurs d'alpha utilisées par les centrales nucléaires du monde entier et les modèles de la France (CEPN), du Royaume-Uni et du Japon. Il a comparé ces modèles au modèle du KINS et a développé un nouveau modèle qui prend en considération les facteurs économiques et sociaux comme le produit intérieur brut et l'espérance de vie.

***Roumanie : évaluation radiologique préalable des activités (centrale de Cernavoda)***

Dans la centrale de Cernavoda, toutes les activités mettant en jeu une exposition aux rayonnements ionisants sont évaluées du point de vue de la radioprotection selon les procédures de la centrale. Une estimation de la dose collective est calculée en se basant sur les informations détaillées sur les activités à exécuter. Si la dose totale estimée dépasse une limite prédéfinie, d'autres évaluations sont effectuées par les comités ALARA de la centrale pour mettre en place des mesures compensatoires visant à minimiser les doses collectives et l'impact radiologique. Si la dose totale estimée dépasse 10 hommes-mSv, un plan de sûreté est approuvé pour établir toutes les mesures de protection nécessaires telles que protection des points chauds, l'utilisation de maquettes avant les travaux ou l'usage restreint d'appareils de protection respiratoire pour minimiser la dose externe et réduire ainsi les doses individuelles et collectives.

Pour chaque arrêt de tranche, les activités sont évaluées et les estimations de doses sont calculées en se basant sur le retour d'expérience antérieure de maintenance. S'il n'existe pas d'expérience antérieure, une évaluation avant les travaux est effectuée en se basant sur les débits de dose mesurés et les actions de protection nécessaires sont mises en place. Chaque activité dont la dose collective estimée est supérieure à 0,1 homme-mSv se voit attribuer un numéro de permis de travail radiologique et est étroitement surveillée pour s'assurer que les actions de protection mises en place sont respectées et que les doses collectives suivent la tendance prévue. Sinon, des mesures correctives sont prises chaque fois que cela est nécessaire.

### **3.6 Guides ALARA des exploitants**

En soutien aux activités ALARA des centrales, certains exploitants ont élaboré leurs propres guides internes de radioprotection comprenant des recommandations pour la mise en œuvre pratique du concept ALARA. En outre, certains groupes industriels, comme l'Institute of Nuclear Power Operations (INPO) et le Nuclear Energy Institute (NEI) aux États-Unis, ont élaboré des guides similaires basés sur l'expérience de leurs membres.

***États-Unis : directives INPO***

Aux États-Unis, l'INPO, créé par l'industrie nucléaire en 1979 suite à l'accident de Three Mile Island, est en charge des performances et de l'évaluation des installations nucléaires. Toutes les organisations des États-Unis qui exploitent des centrales nucléaires sont membres de l'INPO. La mission de l'INPO est « d'encourager les plus hauts niveaux de sûreté et de fiabilité – promouvoir l'excellence – en ce qui concerne l'exploitation des centrales électronucléaires ». À cet effet, l'INPO publie des « directives relatives à la radioprotection des centrales électronucléaires » pour aider les exploitants à mettre en œuvre et à maintenir de hauts standards en matière de radioprotection et à respecter les objectifs de dose collective. L'INPO est également en charge d'élaborer des indicateurs de performance.

#### ***États-Unis : directives INPO (Suite)***

En ce qui concerne la radioprotection, un seul indicateur est utilisé : l'objectif de dose collective par tranche. Tous les cinq ans, l'INPO demande à chaque centrale nucléaire de déterminer les objectifs qu'elle prévoit d'atteindre (objectif annuel et objectif sur 5 ans). L'INPO établit ensuite la moyenne des « prévisions » et fixe les objectifs de dose sur 5 ans pour les REB et les REP. Les exploitants fixent leurs objectifs de façon à ce que les centrales elles-mêmes en soient responsables. Les objectifs font l'objet d'un suivi annuel pour mesurer l'avancement du parc. Il faut noter que lorsque les centrales sont classées par l'INPO en fonction de leur dose collective annuelle, celles qui n'atteignent pas l'objectif de dose sont pénalisées sur l'indice d'indicateurs de performances. L'indice d'indicateurs de performances est un composite de dix indicateurs et sert à mesurer la performance globale de la centrale. Via cette pratique, l'INPO recherche une amélioration continue des performances des centrales.

#### ***France : exigences internes d'EDF***

En France, EDF a élaboré un « référentiel radioprotection » avec 8 chapitres présentant les exigences réglementaires ainsi que les exigences internes d'EDF en termes de radioprotection. Un chapitre est spécifiquement dédié à l'optimisation de la radioprotection et à la façon d'évaluer les doses prévues, d'effectuer un suivi des doses pendant les opérations et d'analyser le retour d'expérience. Un autre chapitre dédié au management de la radioprotection fournit des exigences pour l'organisation de la centrale (création de comités ALARA, nomination d'un responsable, appartenant à la direction, en charge de la radioprotection, etc.). Il existe d'autres guides aidant à mettre en œuvre ces exigences.

#### ***Japon : philosophie du programme de sûreté opérationnelle ALARA***

Les exploitants japonais décrivent l'esprit ALARA dans leur programme de sûreté opérationnelle. Conformément à ce programme, les exploitants font des efforts pour diminuer les expositions en utilisant leurs propres objectifs internes, par exemple 20 mSv/an (à comparer avec la limite réglementaire de 50 mSv/an).

### **3.7 Résumé**

Pour disséminer la philosophie ALARA à tous les niveaux hiérarchiques, depuis le haut management jusqu'à l'intervenant sur le terrain, il est nécessaire de mettre en place et de structurer des programmes ALARA dédiés qui rendent explicites les objectifs de la centrale en ce qui concerne l'optimisation de la radioprotection. Les responsabilités associées à la mise en œuvre du programme ALARA doivent être clairement réparties entre les différents niveaux de la hiérarchie et les spécialités. La création de comités ALARA ou d'autres types d'organisations ALARA spécifiques est un élément clé, permettant des « points de rencontre » entre les principaux acteurs de la mise en œuvre des programmes ALARA. Cela favorise leur participation au programme ALARA et l'élaboration en commun de projets ALARA.

## **4. IMPLICATION ET PERFORMANCES DES TRAVAILLEURS**

*Les objectifs ALARA ne peuvent pas être atteints sans l'implication des intervenants. C'est le travailleur qui est exposé et la réduction des expositions dépend beaucoup de lui-même. La motivation et les performances peuvent être améliorées en facilitant l'implication des intervenants à chaque stade des travaux, de la préparation jusqu'à la revue de fin d'intervention. À cette fin, l'équipe de direction doit elle aussi s'engager et favoriser une structure qui encourage et prend en considération le retour d'expérience des travailleurs.*

### **4.1 Introduction**

Un élément qui influe sur de nombreuses étapes des travaux est l'implication et les performances des intervenants. De nombreux éléments contribuent aux performances des intervenants et celles-ci peuvent être améliorées par leur implication. En faisant participer l'intervenant à la tâche à entreprendre, celui-ci sera plus susceptible d'être motivé pour exécuter les travaux au mieux des ses capacités. Cela donnera lieu à des doses inférieures et un travail de qualité supérieure. Étant donné qu'il existe une hiérarchie allant de la direction générale, des cadres supérieurs au niveau département aux chefs de section, contremaîtres et intervenants, de nombreux aspects de ce chapitre concerneront le personnel à tous les niveaux.

### **4.2 Performance des intervenants contribuant à la mise en œuvre du programme ALARA**

Une grande partie des connaissances opérationnelles nécessaires pour gérer efficacement les expositions des intervenants appartient aux intervenants eux-mêmes. Les expositions peuvent être réduites parallèlement à l'amélioration du rendement du travail grâce à l'application de bonnes pratiques d'organisation du travail. Pour exploiter les connaissances et l'expérience de la main-d'œuvre et la faire participer à cet effort, il est essentiel de l'impliquer dans les processus décisionnels. Les bons intervenants contribuent à la réduction des doses lorsqu'ils exécutent leurs tâches en respectant les objectifs de qualité, le calendrier et le budget établis et en veillant à minimiser leurs doses. Des structures doivent être mises en place pour permettre et encourager le partage du retour d'expérience des intervenants. D'après les éléments les plus importants définissant une bonne performance, les intervenants doivent :

- être correctement formés aux aspects techniques de leurs tâches ;
- connaître et appliquer les bonnes pratiques de radioprotection sur le lieu de travail, y compris l'application pratique du principe ALARA ;
- agir conformément à leurs attributions de tâches et travailler en coopération avec leur équipe ;
- évaluer le travail à exécuter et chercher à améliorer le rendement dans le cadre des exigences procédurales en se servant de leur propre expérience, pendant la préparation des travaux, lors de leur mise en œuvre et pendant les évaluations après exécution des travaux ;
- utiliser leur expérience pour proposer de nouvelles conceptions d'outillages ou des modifications des outillages, équipements ou composants existants selon le cas ;
- identifier les problèmes potentiels et être capables de réagir de manière sûre et efficace en présence de problèmes imprévus ;

- tirer profit des réseaux d'échange d'informations (internes ou externes) pour faire en sorte que leurs connaissances, expériences et leçons tirées puissent être partagées et utilisées par les autres travailleurs.

Une des composantes essentielles nécessaires pour encourager la bonne performance est la motivation personnelle. La motivation du personnel est donc un élément clé de l'implication des intervenants.

### **4.3 Enseignement et formation pour la mise en œuvre de l'approche ALARA**

L'enseignement, dans le cadre de l'implication des intervenants pour l'approche ALARA, porte sur les concepts et les bonnes pratiques de radioprotection et vise à informer les membres du personnel de leur responsabilité quant au maintien des expositions à la valeur la plus faible possible. Cet enseignement doit être adapté au type de personnel concerné et à leur niveau de responsabilités. Par exemple, un cours de formation pour les cadres supérieurs peut présenter une vue d'ensemble de l'importance et de la justification de la mise en œuvre d'un programme ALARA pour la centrale, ses principes de base et les procédures d'évaluation de son efficacité. À l'inverse, la formation des intervenants doit être détaillée et se concentrer sur les pratiques et principes ALARA fondamentaux, la distribution des rôles et des responsabilités, les différents outils de radioprotection (documents de contrôle de la centrale, examen avant et après les travaux, techniques de réduction des doses, etc.) et des conseils sur la conduite à observer en cas d'événements imprévus.

Même s'ils ne travaillent pas directement dans des zones exposées, il est important que tous les travailleurs connaissent les aspects et les impacts de la radioprotection spécifiques à leurs domaines de responsabilité. Il est, par exemple, nécessaire que le personnel de maintenance comprenne l'impact possible des conditions de travail sur la durée des expositions et les prenne en compte lors de l'élaboration de nouvelles procédures de travail ou d'outils qui seront utilisés dans des zones à accès restreint ou lors du port de vêtements de protection.

L'enseignement et la formation ALARA doivent être dispensés périodiquement, par exemple sous forme de cours de remise à niveau, avant un arrêt de tranche pour informer les intervenants ou leur rappeler les aspects importants de la radioprotection et de la réalisation des travaux. Dans le cadre de la formation, une attention particulière doit être portée :

- au nouveau personnel peu familiarisé avec l'approche ALARA ;
- à l'intégration des expériences précédentes tirées des séances de formation récentes, en particulier des évaluations et des recommandations des participants ;
- à la fourniture d'informations pertinentes au vu des travaux à effectuer.

#### ***Processus d'évaluation STAR***

La mise en œuvre d'ALARA pendant l'exécution du travail peut également bénéficier de l'enseignement et de la formation à l'utilisation de la méthode d'auto-évaluation « STAR » pour diminuer les erreurs, incidents et accidents et éviter les doses inutiles et les accidents du travail. Cette technique exige de l'intervenant qu'il :

- S : Stop s'arrête avant d'exécuter une tâche et identifie le bon composant ;
- T : Think réfléchisse à la tâche, à la réponse attendue et aux actions nécessaires si la réponse attendue ne se produit pas ;
- A : Act agisse en vérifiant qu'il s'agit bien du bon composant et en exécutant la fonction prévue ;
- R : Review effectue une évaluation en comparant la réponse réelle à la réponse attendue.

Le processus STAR est largement utilisé dans l'industrie nucléaire et contribue efficacement à la mise en place d'un système de gestion de la sûreté intégré en confirmant qu'une tâche peut être exécutée en toute sécurité.

***Canada : formation continue des techniciens en radioprotection (centrale de Pickering B)***

À Pickering « B », le département Radioprotection a institué un programme de formation continue pour ses techniciens en radioprotection. Au début de chaque poste de travail lors des pre-job briefings, un spécialiste en radioprotection présente les sujets pertinents et répond aux questions. Le programme a un triple avantage : les informations présentées sont un prolongement de la formation en radioprotection, il fournit de nouvelles informations aux techniciens expérimentés et aux nouveaux diplômés et il offre aux techniciens en radioprotection la possibilité de rencontrer fréquemment les spécialistes en radioprotection du site. Cette communication/interaction est essentielle pour améliorer quotidiennement les performances des services de radioprotection.

***Lituanie : programmes de formation dans la centrale d'Ignalina***

Dans la centrale d'Ignalina, on reconnaît qu'un bon enseignement et une bonne formation pour les travailleurs sont un facteur d'amélioration de la culture de sûreté radiologique. La formation des travailleurs extérieurs dans le domaine de la radioprotection est organisée selon les exigences énoncées dans l'arrêté du ministère de la santé de la République de Lituanie. La fréquence établie pour la formation est de 5 ans. Les programmes de formation préparés pour les travailleurs de la centrale d'Ignalina sont aussi appliqués pour la formation des travailleurs extérieurs. Les programmes sont approuvés par le centre de radioprotection et durent environ 30 heures.

***Roumanie : formation en radioprotection des travailleurs***

Le personnel de la centrale possède des qualifications en radioprotection qui sont fonction des travaux qu'il exécute. Il y a quatre niveaux de qualification avec différentes compétences et responsabilités, chacun nécessitant un cours de remise à niveau tous les 5 ans :

- ROUGE : personnes non formées qui ne peuvent pas exécuter un travail sous rayonnements ionisants ou pénétrer dans une zone contrôlée sans autorisation spéciale ;
- ORANGE : personnes avec une formation en radioprotection de base et qui doivent obtenir une autorisation d'accès initial à une zone sous rayonnements ionisants et une autorisation pour effectuer des travaux dans ces zones. Elles ne sont pas autorisées à exécuter des activités en zone 1 sans un assistant en radioprotection ;
- JAUNE : personnes ayant acquis des connaissances approfondies en radioprotection mais dont l'expérience pratique est limitée. Ces personnes peuvent effectuer des travaux sous rayonnements ionisants sans aucune assistance ;
- VERT : personnel de radioprotection expérimenté possédant toutes les connaissances requises en radioprotection. Ce personnel peut servir d'assistant pour les personnes possédant une qualification de niveau rouge et orange.

#### **4.4 Facteurs contribuant à l'implication des travailleurs**

La motivation est une condition préalable importante pour l'implication des travailleurs : les facteurs et modes de comportement traités précédemment montrent qu'il importe de créer des conditions et de mettre en œuvre des pratiques qui encouragent l'implication des prestataires et des agents de la centrale. À long terme, cela devrait conduire à l'amélioration des performances et à l'optimisation de la radioprotection.

##### ***Rôle du management***

Pour que les travailleurs adhèrent complètement à l'optimisation de la radioprotection, il est important qu'ils voient que les managers à tous les niveaux s'impliquent dans le processus ALARA. Il est également important qu'à tous les niveaux les managers appliquent les principes d'organisation du travail en vue d'améliorer les performances de la centrale. Si les managers ne s'impliquent pas dans la

mise en œuvre de l'organisation du travail ou dans l'application du principe ALARA, il sera plus difficile de motiver les travailleurs à appliquer ces méthodes. L'équipe de direction est donc un maillon important pour l'organisation du travail et l'implication des travailleurs. Son rôle spécifique doit être de motiver les travailleurs et de les encourager à faire part de leur retour d'expérience. Il est essentiel de montrer aux travailleurs qu'ils ne sont pas les seuls à participer au processus ALARA et que les managers sont à l'écoute de leurs suggestions.

La plupart des travaux d'arrêts de tranche étant souvent effectués par des prestataires, il est important de les faire participer à l'organisation du travail et à la radioprotection. En ce qui concerne le management, deux domaines doivent être traités :

- Les managers du prestataire doivent faire participer leur personnel à l'organisation du travail et à la radioprotection.
- Les managers de la centrale doivent :
  - encourager l'implication du personnel prestataire lors des travaux et motiver les prestataires à coopérer à l'organisation du travail et à l'approche ALARA ;
  - examiner l'attitude du prestataire vis-à-vis de l'organisation du travail et de la radioprotection.

***France : organisation de visites de l'équipe de direction sur le terrain***

Pour faciliter et augmenter l'efficacité des visites des équipes de direction sur le terrain, certaines centrales EDF ont élaboré un guide spécifique. Ce guide présente une liste de contrôle et rappelle les principaux points qui doivent être contrôlés selon le référentiel interne de radioprotection en vigueur dans les centrales. Une planification annuelle des visites est établie afin que les équipes de direction consacrent suffisamment de temps à cette activité.

***Participation du personnel à la planification, à la préparation et à l'évaluation d'ALARA***

En général, la personne effectuant les travaux est celle qui les comprend le mieux et qui est la mieux placée pour suggérer des modifications pour les améliorer et réduire la dose associée. Pour tirer profit de cette expérience opérationnelle, les intervenants doivent être intégrés aux phases de préparation et de planification des travaux. Cela permettra l'amélioration des procédures de travail, de la planification, des outils et des techniques à utiliser et l'harmonisation des actions à entreprendre. La réalisation des travaux peut également être améliorée en recueillant l'expérience du personnel via des évaluations post-travaux, un partage d'expériences (mise en réseau) et, le cas échéant, via des informations recueillies à des étapes spécifiées (points d'arrêt) lors d'une tâche particulière. Cela augmentera également la motivation des intervenants qui verront leurs connaissances et leur expérience demandées, partagées et utilisées. Un autre outil pour collecter l'expérience des intervenants est la « boîte à idées » pour la radioprotection qui peut aussi constituer un outil de motivation utile si un retour d'informations est communiqué à ceux qui ont soumis des suggestions.

Du fait que la plupart des travaux soient effectués par des prestataires, la possibilité de les faire participer à la préparation est quelque peu limitée car ils ne sont normalement pas présents sur le site avant le début des travaux. Toutefois, ces intervenants devraient participer à la formation spécifique sur les travaux à effectuer ainsi qu'à l'analyse post-travaux afin de pouvoir recueillir et utiliser leur retour d'expérience. Cela peut nécessiter un accord du management de la centrale pour la rémunération du temps consacré par les prestataires à l'analyse post-travaux.

***Japon : inspection des pompes primaires (centrale de Ohi)***

Dans la centrale de Ohi de Kansai Electric Power Co. Inc, un groupe de travail ALARA a été mis en place avec la participation des départements maintenance et radioprotection de Kansai, des fabricants et des prestataires chargés du contrôle pour étudier les possibilités de réduction des doses associées aux activités de contrôle des pompes primaires. Ce groupe couvre tous les aspects de l'intervention, notamment la conception des équipements, les activités de contrôle et l'administration. Un membre de la direction de la centrale a été nommé chef du groupe de travail ALARA.

En se basant sur les questionnaires envoyés à quelques 50 intervenants participant aux activités de contrôle des pompes primaires, les principales causes de doses élevées ont été extraites à l'aide d'un diagramme causes-effets. Elles ont ensuite été décomposées pour élaborer des actions ALARA. Les actions proposées ont été évaluées en termes de réduction de dose et de rapport coût-efficacité et les actions les plus efficaces suivantes ont été sélectionnées :

- incorporation d'une unité de nettoyage par ultrasons pour le réservoir de décontamination ;
- renforcement du blindage dans la salle d'inspection des pompes primaires (serre) ;
- enceinte blindée pour les roues des pompes ;
- amélioration de l'appareil de levage des équipements internes ;
- introduction d'outils électriques automatiques ;
- renforcement de la formation.

***Information et communication***

Les intervenants doivent être régulièrement informés des objectifs du programme ALARA de l'exploitant et les réponses à leurs questions doivent être données dès que possible. Cela peut se faire à l'aide de bulletins d'information réguliers, communiqués et affiches ou à l'aide, par exemple, de séminaires d'information. Si des objectifs sont fixés pour des travaux spécifiques, les intervenants doivent être informés de l'état d'avancement de la réalisation de ces objectifs par l'affichage périodique de diagrammes, graphiques et résultats.

Avant l'exécution d'une tâche, un briefing délivré par les responsables de la tâche et/ou le personnel de radioprotection peut être utile pour rappeler aux intervenants les objectifs de dose pour la tâche ainsi que ses principales caractéristiques. Les résultats sur les doses associées aux arrêts de tranche doivent être affichés dans un endroit bien visible comme l'entrée du poste de garde, du bâtiment réacteur ou dans les vestiaires. Des graphiques de dose et de durée des travaux peuvent être affichés dans les rapports de changement de quart et discutés lors des réunions correspondantes. Des messages clés peuvent être ajoutés pour renforcer la motivation des intervenants à atteindre les objectifs. Il faut toutefois veiller à ce qu'ils ne soient pas interprétés comme une vérification des performances ou une remise en question des qualifications.

La communication, la transmission d'informations et l'échange d'expériences à tous les niveaux aideront à la mise en œuvre des procédures de radioprotection. Ceci est particulièrement important pour la communication entre le personnel de la centrale et le personnel des prestataires. À ce titre, il peut être intéressant d'intégrer du personnel de la centrale dans les équipes de travail du prestataire.

***États-Unis : briefing ALARA, guide sur les arrêts et réunion d'une heure avec les prestataires***

Dans certaines centrales US, les travailleurs à qui ont été attribuées des tâches spécifiques sont briefés par les superviseurs des équipes de radioprotection et par les représentants du groupe ALARA. Ces briefings sont documentés et incluent :

- un examen de la procédure de travail ;

**États-Unis : briefing ALARA, guide sur les arrêts et réunion d'une heure avec les prestataires (Suite)**

- un examen des conditions de la zone de travail ;
- une discussion sur les outils et équipements nécessaires ;
- un briefing radiologique (examen de toutes les exigences spécifiques du permis de travail sous rayonnements ionisants et discussion sur les responsabilités du personnel pour sa conduite dans les zones sous rayonnements ionisants).

En outre, au début des interventions, le groupe ALARA passe 1 heure avec les prestataires chargés de la maintenance pour les informer des objectifs des interventions. Chaque travailleur reçoit un guide sur les arrêts indiquant les numéros de téléphone des personnes responsables des activités majeures, les objectifs de l'arrêt, le calendrier des réunions quotidiennes, des recommandations concernant la sécurité, l'assurance qualité, la sécurité industrielle, les échafaudages, le contrôle chimique, la tenue des lieux, la radioprotection, etc. Ce guide comporte également 25 cartographies des zones principales et l'emplacement des principaux systèmes.

**France : affichage des doses quotidiennes et brochure pour les prestataires**

En France, toutes les centrales ont mis en application l'affichage quotidien de l'évolution des doses collectives réelles et prévues pour les interventions et cette pratique est très bien perçue par les travailleurs. Cet affichage est très souvent complété par des informations relatives au :

- nombre d'accidents de travail ;
- nombre d'incidents de radioprotection importants ;
- nombre de contaminations individuelles internes ou externes ;
- principaux événements de la journée.

EDF a également élaboré différents guides pour les prestataires résumant les règlements de sûreté et de radioprotection à appliquer dans les centrales nucléaires :

- un guide national pour tous les prestataires (conditions d'accès au site nucléaire, règlement de sûreté et de radioprotection, rappel du zonage, formation obligatoire en radioprotection, etc.) ;
- des guides locaux élaborés par chaque centrale pour une intervention spécifique (plan du site, numéros de téléphone, questions les plus fréquemment posées sur l'organisation pratique du travail, signaux d'alerte, règlements de sûreté, radioprotection et environnement, déroulement et planification de l'arrêt de tranche, etc.).

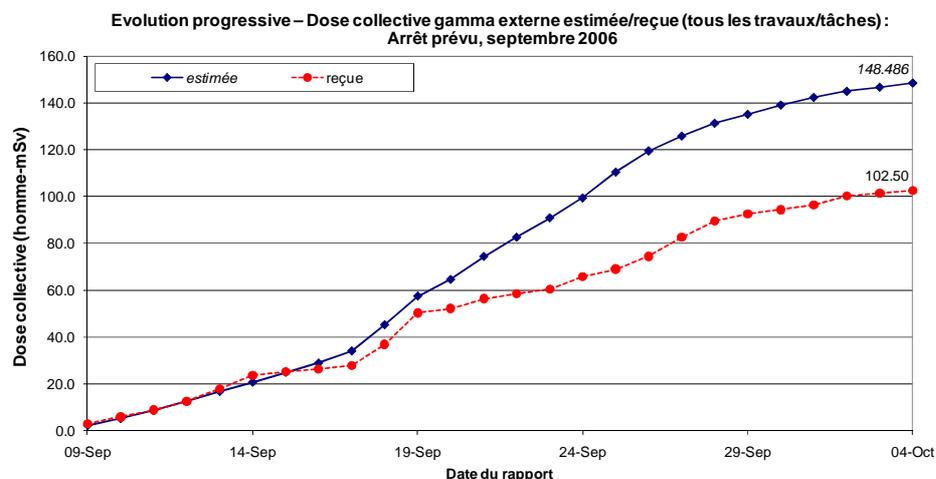
**Roumanie : indicateurs de performance – comptabilisation des doses et doses collectives (centrale de Cernavoda)**

Pour améliorer la performance de la centrale et des groupes de travail, des indicateurs de performance relatifs à la radioprotection ont été établis dans la centrale de Cernavoda : i) dose collective, ii) dose interne (pourcentage de la dose efficace collective), iii) nombre d'événements environnementaux signalés aux organismes de réglementation. Ils sont évalués deux fois par mois ou tous les mois ou tous les trimestres.

La sensibilisation sur la radioprotection dans la centrale et la responsabilité vis-à-vis des doses ont été accrues en affichant des informations spécifiques dans les zones de circulation principales : diagrammes, bulletins d'information sur les objectifs de radioprotection de la centrale, initiatives ALARA, politiques et procédures de radioprotection. En outre, avant un arrêt prévu, le personnel du service de radioprotection évalue tous les plans de travail impliquant des risques radiologiques. La valeur visée est fixée pour la dose collective externe pour chaque tâche et pour tout arrêt prévu. Chaque jour les interventions prévues sont imprimées et distribuées sous forme de graphiques et de rapports :

- dose collective (dosimètres d'alarme personnels, DAP) pour toutes les tâches (journalière et cumulée) ;
- dose collective (DAP) pour les tâches avec :
  - i) une dose estimée > 10 hommes-mSv,
  - ii) une dose estimée < 10 hommes-Sv et
  - iii) pour les activités courantes, de logistique (sans dose estimée) ;
- dose interne collective due aux incorporations de tritium.

### **Roumanie : indicateurs de performance – comptabilisation des doses et doses collectives (Suite)**



### **Suède : coopération avec les prestataires (centrale d'Oskarshamn)**

Dans la centrale d'Oskarshamn, lorsqu'un prestataire prépare des travaux pouvant impliquer une exposition individuelle et/ou collective importante, il doit calculer les estimations des doses prévues et les coûts et les incorporer dans le dossier fourni à l'exploitant pour l'évaluation du contrat. Pour faciliter le travail du prestataire et pour garantir l'exactitude des calculs, on lui fournit toutes les données nécessaires (photos, débits de dose, plans, etc.). Les résultats des calculs du prestataire sont examinés par le professionnel de la radioprotection chargé de suivre ces travaux. Le prestataire doit également expliquer comment la procédure proposée garantira le respect du principe ALARA pour les expositions. En suivant cette procédure, le prestataire comprend parfaitement le problème et est en mesure de proposer des solutions basées sur son retour d'expérience. Il en résulte un produit meilleur pour la centrale et des expositions plus faibles.

### **Autres mesures incitatives pour motiver et faire participer les intervenants**

Dans certains cas, des programmes incitatifs qui récompensent les bonnes performances ALARA peuvent être utilisés pour motiver les intervenants à réduire les doses. Ces programmes peuvent, par exemple, récompenser la meilleure équipe ou les bonnes performances en comparaison avec les résultats des arrêts précédents ou ceux de centrales de même type. Des primes accordées par l'entreprise peuvent renforcer le message que veut faire passer la direction aux travailleurs sur l'importance du travail bien fait. Bien que des primes et des mesures incitatives puissent être utilisées pour encourager le retour d'expérience des intervenants sur la réduction des expositions, des structures organisationnelles doivent être mises en place pour permettre et encourager la collecte systématique du retour d'expérience dans le cadre des processus de préparation et d'évaluation des travaux.

### **États-Unis et Japon : exemples de programmes incitatifs**

Aux États-Unis, certaines centrales ont mis en place des programmes de reconnaissance ALARA. Certains de ces programmes permettent aux intervenants de gagner des « dollars ALARA » pour l'achat de marchandises. Les récompenses peuvent également être des gadgets fournis par l'entreprise (casquettes, chemises, canifs), de bonnes places de parking ou des tickets-restaurant. L'avantage d'accorder des récompenses en nature plutôt que des primes financières réside dans la durée de l'effet positif sur l'attitude du travailleur et sur la culture ALARA de la centrale, car le travailleur se souvient plus longtemps de la récompense.

#### ***États-Unis et Japon : exemples de programmes incitatifs (Suite)***

Au Japon, dans certaines centrales de Tokyo Electric Power Company (TEPCO), des concours de bonnes pratiques pour l'organisation du travail et la réduction des doses et des déchets radioactifs solides ont lieu une ou deux fois par an depuis plus de dix ans. Plus de dix groupes issus des différents prestataires chargés de la maintenance participent à ces concours et sont accueillis par le responsable de la division Ingénierie de la centrale. Les participants font des exposés sur les bonnes pratiques et la direction de TEPCO décerne des prix aux meilleurs exposés. De même, la centrale Hamaoka de Chubu EPC a récompensé les bonnes pratiques de réduction de dose depuis 1994 pour motiver les travailleurs.

#### ***Fédération de Russie : concours professionnel des travailleurs en radioprotection***

En Russie, une façon de promouvoir l'éducation et la formation des travailleurs en radioprotection est le concours professionnel. Des concours de radioprotection sont organisés tous les trois ans par l'exploitant russe Concern Rosenergoatom. Les étapes préliminaires du concours ont lieu dans les centrales et font participer 20 à 30 travailleurs en radioprotection qui s'affrontent dans des disciplines théoriques et pratiques. Les trois meilleurs candidats de chaque centrale sont sélectionnés. Ils participent aux étapes finales du concours en sélection individuelle et par équipe. Les vainqueurs reçoivent des récompenses telles qu'ordinateurs portables, appareils photos numériques, etc. De plus, les travailleurs sont fortement motivés par le fait que la plupart des vainqueurs ont un brillant développement de carrière.

## **4.5 Résumé**

Bien que certains types de préparation et de réalisation des travaux puissent être effectués sans le retour d'expérience des travailleurs, leur implication à tous les niveaux est l'un des aspects les plus importants d'un programme d'organisation du travail efficace. S'il est impliqué dans la tâche à exécuter, l'intervenant sera plus susceptible d'être motivé pour effectuer les travaux au mieux de ses capacités, ce qui conduira à une réduction des doses et à une meilleure qualité du travail. Il faut ainsi créer les conditions pour susciter et favoriser la poursuite de cette implication. Il faut que les intervenants soient impliqués à tous les stades des travaux (préparation, planification, mise en œuvre et suivi) et qu'un mécanisme soit en place pour garantir l'adéquation entre les niveaux de compétence des personnes et les tâches à exécuter.

Il est également important d'améliorer les performances des intervenants pour la mise en œuvre du programme ALARA. Cela exige un niveau approprié de formation pour s'assurer que les intervenants possèdent les outils et les compétences adéquats. L'implication à tous les niveaux est également nécessaire : direction générale, cadres, contremaîtres, chefs d'équipe, etc. Une bonne communication entre les différents niveaux de la hiérarchie et entre les différentes disciplines doit être une priorité du management. Des programmes incitatifs pour les intervenants aideront à accroître et maintenir leur motivation et leur participation et devraient se rentabiliser en termes d'économie de temps, de réduction des doses et des coûts, et de l'amélioration de la qualité du travail.

## 5. PRÉPARATION ET PLANIFICATION DES TRAVAUX

*La phase de préparation et de planification est une période essentielle pour l'organisation du travail et l'optimisation de la radioprotection. Une attention particulière doit être portée à l'optimisation de la durée de l'arrêt. La planification des travaux doit intégrer les critères de radioprotection et utiliser l'expérience acquise pour s'assurer que les approches les plus efficaces sont mises en œuvre. Cette phase doit également intégrer les actions relatives à la préparation du personnel telles que les briefings avant les travaux ou la formation sur maquette pour améliorer les performances des travailleurs et réduire les expositions professionnelles.*

### 5.1 Introduction

Les activités dans les centrales nucléaires doivent être soigneusement préparées et planifiées pour garantir l'optimisation de la radioprotection. La préparation et la planification doivent prendre en compte non seulement les étapes des travaux mais aussi leur relation et leur nature pluridisciplinaire. La programmation des tâches les unes par rapport aux autres, l'identification des interférences potentielles et des dangers dans la zone de travail et l'identification des tâches à fortes doses sont essentielles pour la réussite des travaux et l'utilisation optimale des ressources. L'objectif de cette section est donc d'identifier les éléments clés de la préparation et de la planification permettant une exécution efficace des travaux et l'optimisation de la radioprotection. Les aspects techniques et opérationnels sont traités dans le chapitre 6.

### 5.2 Optimisation de la durée des arrêts de tranche

La recherche d'une durée optimale des arrêts est basée sur deux domaines d'actions principaux : le processus de sélection des travaux qui permet l'élimination de tous les travaux inutiles et, une fois les travaux sélectionnés, l'élaboration d'un calendrier serré. Ces deux aspects sont développés ci-après.

#### *Sélection des travaux*

La sélection des travaux à inclure dans un programme d'arrêt de tranche déterminera la durée de l'arrêt et influera sur la dose et le coût. La durée minimale de l'arrêt est déterminée par le temps pris pour suivre le chemin critique de l'arrêt : par exemple, dépressurisation du circuit primaire, ouverture du couvercle de cuve, déchargement du cœur, exécution des travaux, rechargement du cœur, fermeture du réacteur et repressurisation. Toute autre tâche s'ajoutant au chemin critique augmentera la durée de l'arrêt. Bien que des travaux supplémentaires puissent être nécessaires pour des réparations ou pour satisfaire aux exigences d'inspection réglementaires, tous les travaux autres que ceux du chemin critique de l'arrêt doivent être évalués et justifiés. Tous les travaux techniquement appropriés qui contribuent à la sûreté nucléaire et à la fiabilité des équipements doivent être programmés et exécutés car leur inexécution ou leur report peut conduire à des arrêts fortuits avec les coûts, les risques et les doses qui en découlent. D'autres modifications, de nouvelles installations ou des modifications des systèmes existants peuvent aussi être suggérées par ceux qui programment les travaux.

Comme tous les travaux doivent être évalués pour s'assurer qu'ils sont nécessaires, un critère essentiel sera la capacité à porter des jugements critiques sur la valeur des travaux proposés et à faire la distinction entre les travaux nécessaires et ceux qui sont facultatifs. Au sein de l'organisation, un

groupe pluridisciplinaire (distinct du comité ALARA) doit se réunir périodiquement pour effectuer ces évaluations en tenant compte des critères spécifiques à la centrale pour le programme de maintenance. Ce groupe doit statuer sur la pertinence des travaux en gardant présent à l'esprit que l'exécution de travaux inutiles représente un coût et est à l'origine de doses injustifiées.

Pour réduire la charge de travail lors d'une période d'arrêt de tranche, une maintenance préventive programmée (MPP) pendant le fonctionnement peut être envisagée. Toutefois, cette possibilité dépend de la conception des différents systèmes en fonction de leur redondance et diversité. Cette distinction doit notamment être faite pour les systèmes de sûreté. La prise en considération des systèmes pour lesquels une MPP peut être effectuée dépendra également des conditions radiologiques.

On peut également envisager d'élaborer une approche pluriannuelle pour les travaux qui concernent les améliorations à long terme, par exemple grâce à l'utilisation de pratiques de travail améliorées, de modifications techniques de la centrale. Une telle approche permet d'élaborer un plan de travail à long terme pour la mise en œuvre progressive des améliorations identifiées qui sont alors intégrées de manière structurée au programme de chaque arrêt.

***Suède : utilisation d'une maintenance préventive programmée lors du fonctionnement de la centrale***

Dans la centrale de Forsmark, une maintenance préventive programmée (MPP) des systèmes liés à la sûreté ne peut être effectuée que si les conditions suivantes sont remplies :

- les spécifications techniques autorisent une MPP particulière pour le système et fixent une durée ;
- un seul des quatre trains peut être concerné à un moment donné, les trois autres trains restant opérationnels ;
- le travail est effectué conformément aux directives opérationnelles ;
- si des composants défectueux (pour une raison imprévue) sont découverts pendant la MPP, des critères spécifiques doivent être remplis pour la réparation, comme indiqué dans les spécifications techniques ;
- dans le cas où des composants défectueux sont découverts dans un système similaire à celui sur lequel s'effectue la MPP, des critères spécifiques doivent être remplis pour la réparation, comme indiqué dans les spécifications techniques ;
- le mode de fonctionnement du réacteur peut être changé pendant la MPP ;
- la MPP peut être effectuée pendant une durée totale maximale de 60 jours par an.

***Programmation des travaux***

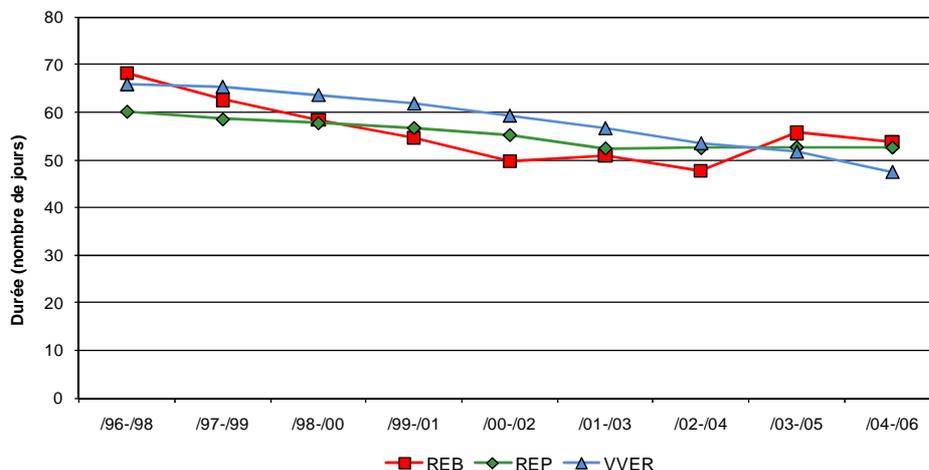
Lorsque tous les travaux et les plannings correspondants sont connus, les problèmes potentiels peuvent être anticipés lors de la phase de planification et des mesures correctives peuvent être prises pour optimiser le planning des travaux. Lors de l'établissement du planning global, il est important de se rappeler qu'une tâche prendra souvent tout le temps qui lui est imparti dans le planning. Avec un planning peu dense, les travaux et tâches seront susceptibles de prendre plus de temps qu'avec un planning optimal. Il est donc possible grâce à une simple optimisation du planning de gagner du temps et de réduire les doses et les coûts. Il convient également de tenir compte du fait que, si un arrêt est prolongé à cause d'une seule tâche, les doses seront plus importantes car les autres tâches progresseront plus lentement. Dans le cas où une tâche non prévue provoquerait un retard important (pièces de rechange non livrées à temps, par exemple), des efforts doivent être fournis pour reporter la tâche à un arrêt ultérieur. Ceci est vrai si le système peut être laissé en l'état sans compromettre la sécurité et si l'autorité de sûreté donne son aval en se basant sur les prévisions de réduction de dose.

***Durée des arrêts de tranche***

La recherche d'une durée d'arrêt optimale basée sur la sélection des travaux et un calendrier optimal a été couronnée de succès dans la plupart des centrales et pour tous les types de réacteurs. La figure 4 montre l'évolution de la moyenne sur trois ans de la durée d'un arrêt pour des REP, REB et VVER (ISOE, 2008). En moyenne, la durée des arrêts est actuellement d'environ 50 jours.

Plusieurs centrales sont en train d'expérimenter la mise en œuvre d'arrêts de courte durée consacrés uniquement au rechargement avec seulement quelques travaux de maintenance (par exemple, arrêt de 7 jours dans la centrale d'Olkiluoto, Finlande) suivis l'année d'après d'un arrêt plus important où tous les travaux de maintenance sont effectués.

Figure 4. **Durée moyenne d'un arrêt par type de réacteur**



**Finlande et France : types d'arrêts et durées**

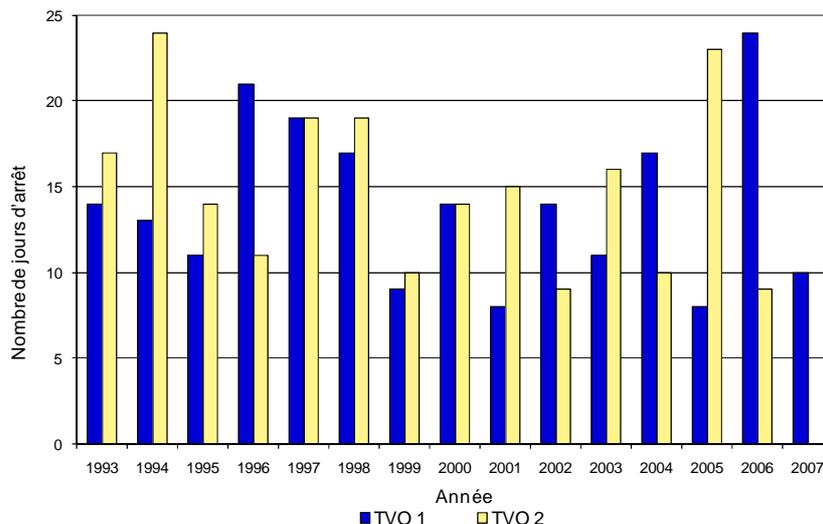
En Finlande, les types d'arrêts programmés dans la centrale de Loviisa sont :

- arrêt de courte durée pour rechargement : durée prévue 18 jours (toutes les ans) ;
- arrêt pour rechargement normal : 24 jours ;
- arrêt pour inspection : 34 jours (tous les quatre ans) ;
- arrêt pour inspection prolongé : 42 jours (tous les huit ans).

La politique d'arrêt dans la centrale d'Olkiluoto est la suivante :

- arrêt de courte durée pour rechargement : 7 jours ;
- arrêt long pour maintenance : 14 à 21 jours (normal, long) ;
- arrêts annuels après chaque arrêt à court intervalle.

**Durée des arrêts dans les centrales d'Olkiluoto**



#### ***Finlande et France : types d'arrêts et durées (Suite)***

En France, il existe trois types d'arrêts pour les centrales EDF :

- arrêt de courte durée pour rechargement : 3 à 4 semaines environ ;
- arrêt normal pour maintenance : environ 6 semaines ;
- arrêt décennal pour maintenance : environ 14 semaines.

Il y a un roulement entre les arrêts normaux et longs ; le délai entre 2 arrêts est habituellement de 12 mois pour les centrales 900 MWe et de 18 mois pour les centrales 1 300 MWe.

### **5.3 Processus de préparation des travaux**

#### ***Préparation des travaux***

Traditionnellement, il existe trois types de travaux pour les arrêts pour rechargement : i) travaux planifiés ii) travaux fortuits qui ne sont pas prévus à l'avance et peuvent donc causer des retards, et iii) travaux urgents.

#### ***Travaux planifiés***

Une préparation efficace des travaux est essentielle pour optimiser la radioprotection et minimiser les coûts de fonctionnement et de maintenance. Il est important non seulement pour la préparation des arrêts de tranche, mais aussi pour les travaux tranche en marche, de s'assurer que les coûts et les doses sont optimisés. La préparation intégrée des opérations permet un examen approprié des travaux en zone contrôlée et offre la possibilité de prendre en compte les contrôles nécessaires dans les dossiers.

Une approche du processus de préparation intégrée des travaux consiste à assigner aux préparateurs de maintenance, plutôt qu'au personnel de radioprotection, la responsabilité de la préparation de la radioprotection jusqu'au niveau de la tâche. Cela place la responsabilité entre les mains des cadres intermédiaires plus proches du travail lui-même et encourage la communication interdisciplinaire. Dans le cadre de l'équipe de préparation pluridisciplinaire, il est essentiel, pour maintenir l'implication du personnel de radioprotection dans ce processus, de fournir : les données d'entrée relatives aux conditions radiologiques aux postes de travail, le retour d'expérience quant à la sélection des prestataires et des matériaux, et les évaluations des procédures ALARA. Cette approche est actuellement utilisée dans de nombreuses centrales nucléaires dans le monde entier.

Un point important pour l'équipe de préparation est la prise en compte du retour d'expérience et l'incorporation de mesures correctives dans le processus de préparation (voir aussi chapitre 8). Les préparateurs doivent utiliser les meilleures informations obtenues auprès des centrales de même type (« sister-unit ») sur le terme source, la durée et la taille des effectifs pour la préparation de travaux similaires. Des informations non-optimales peuvent conduire à des protections supplémentaires, du temps supplémentaire, etc.

L'emplacement physique de l'équipe de préparation des travaux est également un facteur de réussite pour le processus de préparation. Bien qu'une grande partie de la communication puisse se faire électroniquement, réunir les préparateurs en un seul endroit ouvre des voies de communication et permet des interfaces plus efficaces. Pour renforcer la nature pluridisciplinaire de l'organisation du travail, la plupart des centrales ayant incorporé avec succès l'aspect radioprotection dans leur processus de préparation ont également intégré le personnel de radioprotection dans l'organisation de préparation de l'arrêt de tranche.

### *Travaux fortuits et urgents*

Les travaux fortuits sont les réparations d'équipements et les travaux non précédemment identifiés ou prévus dans le cadre du programme d'arrêt et découverts en cours d'arrêt (travaux non prévus nécessaires pour réparer une fissure d'un sécheur de REB découverte après l'arrêt de la tranche et démontage du couvercle de cuve, par exemple). Les travaux urgents se rapportent aux nouveaux problèmes identifiés une fois l'arrêt commencé qui augmentent l'étendue des travaux (nécessité de boucher des tubes de générateur de vapeur suite aux résultats des essais par courant de Foucault, par exemple).

Dans les deux cas, les centrales doivent définir à l'avance la politique à adopter en cas d'identification de travaux fortuits ou urgents au cours de l'arrêt. Cela peut consister, par exemple, à décider si les travaux identifiés doivent être effectués immédiatement pendant l'arrêt ou reportés à l'arrêt suivant, ou à inclure dans le planning/budget l'éventualité d'entreprendre ces travaux nécessaires.

### *Aspects radioprotection de la planification des travaux*

Un examen minutieux du planning des travaux est important pour maintenir les doses aussi faibles que raisonnablement possible. La majorité des travaux de maintenance impliquant des doses importantes est effectuée lors de l'arrêt pour rechargement des REP et REB et lors des arrêts pour maintenance des réacteurs CANDU : dans la plupart des zones, les débits de dose sont alors bien inférieurs à ceux mesurés lors du fonctionnement du réacteur. Une autre possibilité est de réaliser les travaux de maintenance lors des baisses de puissance utilisées pour effectuer les réglages des séquences de grappes de commande : dans ce cas, les débits de dose sont diminués, notamment dans les zones affectées par la vapeur des REB.

Planifier des travaux pendant une période particulière de l'arrêt est également important. Il est possible d'économiser des doses sans aucun frais en plaçant les travaux dans un ordre optimal et en les effectuant au bon moment. Par exemple, si le planning n'exige pas que les travaux sur les systèmes radioactifs soient effectués immédiatement au début de l'arrêt, ils doivent être programmés à une date ultérieure lorsque les débits de dose sont inférieurs. La purification du réfrigérant et la décroissance radioactive naturelle contribuent à cet effet. En outre, les travaux doivent être programmés, chaque fois que cela est possible, pendant des périodes où les circuits sont remplis d'eau. Même si l'eau est contaminée, elle absorbe le rayonnement. Le débit de dose à la surface d'un tuyau, d'une vanne ou d'une pompe est presque toujours inférieur lorsque le circuit est plein. On admet habituellement que la présence d'eau réduit le débit de dose d'environ 30 %. Ceci est essentiel pour les travaux effectués à proximité de tuyaux (travaux concernant le calorifugeage, la pose de protections biologiques et les échafaudages, par exemple). Le rinçage des circuits, lorsque cela est possible, peut également contribuer à réduire les doses en éliminant les points chauds ou les dépôts.

Lors de la planification, il est important d'avoir une idée précise de tous les travaux à effectuer dans une zone et de la relation entre les différents travaux. Pour tirer profit des dispositions prises pour les autres travaux sur le point de commencer, en cours ou récemment terminés, pour éviter les situations où des travaux créent un problème de rayonnements pour les équipes travaillant à proximité ou pour éviter les zones encombrées qui diminuent la sécurité et le rendement, les planificateurs doivent envisager une planification basée sur le temps, les ressources ou les zones :

- la planification basée sur le temps est le planning classique : il s'agit d'affecter des périodes de temps aux différents travaux prévus dans le planning général d'arrêt de tranche. Le planning prend en compte les problèmes de planification y compris les travaux du chemin critique, la nécessité de maintenance sur l'enceinte secondaire, la décroissance des gaz rares à courte période et le créneau de déplacement du combustible ;

- la planification basée sur les ressources vise à tirer profit des dispositions locales ou de l'infrastructure pour plusieurs activités, réduisant ainsi les doses et les coûts (par exemple, réutilisation de sas ou d'échafaudages précédemment montés pour plusieurs tâches) ;
- la planification basée sur les zones évalue le type et la concentration de travaux dans des secteurs définis. Elle s'effectue en divisant les zones de travail en grilles représentant les différents types de travaux qui peuvent se chevaucher pour permettre aux planificateurs et aux contremaîtres de représenter visuellement tous les travaux dans chaque secteur de grille. Cela peut s'effectuer à l'aide de systèmes informatisés ou de plans topométriques.

### ***Outils de préparation des travaux***

Des outils d'imagerie avancés fournissent une bonne référence visuelle pour les préparateurs des travaux, la préparation de la radioprotection avant travaux et les réunions de pre-job briefing. De nombreuses centrales ont identifié le besoin d'enregistrer et d'avoir à disposition des images des différentes zones de la centrale et des composants qui ne sont pas accessibles à cause du fonctionnement de la centrale et/ou en raison de niveaux élevés de débits de dose. Une base de données d'images centralisée fournit des informations pertinentes pour préparer les travaux, minimiser les inspections visuelles et réduire les efforts individuels redondants et incohérents fournis par différents groupes pour faire des photos ou des enregistrements vidéo des composants sélectionnés chaque fois que des travaux sont en cours de préparation. Comme de nombreux ingénieurs photographient régulièrement les éléments de la centrale avec des appareils photos numériques, ces fichiers doivent être nommés et stockés de manière appropriée dans un système centralisé de gestion des informations pour éviter d'avoir à rephotographier les éléments lors de la préparation de la série de travaux suivante.

Les outils d'imagerie avancée suivants sont utilisés dans le monde entier pour mieux visualiser et évaluer les zones de travail et mieux prendre en compte les contraintes environnementales potentielles qui peuvent avoir un impact sur l'exécution des travaux :

- matériel multimédia informatique ;
- système de stockage sur disque vidéo et de récupération des images ;
- vidéo et photographie numérique ;
- technologie de transmission d'images ;
- photogrammétrie :
  - photographie du champ de rayonnements par caméra gamma ;
  - détecteur CZT (Cd, Zn, Te) (analyse gamma multispectre).

Il est particulièrement important d'utiliser ces technologies et de collecter ces informations lors de la mise en service de nouvelles centrales.

Dans les centrales où ont été installés des systèmes de télésurveillance, les vidéos enregistrées par ces systèmes peuvent être utilisées lors de la phase de préparation. En outre, de nombreuses centrales ont utilisé des modèles CAO 3-D lors de la phase de conception. Des centrales plus anciennes utilisent également des techniques informatiques 3-D et des systèmes de balayage laser pour caractériser et vérifier l'environnement réel de la centrale et minimiser le temps de travail. Ces outils doivent être utilisés pour la préparation des travaux lorsqu'ils sont disponibles.

**Allemagne : système d'images 3-D (centrale de Phillipsburg)**

Du fait des débits de dose très élevés pendant le fonctionnement à pleine puissance, il n'est pas possible d'accéder à de nombreuses zones à l'intérieur des zones contrôlées ou seulement de façon limitée. Les évaluations techniques dans ces zones sont très difficiles à effectuer. Une possibilité de minimiser l'accès aux zones à fort débit de dose est un « système d'information sur les locaux » spécifique. Ce programme informatique se compose d'une version 3-D des locaux qui dans les circonstances normales sont des zones non accessibles à l'intérieur de la centrale. Les évaluations techniques peuvent, dans de nombreux cas, être faites de manière « virtuelle » sans exposition inutile à des débits de dose élevés. Pour rendre opérationnel ce système, des relevés laser 3-D de ces zones ont été effectués lors des arrêts antérieurs. Dans ces fichiers de relevés laser, les distances pour les options de préparation peuvent être mesurées avec une précision d'environ 2 à 3 cm pour une distance de 10 m.

**Espagne : base de données cartographiques (centrale d'Almaraz)**

Dans la centrale d'Almaraz, le département de l'environnement et de la radioprotection possède une base de données cartographiques complète couvrant les caractéristiques radiologiques des deux tranches : 300 cartes des locaux sont informatisées et indiquent pour chaque zone les débits de dose enregistrés en 3 à 10 points de mesure (ambiants et au contact avec les équipements) en fonction des différents états de la tranche avant et pendant les arrêts de la tranche. La base de données peut être consultée depuis le local de radioprotection à l'entrée de la zone contrôlée.

**France : logiciel de modélisation 3-D**

EDF a développé deux principaux types de logiciels de modélisation 3-D qui peuvent être utilisés pour la préparation des travaux :

- PANTHERE-RP : simulation statique des zones présentant les débits de dose des principaux composants. Ce logiciel est utilisé pour estimer la contribution de chaque composant au débit de dose ambiant en vue d'optimiser les protections biologiques et pour la conception de nouvelles installations et de modifications.
- ADRM : simulation dynamique où les tâches peuvent être simulées dans le temps et dans l'espace. Avec ce logiciel, il est possible de simuler la façon dont les gros composants peuvent être retirés et remplacés (échangeurs de chaleur, par exemple). Les modèles des zones sont basés sur les données réelles tirées du relevé laser sur place.

**Royaume-Uni : fiches de renseignements sur la radioprotection (centrale de Sizewell B)**

Sizewell B a élaboré des fiches d'informations de radioprotection « Health Physics Information Sheets » qui contiennent une photo de la vanne, de la soudure ou du composant concerné, une carte indiquant où se trouve l'élément dans la centrale, un bref résumé des conditions radiologiques locales pour différents états de la centrale et des conseils sur les créneaux de travail optimaux pour minimiser la dose. Prévue à l'origine pour aider les équipes à trouver l'emplacement du travail, elles sont très utilisées par les ingénieurs pour planifier les travaux.

**Effectifs et gestion des équipes de travail**

La taille de l'équipe requise pour effectuer une tâche donnée dépend de l'étendue de la tâche ainsi que de facteurs liés au lieu de travail. L'effectif optimal d'une équipe est le plus petit nombre de travailleurs nécessaire pour effectuer les travaux en respectant les procédures de travail et le planning. En général, plus le nombre de travailleurs est restreint, plus la dose collective est faible. Par exemple, si le nombre de travailleurs est doublé, la durée individuelle du travail sera plus courte mais elle ne sera pas diminuée de moitié. Ajouter des travailleurs augmentera le nombre total d'heures de travail ce qui augmentera la dose collective et le coût. Il faut donc, en général, affecter à un chantier le nombre minimum nécessaire de travailleurs compte tenu de la nécessité de ne pas dépasser les contraintes de dose imposées et de l'impact des autres facteurs liés au lieu de travail comme le bruit et la chaleur.

Les changements d'intervenants sont un autre exemple de la façon dont la dose collective augmente avec le nombre de travailleurs. La dose reçue lors d'un chantier est le cumul de trois

phases : 1) les doses reçues lors du transit jusqu'au lieu de travail, en s'orientant et en préparant le chantier 2) les doses reçues lors de l'exécution du travail et 3) les doses reçues à la fin du chantier en sécurisant le lieu de travail, en retirant les équipements de protection et en quittant le lieu. La dose lors de la phase 2 est relativement constante et indépendante du nombre de travailleurs mais les doses reçues au cours des phases 1 et 3 augmentent lors de chaque changement de travailleurs ou d'équipe. Les changements de travailleurs ne doivent être utilisés que lorsque cela est nécessaire pour maîtriser les doses individuelles ou pour gérer d'autres facteurs liés au lieu de travail.

### ***Sélection des prestataires***

La plupart des travaux lors des arrêts sont souvent effectués par des prestataires ; il est donc important d'avoir un processus permettant d'identifier et de sélectionner les prestataires appropriés en se basant sur les travaux à effectuer. Cette sélection doit être basée sur plusieurs critères y compris les méthodes proposées par les prestataires pour optimiser la radioprotection pendant les travaux et leurs performances antérieures. L'interaction entre l'exploitant et le prestataire étant l'un des moyens les plus efficaces d'optimiser la conception des travaux, il est important que le prestataire participe à la phase de conception suffisamment tôt avant le début des travaux (voir également chapitre 4). Pour la sélection des prestataires, il est ainsi utile de savoir qui avait été sélectionné précédemment et quel avait été son degré de réussite.

#### ***France : expérience relative à la sélection des prestataires***

Au stade de la préparation de nouvelles opérations de maintenance, EDF sélectionne le prestataire en se basant sur plusieurs critères dont la démonstration qu'il a fait une étude pour optimiser la radioprotection des chantiers (temps, doses, coûts). Une fois le prestataire sélectionné, plusieurs réunions obligatoires d'échange d'informations entre le prestataire et l'exploitant ont lieu pour poursuivre la conception des chantiers. Les documents que les prestataires doivent présenter incluent : une analyse des risques radiologiques (exposition externe et interne, transfert de contamination, etc.) et une procédure de radioprotection.

## **5.4 Systèmes de contrôle des procédures de travail**

Les contrôles des procédures de travail sont essentiels pour la réussite des arrêts. Les systèmes informatisés de contrôle des procédures aident au processus de préparation en fournissant des informations relatives au travail, y compris le processus d'autorisation des différents départements ainsi que les exigences relatives à la planification et au lieu de travail. Ils peuvent également servir d'outils pour les équipes en fournissant des conseils et des informations sur l'état des opérations à tous les groupes concernés (voir chapitre 7). Une aide peut aussi être apportée par les informations fournies par une base de données de radioprotection incluant les débits de dose et autres paramètres ayant une influence sur les risques radiologiques.

Un tel système est très utile lors de la phase de préparation et pour traiter les travaux fortuits. L'expérience dans la plupart des centrales montre que, même dans le cas de travaux de haute priorité non prévus, il doit exister une stratégie de préparation ad hoc pour garantir de bons résultats et éviter les reprises. Les systèmes informatisés facilitent et accélèrent la préparation et peuvent également inclure les permis de travail radiologique en utilisant la même base de données (conditions de travail, site, composant) et en incorporant les informations provenant d'opérations similaires effectuées dans le passé.

### ***Permis de travail radiologique lors de la préparation des travaux***

Le permis de travail radiologique est habituellement un document écrit et approuvé établissant toutes les mesures de radioprotection nécessaires pour exécuter en toute sécurité une activité ou un travail spécifique considéré comme un « travail sous rayonnements » et traitant les aspects relatifs aux

déchets radioactifs concernant l'activité. Ces permis, délivrés aux intervenants par le personnel de radioprotection avant le début du travail, contiennent habituellement les informations suivantes : date et heure du chantier, nombre de travailleurs, description du travail, dose prévue, débits de dose, niveaux de contamination surfacique et atmosphérique, équipements de protection nécessaires, protection biologique, type de contrôle radiologique pour le chantier, etc.

L'utilisation du permis de travail présente plusieurs avantages. Premièrement, leur élaboration oblige à prévoir la radioprotection qui sera nécessaire. En outre, le personnel de radioprotection est informé de tous les travaux prévus dans la zone contrôlée et peut surveiller l'avancement des travaux pendant l'arrêt. Sur le terrain, les informations contenues dans le permis aident les chefs d'équipe et les intervenants à connaître les conditions radiologiques sur le site de travail. Le permis de travail radiologique peut également servir à contrôler (et donc limiter) les entrées, en particulier si la date d'expiration du permis est lue automatiquement lorsque les intervenants pénètrent dans la zone. Enfin, il peut être utilisé comme base de données pour collecter les doses associées à des travaux spécifiques (voir également section 7.3).

***France : logiciel PREVAIR***

En France, EDF a développé le logiciel PREVAIR pour l'élaboration des prévisionnels dosimétriques associés à chaque chantier. À la fin de la phase de préparation, ce logiciel permet d'imprimer un « régime de travail radiologique » (RTR) comportant les informations suivantes :

- dose collective prévue pour le chantier ;
- dose individuelle moyenne prévue pour le chantier et par jour ;
- débits de dose prévus sur le lieu de travail ;
- mesure de radioprotection à mettre en œuvre ;
- instructions spécifiques à observer si le débit de dose réel ou la dose collective réelle diffère de manière significative des valeurs prévues.

Un code-barres associé à chaque RTR sert à contrôler l'entrée en zone contrôlée (si le code n'est pas reconnu par le système, l'entrée est refusée), à modifier les alarmes fixées sur les dosimètres et à affecter la dose au bon chantier dans la base de données des doses d'arrêts de tranche lorsque le travailleur quitte la zone contrôlée.

***Roumanie : système de permis de travail radiologique (centrale de Cernavoda)***

Dans la centrale de Cernavoda, les analyses des permis de travail radiologiques avant et après chantiers sont réalisées par tous les métiers et par le comité ALARA. Le personnel du département de radioprotection vérifie le respect des exigences de radioprotection telles que mentionnées dans le permis. Les permis avec une dose collective estimée supérieure à 10 hommes-mSv seront examinés par les coordinateurs ALARA des métiers afin d'identifier les possibilités de réduction des expositions. Si nécessaire, ce formulaire sera envoyé pour examen au comité technique ALARA (pour les activités dont la dose collective estimée est supérieure à 20 hommes-mSv). Une fois le chantier terminé, un rapport sur les permis de travail radiologique sera envoyé aux coordinateurs ALARA des métiers pour justifier, si nécessaire, les écarts entre les doses reçues et les doses prévisionnelles.

## **5.5 Préparation des chantiers pour les travaux dosants**

### ***Identification et suivi des travaux dosants***

Les travaux dosants sont ceux qui devraient prioritairement être inclus dans le système de contrôle de la radioprotection. Il est donc nécessaire de les identifier dans le cadre de la préparation des travaux, de mettre en place des processus de suivi pour garantir que la protection des travailleurs est optimisée, que les limites de dose ne sont pas dépassées et d'élaborer des procédures d'urgence en cas d'événements imprévus lors du chantier. À titre d'exemple, le tableau 2 dresse la liste des travaux dosants dans les réacteurs à eau légère.

Tableau 2. **Travaux dosants dans les réacteurs à eau légère**

<i>Dix principaux travaux dosants</i>	
Maintenance des mécanismes de commande de grappes* Inspection en service Maintenance des vannes d'isolement vapeur Maintenance des vannes du pressuriseur Maintenance des pompes de purification de l'eau primaire Maintenance et remplacement des pompes de recirculation	Maintenance des vannes du système d'évacuation de la chaleur résiduelle Maintenance des soupapes de sûreté Étalonnage et réparation des : <ul style="list-style-type: none"> <li>• détecteurs de rayonnements in-core ;</li> <li>• sondes traversantes in-core (TIP)</li> </ul>
<i>Autres travaux dosants</i>	
Décontamination de la piscine Maintenance du circuit de contrôle chimique et volumétrique Démontage et remplacement des calorifuges Étalonnage et réparation de l'instrumentation Test du taux de fuite local Programmes de surveillance du fonctionnement et alignement des vannes Modifications de la centrale Maintenance du circuit des effluents radioactifs Traitement, stockage, expédition des déchets radioactifs Maintenance des pompes primaires Travaux sur le couvercle de cuve Rechargement	Maintenance des échangeurs de chaleur Installation et démontage des échafaudages Inspection et réparation du dispositif autobloquant Maintenance des générateurs de vapeur Remplacement des générateurs de vapeur Étalonnage et réparation des : <ul style="list-style-type: none"> <li>• analyseurs de la gamme de puissance (PRM) ;</li> <li>• analyseurs de niveau source (SRM)</li> </ul> Inspection et réparation du tore Dépôt de soudure sur le circuit de recirculation

\* Certaines centrales sous-traitent ces travaux à un prestataire.

Une approche utile pour tirer profit des nombreuses années d'expérience collective de l'industrie nucléaire pour les travaux critiques est d'utiliser la base de données sur les expositions professionnelles d'ISOE et son réseau de communication pour comparer la dose collective d'un chantier à celle observée dans d'autres centrales dans le monde. Un exemple de rapport d'information RP que l'on peut trouver sur le site Web du réseau ISOE ([www.isoe-network.net](http://www.isoe-network.net)) est présenté dans l'annexe 2.

### **Préparation ALARA pour les travaux dosants**

Bien qu'une recherche de réduction des doses doive être effectuée pour tous les chantiers, il est particulièrement important d'effectuer une analyse ALARA détaillée et systématique en termes de doses collectives et/ou individuelles pour les travaux à fortes doses. Ce type d'analyse doit inclure une analyse systématique de toutes les mesures possibles à disposition pour réduire les expositions. Habituellement, des check-list ALARA sont utilisées par les préparateurs des travaux pour identifier les actions de protection possibles et/ou les possibilités de réduction des doses (voir annexe 3). La liste ci-dessous donne quelques exemples de questions pouvant être incorporées dans des check-list plus détaillées :

- La durée planifiée est-elle suffisante et optimale ?
- Quels sont les services de logistique nécessaires et quand (échafaudages, protections biologiques, travaux sur calorifuges, etc.) ?
- La main-d'œuvre est-elle suffisante et optimale ?
- À quelles doses peut-on s'attendre (en se basant sur l'expérience de la centrale et des autres sites) ?

- Y a-t-il un autre composant similaire qui pourrait être inspecté à la place du composant « chaud » prévu à l'origine ?
- Le composant devant faire l'objet d'une réparation ou d'une maintenance peut-il être amené à un autre endroit où le débit de dose ambiant est plus faible ?
- Quel équipement de protection individuelle doit être utilisé ? Quelle était la méthode utilisée avant et quels étaient ses avantages ?
- Quelles techniques de réduction de dose peuvent être utilisées (par exemple, rinçage du circuit) ? Quelle était la méthode utilisée avant et quel était le résultat ?
- Quel prestataire a été employé la dernière fois ? Essayez d'avoir le même prestataire et éventuellement les mêmes travailleurs s'ils avaient fait du bon travail. Ils savent quoi faire et comment le faire.

***Canada : mise en œuvre d'une surveillance radioprotection (centrale de Pickering B)***

Dans la centrale de Pickering B, l'organisme responsable des procédures nucléaires de la centrale exige que, dans le cadre des procédures à haut risque radiologique, une surveillance radioprotection soit affectée à chaque chantier. La surveillance RP est effectuée par un coordinateur de la radioprotection expérimenté et qualifié ou par un spécialiste en radioprotection de la centrale. Le surveillant RP ne participe pas activement à l'exécution du chantier mais le supervise au fur et à mesure de son avancement. La tâche du surveillant RP est de garantir un strict respect des procédures de la centrale et des procédures pour les travaux à haut risque et, en tant qu'observateur impartial, prévoir les écarts procéduraux ou opérationnels et fournir ces informations aux travailleurs.

***France : identification des travaux à fortes doses ; calorifugeurs***

En France, une analyse des risques détaillée et systématique doit être effectuée avant tous les chantiers. Cette analyse doit examiner le risque d'exposition externe (exposition aux neutrons potentielle, doses d'extrémités, etc.), d'exposition interne (présence potentielle de particules alpha, etc.) et de contamination des matériaux. Une telle analyse est essentielle pour l'identification des chantiers à fortes doses et des autres risques.

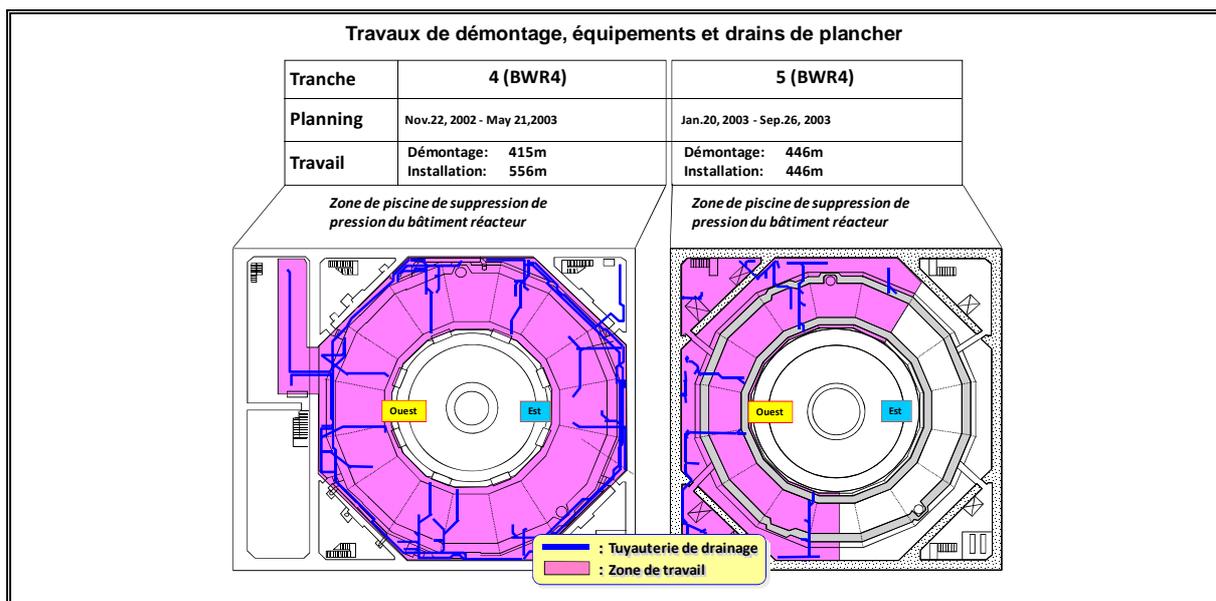
Parmi les travailleurs d'EDF, les calorifugeurs reçoivent la dose individuelle moyenne la plus élevée. Le projet ALARA de la division du parc nucléaire travaille sur ce problème depuis plusieurs années et a obtenu des résultats encourageants : en 1997, un ensemble de « bonnes pratiques » a été établi pour minimiser l'exposition au rayonnements de cette catégorie de travailleurs particulière. Ces bonnes pratiques énoncent les mesures à prendre pour minimiser la dose (type de calorifuge, écrans à utiliser pour chaque composant, temps de travail, etc.). Une fois cette approche mise en œuvre, la dose individuelle annuelle moyenne a chuté de 6,45 hommes-mSv en 1998 à 3,84 hommes-mSv en 2005, soit une diminution de 40 %. Pour obtenir d'autres améliorations, cette approche purement basée sur les équipements doit maintenant être suivie d'une action « en profondeur » en apportant des modifications au travail.

***Japon : réduction des expositions (centrale de Fukushima Daiichi)***

Le remplacement de la tuyauterie de drainage des tranches 4 et 5 de Fukushima Daiichi a été effectué en présence de forts débits de dose. Pour réduire les doses, les mesures de réduction des expositions suivantes ont été prises :

- rinçage des tuyaux ;
- installation de protections radiologiques temporaires ;
- traitement de l'eau de purge (tranche 4) ;
- mise en œuvre de télédosimètres.

En ce qui concerne le contrôle à distance des débits de dose, les travailleurs ont porté des dosimètres d'alarme personnels sans fil en plus du dosimètre personnel habituel. En outre, des mesures ont été prises pour contrôler les dosimètres portés sous les vêtements de protection sur les tenues de base.



## 5.6 Analyses comparatives

Un bon usage des données disponibles et de l'expérience opérationnelle pour la préparation des travaux optimisera la radioprotection des travailleurs et augmentera les performances globales des travaux réalisés. De nombreuses sources d'informations peuvent être utilisées comme les rapports de fin d'intervention, les évaluations critiques des arrêts de tranche et les check-list d'actions permettant la réduction des expositions. Les préparateurs ont également à leur disposition d'autres ressources précieuses telles que les fichiers d'archives des chantiers, les bibliothèques de photos, les bases de données d'information et les autres centrales ayant déjà effectué des travaux similaires (voir également chapitre 8).

Les comparaisons avec les données historiques permettent d'identifier les bonnes pratiques et de les prévoir leur mise en œuvre. Une comparaison qui tire profit non seulement des informations historiques mais aussi de l'expérience actuelle des autres centrales est un élément essentiel d'une préparation efficace et d'une bonne performance. La comparaison permet non seulement d'échanger des données numériques mais aussi, grâce à la mise en réseau qui permet le contact entre les centrales, d'échanger des pratiques de travail, des équipements et des technologies. Ce partage et cette mise en commun de l'expérience entre centrales nucléaires sont des facteurs importants pour minimiser la durée des arrêts car les tâches clés sont souvent exécutées par les mêmes prestataires. S'ils peuvent adopter des pratiques similaires dans toutes les centrales, leur tâche sera plus facile et plus rapide que s'ils doivent apprendre une nouvelle façon de travailler dans chaque centrale.

L'échange d'informations avec les autres centrales à l'aide des réseaux d'utilisateurs régionaux ou mondiaux tels que les réseaux subventionnés par l'industrie, les groupes d'utilisateurs ALARA et le programme mondial ISOE est un des meilleurs moyens de partager les bonnes pratiques et l'expérience ALARA. Cet échange dans toute l'industrie nucléaire a été universellement approuvé et bien soutenu, en particulier grâce à des programmes tels que le programme ISOE. La participation à des réunions de groupes d'exploitants permet d'échanger les informations sur les doses, les leçons apprises et les questions réglementaires spécifiques aux centrales. Les exploitants peuvent également envoyer leur personnel visiter d'autres installations et comparer leurs procédés avec ceux considérés comme les leaders du secteur ou tirer des leçons des problèmes rencontrés dans ces centrales. Une méthode pratique et économique pour collecter des informations utiles est la communication par téléphone ou e-mail avec les autres centrales nucléaires.

Les procédures, les documents de formation et les collègues de travail peuvent fournir des informations détaillées spécifiques à la centrale utile pour la préparation de la radioprotection. Les personnes sont parfois une des sources d'informations les plus fréquemment négligées et inexploitées. L'identification des bonnes personnes à contacter pour certaines informations prend généralement du temps mais devient plus facile au fil des mois et des années.

#### ***ISOE : analyses comparatives internationale avec ISOE***

Le programme ISOE qui gère la plus grande base de données du monde sur les expositions professionnelles des travailleurs dans les centrales nucléaires peut fournir différents types d'analyses de tendance pour les doses, par type de travail et par groupe de centrales du même type (sister-unit group). Les données suivantes sont incluses dans la base : les expositions professionnelles annuelles pour chaque tranche (fonctionnement normal, arrêt pour rechargement/maintenance, arrêt forcé), la distribution des doses annuelles individuelles pour chaque tranche ou site, les expositions spécifiques à certains métiers, les informations sur la configuration des centrales (procédures de démarrage/arrêt, chimie de l'eau, programmes ALARA, etc.) et des informations spécifiques sur des tâches particulières, travaux, incidents, etc., intéressantes du point de vue de la réduction des expositions.

Le site Web du réseau ISOE ([www.isoe-network.net](http://www.isoe-network.net)) constitue un centre de liaison pour les ressources ISOE (base de données ISOE, rapports ISOE, forum utilisateur pour l'échange en ligne d'informations, coordonnées des personnes à contacter pour les membres ISOE du monde entier). ISOE organise également des symposiums ALARA annuels dans les quatre régions d'ISOE pour permettre des interactions directes et l'échange d'expériences entre les professionnels de la radioprotection.

#### ***États-Unis : base de données historiques ALARA***

Le centre technique Nord Américain ISOE possède une base de données contenant l'historique des expériences et bonnes pratiques ALARA (1962-1986, compilée par Brookhaven National Laboratory dans le cadre d'un contrat NRC – transmise au NATC en 1995), créée à partir d'informations tirées d'articles de journaux et de comptes-rendus et indexées par mots-clefs.

#### ***Japon : analyses comparatives***

Les représentants des exploitants japonais et d'autres organisations liées à la radioprotection ont organisé des visites de comparaison aux États-Unis et en Europe entre 2005 et 2007. Ils ont visité la NRC et des centrales sélectionnées aux États-Unis (Fermi, Limerick, Susquehanna, Dresden et D.C. Cook), STUK en Finlande et l'ASN, le CEPN et EDF en France. Cela a permis d'échanger des informations sur les nouvelles technologies comme les systèmes de télésurveillance, l'importance de la participation de la direction générale et de la coopération entre le personnel de maintenance et le personnel de radioprotection, etc. Les exploitants japonais ont tenu compte de ces informations lors de l'élaboration de mesures pour réduire les expositions.

#### ***Fédération de Russie et Royaume-Uni : utilisation d'ISOE pour les analyses comparatives***

En Russie, un séminaire spécial ayant comme objectif de fournir une meilleure comparaison et analyse des données ISOE1 pour les tranches VVER a été organisé en décembre 2005 au VNIIAES (Moscou). Ce séminaire a donné lieu à la rédaction et à la publication du manuel technique sur les principes de base de la normalisation des données ISOE1 pour les réacteurs VVER en exploitation « *Basic principles of ISOE1 data standardisation for operational VVER type reactors* ».

Au Royaume-Uni, les règlements de radioprotection imposent aux exploitants d'utiliser les contraintes de dose au stade de la planification des travaux. La contrainte doit être fixée à une valeur qui représente une « bonne pratique » pour la dose individuelle et parfois pour la dose collective. Si les propositions pour les travaux indiquent qu'une dose supérieure à la contrainte sera reçue, l'exploitant doit examiner les propositions pour s'assurer que toutes les mesures raisonnablement possibles ont été prises pour maintenir les doses ALARA.

Pour définir une contrainte de dose appropriée pour le premier remplacement du couvercle de cuve dans la centrale Sizewell B, le personnel a utilisé les fiches de renseignements ISOE et la base de données ISOE 1 pour classer les performances précédentes des centrales pour ce chantier. La contrainte de dose a ensuite été fixée à la valeur du décile supérieur de cette distribution. Les centrales du décile supérieur ont été identifiées afin de les contacter directement pour discuter des différents aspects de ce chantier.

L'utilisation de la base de données ISOE n'est pas uniquement réservée aux radioprotectionnistes. Elle contient des informations qui intéressent directement les préparateurs des arrêts comme le nombre de personnes sur un chantier et la quantité de travail nécessaire pour effectuer chaque tâche.

## 5.7 Préparation du personnel

Une des tâches essentielle de la préparation est la sélection du personnel approprié. Il est très important d'avoir des travailleurs motivés, hautement qualifiés et ayant déjà effectué ce type de travaux ou des travaux similaires. Un travailleur du nucléaire motivé, formé et expérimenté travaillera mieux et plus rapidement qu'un spécialiste non habitué à travailler dans les conditions d'une zone contrôlée.

Mettre en place une équipe expérimentée de travailleurs qualifiés exige une formation importante. Tous les travailleurs doivent recevoir une formation sur la mise en œuvre de l'approche ALARA au cours de leur intervention (voir chapitre 4). En outre, dans le cadre de la préparation des travaux, les équipes doivent recevoir une formation préalable sur les travaux à entreprendre en utilisant les équipements et outils réels (ou similaires) et des vêtements de protection réalistes pour améliorer l'exécution des travaux. Une technique efficace pour réduire les expositions à fortes doses est de familiariser les travailleurs avec les travaux en les faisant pénétrer plusieurs fois dans la zone contrôlée au cours d'arrêts de tranche.

Il est important pour les travailleurs de connaître les objectifs de l'arrêt ainsi que les doses estimées pour leurs travaux. Avant l'exécution d'une tâche, un bref briefing fait par les responsables de la tâche et/ou le personnel de radioprotection peut être utile pour rappeler aux travailleurs les objectifs de dose pour la tâche ainsi que ses principales caractéristiques. C'est également l'occasion de faire passer les messages sur l'importance de la qualité, le fait que la radioprotection est un « problème qualité », la nécessité d'éviter les reprises, etc.

### *États-Unis : préparation du personnel (centrale de Cook)*

Dans la centrale de Cook d'American Electric Power, des tâches et des zones spécifiques ont été assignées aux techniciens en radioprotection pour plusieurs arrêts d'affilés afin de les familiariser avec la zone et les travaux. Cela a été particulièrement efficace pour les zones à forts débits de dose comme l'enceinte supérieure et inférieure ou des zones particulières du bâtiment auxiliaire. Pour les travaux à très fortes doses, comme la réparation des pompes primaires, l'envoi de techniciens en radioprotection chez le fournisseur (Westinghouse) pour recevoir une formation avec les équipes d'intervenants s'est également révélé efficace pour renforcer la communication interdisciplinaire entre les différents intervenants sur ces chantiers.

### *Entraînement sur maquette*

Une méthode importante pour la préparation du personnel est l'utilisation de maquettes d'équipements pour la formation à certains types de travaux comme l'installation de scanners ultrasoniques ou de protections biologiques temporaires, le démontage et le remplacement de mécanismes de commande de grappes, le démontage/montage de vannes ou autres travaux à fortes doses. L'entraînement sur maquette permet aux travailleurs de répéter les tâches prévues dans un environnement propre. Les travailleurs ont ainsi la possibilité de se familiariser avec les procédés de maintenance et de contrôle, les outils ou accessoires spéciaux ou les conditions de travail difficiles avant de pénétrer dans les zones irradiantes : leurs performances dans ces zones sont ainsi accrues. En formant plusieurs travailleurs au même travail, il sera possible d'assigner aux plus performants les travaux les plus délicats. Dans tous les cas, des travailleurs formés et entraînés effectueront les travaux réels plus efficacement, plus rapidement et avec des doses inférieures que ceux n'ayant pas pu recevoir de telles formations.

La bonne exécution d'un plan de formation sur maquette comporte trois aspects importants (un entraînement sur maquette inadapté peut être pire que l'absence d'entraînement) :

- les maquettes doivent être grandeur nature, si possible, et dans un environnement similaire à l'environnement réel ;

- les contraintes physiques et les conditions d'interventions (échafaudages, blindage au plomb, isolation, etc.) doivent être identiques à celles du travail réel ;
- les équipements de protection individuelle complets, la protection respiratoire, les contraintes d'accès et de communication doivent aussi être simulés.

En Europe, de nombreux REP ont, sur place, des maquettes de boîte à eau de générateur de vapeur pour entraîner le personnel de la centrale et des prestataires. Certaines sociétés de services nucléaires spécialisées possèdent également leurs propres maquettes pour former leur personnel.

***Belgique, Corée, France, Hongrie et Japon : recours à la formation sur maquette***

En Belgique, la centrale de Doel dispose d'une maquette de générateur de vapeur par parc, une maquette de couvercle de cuve, deux maquettes pour le nettoyage des plans de joint, trois maquettes pour les travaux sur les thermocouples et trois maquettes pour l'accouplement/désaccouplement des mécanismes de commande de grappes.

En Corée, un entraînement sur maquette est effectuée 2 à 3 fois pour familiariser les intervenants au travail sous rayonnements : par exemple pour l'entrée dans le générateur de vapeur ou le pressuriseur. Cet entraînement favorise le travail rapide et fiable et conduit par conséquent à une diminution de la dose collective. Diverses maquettes ont été préparées pour la formation dont une réplique de la boîte à eau du générateur de vapeur pour l'installation des tapes d'obturation, une table de fixation étanche de l'instrumentation in-core pour les remplacements, une vanne primaire pour le rodage et des équipements internes du pressuriseur pour l'évacuation de la chaleur.

En France, un bon exemple d'utilisation efficace d'entraînement sur maquette est le centre de formation du CETIC, dirigé par EDF et AREVA. Ce local de 4 000 m<sup>2</sup> accueille les maquettes grandeur nature de tous les principaux composants des REP (cuve, couvercle de cuve, générateur de vapeur, pressuriseur, pompes primaires, machine de rechargement, assemblages combustibles, cavité du réacteur, etc.) et est utilisé pour la formation des travailleurs et les essais des nouveaux équipements. Par exemple, l'entraînement au bouchage des tubes des générateurs de vapeur a permis de faire passer le temps d'exposition des travailleurs dans la boîte à eau de 45 secondes à 20 secondes. Pour des travaux de ce type, dans des environnements à fort débit de dose, les études montrent qu'une formation sur maquette adéquate peut réduire le temps passé dans cet environnement de 40 %.

**Formation au chargement de combustible CETIC EDF**



**Belgique, Corée, France, Hongrie et Japon : recours à la formation sur maquette (Suite)**

En Hongrie, la centrale de Paks possède un centre de formation équipé de la plupart des principaux composants d'une tranche VVER. Environ 15 personnes travaillent à plein temps au centre de formation. Ce centre est exceptionnel car les composants sont absolument identiques à ceux de la zone contrôlée étant donné qu'ils étaient destinés à des centrales qui finalement ne sont jamais devenues opérationnelles. Le centre comporte en particulier : un générateur de vapeur, une cuve, la moitié d'un couvercle de cuve, une pompe primaire, des équipements internes, une vanne d'isolement, un laboratoire d'essais non destructifs, du matériel électrique, etc. Ces composants servent à la formation pratique des travailleurs (centrale, prestataires) à leur arrivée dans la centrale et pour les cours de formation de remise à niveau une fois par an. Au maximum 10 personnes (5 à 6 par composant) peuvent se former en même temps. De plus, ces maquettes sont utilisées pour préparer les travaux de maintenance, pour valider les nouvelles techniques, les nouveaux composants et les nouveaux appareils d'un point de vue ALARA.

Au Japon, Kansai Electric gère un centre de simulation. Les maquettes servent à tester les outils ou appareils récemment développés avant leur utilisation sur un lieu de travail réel et donc à gagner du temps et à optimiser leur emploi et leur fonctionnalité avant un arrêt réel. De nombreuses centrales possèdent leurs propres maquettes ou installations de formation qui sont utilisées pour acquérir les compétences appropriées.

**Canada : maquette de formation au SFCR (centrale de Pickering B)**

Le remplacement d'un canal de combustible [*Single Fuel Channel Replacement (SFCR)*] est un projet complexe qui fait intervenir de nombreux outils et personnes spécialisés. C'est un chantier à fortes doses car la plus grande partie du travail s'effectue sur la surface du réacteur où les débits de dose sont généralement élevés. Outre le blindage, la minimisation du temps passé par le personnel devant la surface du réacteur est un moyen efficace pour maintenir les doses aussi faibles que raisonnablement possible (ALARA). À cet effet, une formation poussée et des répétitions ont été effectuées sur une maquette spécifiquement conçue pour le chantier. En plus de réduire le potentiel d'erreur humaine, les travaux sont réalisés plus rapidement et plus efficacement, réduisant ainsi le temps passé sur la surface du réacteur.

**Japon : formation sur maquette pour le remplacement des internes du cœur d'Ikata 1**

À Ikata 1 de Shikoku Electric Power Co., Inc., la formation sur maquette suivante a été effectuée pour les travaux de remplacement des internes du cœur (IC) :

- démontage des boulons de la bride de la colonne support des IC supérieurs existants ;
- mesure du jeu sur la tubulure de sortie et le support radial des nouveaux IC.

Activités correspondantes du remplacement des IC	Description de la formation	Lieu de formation Date de mise en œuvre No. de personnes formées
1. Séparation des colonnes support des T/C	Former le personnel à la découpe du fourreau de T/C, au démontage des boulons de bride de la colonne support et à la fixation d'un bouchon sur la colonne support pour éviter le basculement	Centrale d'Ikata ; 2004/08/23 - 2004/09/02 ; 28
2. Démontage des composants des IC existants	Former le personnel à la séparation des colonnes support des T/C, au marquage des I/S lors de leur retrait et à leur remise en place à la position d'origine	Mitsubishi Heavy Industries ; 2004/05/10 - 2004/05/21 ; 10
3. Assemblage et installation des nouveaux IC	Former le personnel à la descente des nouveaux IC dans la cuve, à l'exécution de l'alignement, à la mesure des jeux sur la tubulure de sortie et l'insert d'anfractuosité et à l'emmanchement par frettage de la clavette de support radial	Mitsubishi Heavy Industries ; 2004/07/12 - 2004/07/23 ; 28

T/C : thermocouple ; I/S : éprouvettes d'irradiation

## 5.8 Résumé

La phase de sélection et de préparation des travaux d'un arrêt programmé ou d'une campagne de contrôles est l'une des périodes les plus coût-efficaces pour mettre en œuvre l'organisation du travail. En sélectionnant judicieusement les travaux (et en justifiant ceux qui ne seront pas effectués) il est

possible de gagner du temps, d'économiser de la main-d'œuvre et de réduire les doses. En préparant de manière efficace les travaux avant que les procédures ne soient fixées et les équipements achetés, il est possible d'apporter des modifications facilement et à peu de frais.

L'emplacement des préparateurs des travaux peut être optimisé en centralisant toutes les spécialités concernées (planificateurs, ingénieurs, préparateurs, etc.), encourageant et facilitant ainsi la communication interdisciplinaire. En outre, une bonne planification des travaux pour coordonner la logistique, les échafaudages, les poses de protections, le maintien en eau des tuyaux et des réservoirs, etc., ainsi que l'utilisation de maquettes pour la préparation (de même que pour la formation et l'orientation des travailleurs) contribue à une bonne utilisation des ressources.

Les règles d'or d'un bon processus de sélection et de préparation des travaux consistent, entre autres, à utiliser des hypothèses réalistes pour décider de la nécessité d'effectuer un chantier, ne sélectionner que les travaux qui sont « nécessaires » pour assurer un fonctionnement sûr et efficace de la centrale et établir un calendrier dense mais raisonnable pour réduire le risque d'aléas. Pour la préparation des travaux, la prise en compte du retour d'expérience des chantiers précédents ou de travaux similaires effectués sur d'autres sites est essentielle. Ce partage d'expériences, via les bases de données et les réseaux de communication (ISOE, INPO, WANO, par exemple), peut se révéler très utile et aider à éviter de « réinventer la roue ». En se concentrant sur les travaux qui génèrent les doses les plus fortes et en tirant profit de l'expérience acquise, il sera possible d'optimiser les activités de sélection et de préparation des travaux.



## 6. ASPECTS TECHNIQUES ET OPÉRATIONNELS DE LA PRÉPARATION DES TRAVAUX

*La réussite des travaux dépend fortement de la qualité de leur préparation. Pour réaliser une bonne préparation, il est essentiel de connaître le terme source afin de sélectionner les techniques appropriées de réduction du débit de dose comme la décontamination ou les protections biologiques. Les outils et équipements comme la robotique pour éviter les expositions, ainsi que l'amélioration de l'environnement de travail sont aussi des moyens efficaces. Ces techniques étant en constante évolution, il est important de choisir les meilleures à disposition à un moment donné.*

### 6.1 Introduction

La préparation des travaux dans le cadre de ce rapport couvre toutes les activités envisagées ou exécutées avant et pendant les travaux pour préparer les conditions de travail et les équipes. Une grande quantité de travaux préparatoires doit être exécutée avant l'arrêt et tous les efforts pour préparer les chantiers et leur environnement sont essentiels lorsque l'on cherche à optimiser les conditions de travail et la radioprotection. La préparation doit donc bien refléter la nature pluridisciplinaire des travaux à effectuer.

Pour optimiser la radioprotection, les facteurs affectant le terme source, la durée des travaux et le nombre de travailleurs exposés doivent être étudiés dans le cadre de la préparation. Ce chapitre se concentre sur les aspects techniques et opérationnels de cette préparation et particulièrement sur la caractérisation et la réduction du terme source. Les aspects organisationnels sont traités dans le chapitre 5.

### 6.2 Caractérisation du terme source

Dans une centrale nucléaire, les principales sources d'exposition professionnelle sont les produits d'activation provenant des matériaux du réacteur. Pour élaborer des mesures appropriées de réduction des expositions pour ces sources, il est important de connaître leurs caractéristiques. Les caractéristiques du terme source incluent les radionucléides et leur spectre, la quantité de radioactivité présente et sa distribution spatiale, etc. Les équipements nécessaires pour évaluer ces caractéristiques doivent être étalonnés et toujours prêts à l'emploi afin d'être disponibles et opérationnels lorsque cela est nécessaire. La simulation de la distribution du débit de dose basée sur des valeurs mesurées ou estimées est, elle aussi, utile pour l'optimisation des travaux.

***Espagne : combinaison de techniques de détection gamma et de simulation de dose 3-D pour l'optimisation des doses***

Pour optimiser les doses des travaux programmés sur le site, une technique d'estimation associant la détection gamma et la simulation de dose 3-D, développée dans le cadre d'une recherche conjointe de l'UE, a été appliquée dans la centrale d'Almaraz. Les relevés de débits de dose de la zone calculés dans deux plans à l'aide de l'outil VISIPLAN ont été en accord à 20-30 %. Ceci peut être considéré comme un bon résultat étant donné la précision de la méthode de calcul « point-kernel » utilisée dans VISIPLAN et de la méthode d'étalonnage du système de détection gamma pour l'interprétation du balayage.

#### **France : caractérisation du terme source**

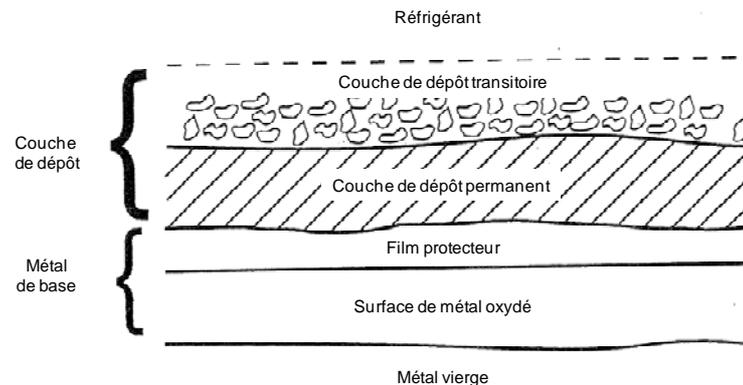
EDF utilise un spectromètre CZT (Cd, Zn, Te) pour mesurer les spectres gamma des sources ponctuelles, surfaciques ou volumiques. Des mesures sont effectuées systématiquement à chaque arrêt sur des circuits spécifiques pour :

- caractériser la contribution de chaque radionucléide aux débits de dose ambiants ;
- obtenir un diagnostic de la contamination des circuits ;
- assurer un suivi de la contamination des circuits d'un cycle du combustible à l'autre ;
- identifier dès que possible la présence de « pollution » potentielle qui pourrait générer une surcontamination des circuits ;
- faire participer les agents de radioprotection et accroître leur sensibilisation à la gestion des problèmes de contamination.

### **6.3 Techniques de réduction du terme source**

Les sources de rayonnements auxquelles les travailleurs sont susceptibles d'être exposés peuvent se trouver à l'intérieur des systèmes et de la tuyauterie, sur des surfaces ou dans l'air. La section suivante décrit certaines des techniques utilisées pour réduire ou supprimer ces sources et donc réduire les débits de dose pour les travailleurs. Dans le cas de l'élimination des dépôts, l'objectif de ces différentes techniques est de supprimer la couche de dépôt transitoire par des moyens physiques ou chimiques en perturbant au minimum la couche de film protecteur (figure 5) et de réduire les champs d'exposition dans la centrale.

Figure 5. **Couche de dépôt de produits de corrosion du circuit primaire**



#### **Décontamination chimique**

Une méthode efficace pour réduire les expositions est de supprimer les matériaux radioactifs et les précurseurs métalliques par décontamination chimique des équipements internes du système. La décontamination chimique supprime les matériaux radioactifs comme le  $^{60}\text{Co}$  qui adhèrent ou sont absorbés sur la surface des appareils ou des tuyauteries du circuit primaire en les dissolvant à l'aide d'un décontaminant. Des procédés de décontamination chimique pour les centrales nucléaires sont disponibles sur le marché depuis le début des années 80.

Les procédés de décontamination chimique les plus courants et efficaces utilisent des réactions d'oxydation et de réduction pour enlever l'accumulation de matières radioactives provenant des différents équipements internes (tuyaux, pompes, vannes et réservoirs). Bien que plus couramment utilisés pour les circuits de recirculation du réacteur (REB), les tuyauteries de filtration d'eau du réacteur ou les trains de roulement des pompes primaires (REP), ces procédés sont également appliqués aux boîtes à eau des générateurs de vapeur des REP.

Bien que de nombreuses centrales effectuent régulièrement une décontamination chimique lors des arrêts pour rechargement, certaines jugent nécessaire d'avoir à effectuer des opérations de maintenance d'envergure avant d'essayer la décontamination. Les analyses coûts-bénéfice ALARA servent généralement de base pour décider de la pertinence d'une décontamination. Les facteurs influant sur ces analyses sont les débits de dose, les réductions de dose prévues, la valeur monétaire de l'H.Sv et l'accord technique de l'organisation.

#### ***États-Unis : décontamination chimique (centrale de Susquehanna)***

Les tranches 1 et 2 de Susquehanna (REB) ont obtenu les débits de dose au contact du circuit de recirculation les plus faibles jamais enregistrés de 15 mR par heure après décontamination chimique de tout le circuit et injection de zinc appauvri en 2004. Cette réduction considérable du terme source a été réalisée grâce à une série d'initiatives de la centrale :

- filtration des condensats (juin 1999) ;
- injection de fer dans l'eau d'alimentation (juillet 1999) ;
- concentration de déchets à haut niveau de radioactivité (HWC) (août 1999) ;
- décontamination chimique (mars 2001) ;
- GEZIP (injection d'oxyde de zinc appauvri) (décembre 2002) ;
- décontamination chimique (mars 2001).

Susquehanna a obtenu le niveau de débit de dose de 15-25 mR/h le plus faible jamais enregistré aux États-Unis pour les REB (sur la colonne montante/circuit de recirculation). La leçon tirée de cette expérience est que la réussite de Susquehanna a été due aux efforts importants de réduction du terme source déployés dans toute la centrale sur une période de 5 ans.

#### ***Japon : décontamination chimique de tout le circuit***

Un remplacement de l'enveloppe de cœur soudé et d'autres équipements internes du réacteur a été effectué dans la tranche 3 de la centrale de Fukushima Daiichi (REB, 784MW) de Tokyo Electric Power Co. (TEPCO) au cours de sa 16<sup>ème</sup> inspection périodique de mai 1997 à juillet 1998. Au cours de ces travaux de remplacement, une décontamination chimique de tout le circuit [full system chemical decontamination (FSD)] a été effectuée.

La FSD a permis d'obtenir des facteurs de décontamination moyens de 43 dans le fond de cuve et de 46 à la surface du circuit de recirculation du réacteur. L'élimination de radioactivité et de métal a été respectivement d'environ 10 TBq et 72 kg et les déchets générés par la FSD n'ont été que de 5,4 m<sup>3</sup> de résines échangeuses d'ions. Après le nettoyage mécanique, les débits de dose pour le fond de cuve étaient de 0,03 mSv/h sous l'eau et de 0,2 mSv/h dans l'air avec protections biologiques dans la cuve. Du fait de la diminution du débit de dose dans la cuve, la dose collective a été de 11,5 hommes-Sv (la valeur ciblée était de 12,6 hommes-Sv).

La dose collective a été réduite à 4,6 hommes-Sv lors de travaux similaires dans la tranche 1 de la centrale de Fukushima Daiichi (REB, 460MW) au cours de la 22<sup>ème</sup> inspection périodique de décembre 2000 à septembre 2001.

#### ***Japon : procédé de décontamination chimique T-OZON***

Le principe de cette décontamination chimique est basé sur la dissolution des oxydes métalliques présents sur les matériaux. Les métaux dissous, comme le Fe et le Cr, peuvent être éliminés facilement à l'aide d'un échangeur d'ions. Une technologie supérieure de décontamination permet d'obtenir un facteur de décontamination élevé, un minimum de déchets secondaires et aucun effet défavorable sur l'intégrité des matériaux. Basé sur ces caractéristiques, le procédé de décontamination T-OZON a été développé au Japon. Le principe du procédé T-OZON est le suivant :

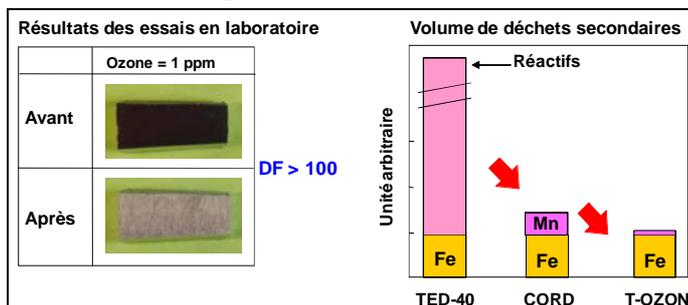
- l'acide oxalique réduit les ferrites en Fe soluble, l'ozone oxyde les chromites en Cr soluble ;
- une fois les réactions chimiques terminées, les deux réactifs peuvent être facilement décomposés.

Avec le procédé T-OZON, les déchets secondaires des réactifs sont O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, et H<sub>2</sub>O. Le volume de déchets secondaires est donc considérablement réduit.

Les principales caractéristiques du procédé de décontamination chimique T-OZON sont les suivantes :

- facteurs de décontamination élevés ;
- volume de déchets secondaires minimal ;
- aucun effet défavorable sur l'intégrité des matériaux.

### Japon : procédé de décontamination chimique T-OZON (Suite)



Un exemple de l'application du procédé de décontamination T-OZON a été son utilisation sur le circuit primaire de la tranche 3 de la centrale d'Hamoka (REB, 1100 MWe) (circuit de recirculation de la boucle primaire, système de purification de l'eau du réacteur, système d'évacuation de la chaleur résiduelle). Avec ce procédé, des facteurs de décontamination moyens de 16 pour l'acier inoxydable et de 7 pour l'acier au carbone ont été obtenus et le débit de dose dans le volume d'expansion a été réduit de moitié. Cette réduction a donné lieu à une diminution de 280 H.mSv pour les doses collectives des travaux d'inspection successifs. Les déchets générés lors de cette application ont été de 2 m<sup>3</sup> de résines échangeuses d'ions et de 0,4 m<sup>3</sup> de filtres à cartouches.

### Rinçage des systèmes

Le rinçage des systèmes et des tuyauteries pour éliminer les sources de rayonnements et les points chauds peut réduire les débits de dose dans les zones de travail en envoyant la matière radioactive présente à l'intérieur des tuyauteries dans des zones en aval où les travailleurs ne sont pas affectés. Les rinçages peuvent être effectués via différentes voies, se terminant généralement dans le système de traitement des eaux usées ou dans le système de filtration de l'eau du réacteur. Les aspects essentiels d'un programme de rinçage efficace comprennent l'identification de la source, l'élaboration des procédures, l'assistance du département exploitation et l'assurance d'un créneau programmé. Pour optimiser la réduction de dose, il faut tenir compte de la synchronisation des rinçages par rapport au calendrier des travaux. Souvent, le créneau approprié est au début de l'arrêt de tranche, en particulier pour les rinçages qui ne peuvent être effectués que lorsque le couvercle de cuve est encore installé. De plus, un rinçage des circuits effectué avec les circuits sous pression et en température et avec un débit maximum est plus efficace.

Un rinçage des tuyaux par jet haute pression élimine les matières radioactives qui contribuent aux débits de dose dans les zones de proximités : il permet de les capturer par filtration ou les dissémine dans toute la cuve, dans la tuyauterie à l'extérieur du cœur ou dans les équipements internes des réservoirs. Ce système utilise de l'eau haute pression (70-1 500 bar/1 000-20 000 psi) pour évacuer les impuretés, boues ou matières résineuses radioactives des piscines du réacteur, des manchons thermiques des tubulures, des éjecteurs des réservoirs et autres branches mortes ou des zones de piégeage d'impuretés. Le rinçage des échangeurs de chaleur primaires avant les travaux de maintenance ou d'inspection peut aussi réduire considérablement les doses ou débits de dose de la totalité des travaux. Le nettoyage haute pression (800 à 1 000 bar) avec des lances spéciales s'est révélé efficace pour la préparation au remplacement de tuyauterie en réduisant les débits de dose et en permettant ainsi de réduire l'utilisation d'équipements de protection individuelle.

Des aspirateurs sous-marins sont utilisés pour le nettoyage haute pression des pénétrations de tuyauterie à l'intérieur des cuves. Ils collectent et filtrent les particules évacuées des zones étanches par les lances haute pression et limitent l'impact sur la limpidité de l'eau de la cuve (par la remise en suspension des particules enlevées) et sur le temps du chemin critique de l'arrêt. Il faut aussi noter que l'installation de raccords de rinçage à travers lesquels il est possible d'effectuer des décontaminations et/ou des rinçages partiels peut réduire les doses si ces raccords sont bien placés.

L'inconvénient du rinçage et du nettoyage haute pression est que la plus grande partie des matières radioactives n'est éliminée que temporairement s'il n'y a pas de système de filtration et que, si elle est redistribuée, elle peut être à l'origine de forts débits de dose pour les travailleurs dans d'autres zones.

***Japon : contrôle de la contamination de la cuve pour le rechargement***

Pour retirer le couvercle de cuve d'un REB pour rechargement, la cuve doit être pleine d'eau. Au cours de la montée du niveau d'eau, la tuyauterie vapeur principale, les soupapes de sûreté et les vannes d'isolement peuvent être contaminées si des impuretés radioactives provenant de l'eau du réacteur tombent dans la tuyauterie vapeur principale. Si cela se produit, les niveaux de rayonnements augmentent. Pour limiter ce risque dans les REB japonais, de l'eau d'appoint propre est injectée dans la tuyauterie vapeur principale avant de remplir d'eau la cuve pour le rechargement. L'eau d'appoint injectée remplit les lignes vapeur principales jusqu'au niveau de leur pénétration dans la cuve et empêche ainsi l'eau primaire contaminée de pénétrer dans les lignes vapeur et de provoquer éventuellement une contamination. Les débits de dose au voisinage des vannes de la tuyauterie vapeur principale (sûreté et isolement) s'en trouvent réduits et il est alors possible de travailler sur ces vannes en étant moins encombré par des équipements de protection individuelle.

***Techniques de décontamination des surfaces***

Il existe plusieurs techniques de décontamination mécaniques non destructives pour éliminer la contamination qui adhère légèrement ou fortement sur une surface ; certaines de ces techniques sont décrites ci-après.

La technique de décontamination par *jet d'eau à haute pression* est très efficace pour éliminer la contamination qui adhère légèrement à la surface des composants, dans les réservoirs ou les piscines de rechargement. Des buses de pulvérisation avec des pressions allant jusqu'à 250 bar pour les appareils manuels et jusqu'à 1 000 bar pour les appareils télécommandés rendent ce procédé très efficace et économique.

La technique de *projection abrasive* utilise des billes de verre ou de plastique pour obtenir des facteurs de décontamination élevés et permet de réduire efficacement les débits de dose pour les surfaces contaminées par des couches d'oxydes dues à l'eau primaire. Toutefois, à cause de son fort pouvoir abrasif, elle ne convient pas pour les surfaces sensibles. Les particules abrasives peuvent être réutilisées tant qu'elles restent techniquement efficaces. Un procédé de séparation automatique élimine les déchets contaminés des particules abrasives.

Le *nettoyage au CO<sub>2</sub>* est un procédé pneumatique par voie sèche qui utilise de la glace carbonique comme élément de décontamination. Bien qu'il soit similaire aux procédés par projection abrasive classiques, il n'utilise pas d'éléments dangereux ou abrasifs et peut donc être utilisé sur les équipements sensibles comme le matériel électronique. Par contre, le facteur de décontamination est plus faible pour les couches d'oxydes durs. Bien qu'il faille une certaine forme de ventilation pour maîtriser la contamination, le procédé de nettoyage au CO<sub>2</sub> ne génère pas de déchets secondaires coûteux comme l'eau ou les agrégats abrasifs. Cette technologie est surtout efficace sur les matériaux plus mous comme le bois, le caoutchouc et les plastiques ou pour enlever la peinture ou les revêtements.

La décontamination par *projection de glace* est un procédé par voie sèche qui utilise de petites pastilles de glace comme agent de nettoyage. La projection de glace utilise un appareil de réfrigération et un broyeur à glace pour produire des miettes de glace qui sont envoyées sur les surfaces contaminées avec de l'air comprimé. Ces systèmes peuvent être utilisés par des robots et produisent environ 60 à 90 litres d'eau par heure. Les avantages intrinsèques de la projection de glace du point de vue sûreté sont, entre autres, des contraintes thermiques moindres, des niveaux moindres de particules en suspension dans l'air et une poussée moindre des buses, ce qui se traduit par une diminution de la fatigue de l'opérateur. Les inconvénients incluent des vitesses de décontamination plus lentes par rapport aux méthodes classiques et des niveaux sonores élevés (typiquement 110 dB).

*La décontamination par ultrasons* est une méthode de décontamination physique basée sur l'utilisation d'ondes ultrasoniques dans un bain d'eau. Le générateur produit des ultrasons à une fréquence comprise entre 10 et 100 kHz. Un transducteur convertit cette énergie haute fréquence en vibrations de faible amplitude à la même fréquence. La décontamination s'effectue grâce à la formation puis à l'éclatement violent de milliers de bulles minuscules soulevant les radionucléides de la surface de l'objet.

*La décontamination du combustible par ultrasons* est un moyen efficace d'éliminer les dépôts sur le combustible des REP et donc de limiter le problème potentiel de déséquilibre axial dans le cœur des REP. En outre, il a été montré que la réduction de l'inventaire des dépôts de combustible entraîne une diminution des débits de dose lors des arrêts pour rechargement suivants. La technologie actuelle de décontamination du combustible par ultrasons est également efficace pour la réduction des expositions car elle élimine les dépôts présents sur la surface du combustible. De plus, la décontamination du combustible par ultrasons ne génère pas de déchets radioactifs supplémentaires. Bien que cette technologie ait été développée pour les REP, il semble également qu'elle présente les avantages suivants pour les REB :

- limitation des problèmes de combustible associés aux dépôts potentiels dans des centrales avec des niveaux de fer élevés ;
- réduction de la concentration de  $^{60}\text{Co}$  dans l'eau primaire résultant de l'élimination de sa source la plus importante et donc réduction des champs de rayonnements et diminution de la quantité de zinc appauvri nécessaire ;
- réduction de la quantité de métaux nobles fixés sur le combustible suite à l'injection de ces métaux nobles et augmentation relative de la proportion de ces métaux à la surface des appareils au sein du réacteur.

***États-Unis : nettoyage du combustible aux ultrasons***

Aux États-Unis, la technique de nettoyage du combustible par ultrasons a été appliquée à des REP comme les centrales de Callaway, South Texas et Vogtle. Dans la centrale de Callaway, une réduction du débit de dose de l'ordre de 50 % a été constatée lors de l'arrêt après exploitation avec le combustible nettoyé.

***Japon : décontamination par projection***

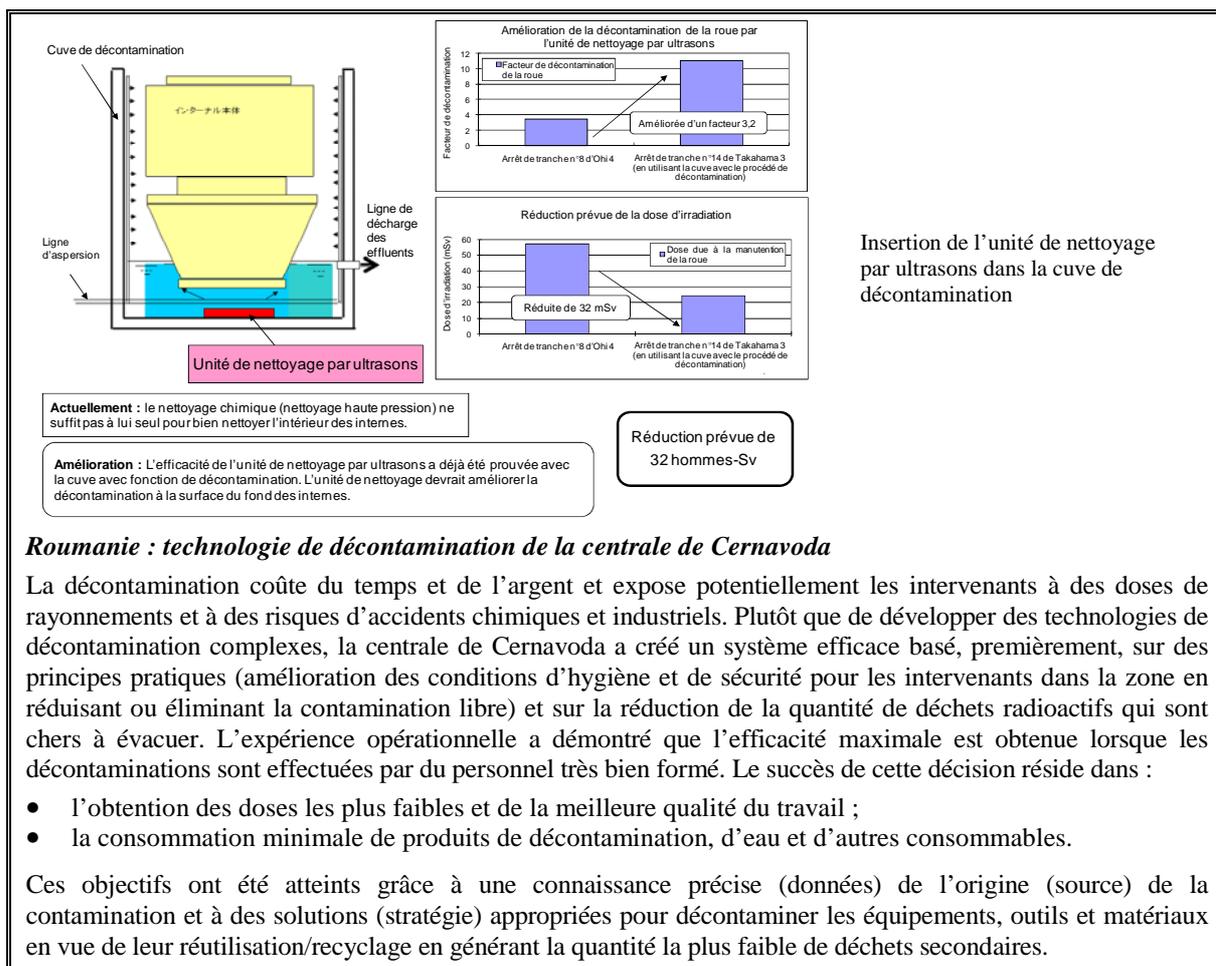
Depuis les années 90, des méthodes avancées de décontamination par projection ont été développées. Une des techniques utilisées est la combinaison de décontamination par jet de cavitation (JC) et de décontamination par projection. Un essai d'applicabilité a révélé que l'efficacité du procédé de décontamination combiné est supérieure à la simple addition de leurs effets individuels. Le tableau suivant présente les résultats de l'essai d'applicabilité sur les équipements réels.

**Résultats de l'essai d'applicabilité de la décontamination par JC + projection**

	Avant décontamination	Après décontamination	Facteur de décontamination
Échantillon 1	40 mSv/h	0,7 mSv/h	166
Échantillon 2	25 mSv/h	0,63 mSv/h	111

***Japon : décontamination des internes des pompes primaires (PP) par ultrasons***

Des techniques de lavage chimique et par eau à haute pression ont été utilisées pour décontaminer les internes des PP dans la centrale d'Ohi. L'unité de nettoyage par ultrasons, qui s'était déjà révélée efficace dans une autre centrale, va être utilisée pour la cuve de décontamination pour améliorer la décontamination de manière économique. Cette mesure devrait réduire la dose de 32 hommes-mSv (Voir le schéma de principe ci-dessous).



### Roumanie : technologie de décontamination de la centrale de Cernavoda

La décontamination coûte du temps et de l'argent et expose potentiellement les intervenants à des doses de rayonnements et à des risques d'accidents chimiques et industriels. Plutôt que de développer des technologies de décontamination complexes, la centrale de Cernavoda a créé un système efficace basé, premièrement, sur des principes pratiques (amélioration des conditions d'hygiène et de sécurité pour les intervenants dans la zone en réduisant ou éliminant la contamination libre) et sur la réduction de la quantité de déchets radioactifs qui sont chers à évacuer. L'expérience opérationnelle a démontré que l'efficacité maximale est obtenue lorsque les décontaminations sont effectuées par du personnel très bien formé. Le succès de cette décision réside dans :

- l'obtention des doses les plus faibles et de la meilleure qualité du travail ;
- la consommation minimale de produits de décontamination, d'eau et d'autres consommables.

Ces objectifs ont été atteints grâce à une connaissance précise (données) de l'origine (source) de la contamination et à des solutions (stratégie) appropriées pour décontaminer les équipements, outils et matériaux en vue de leur réutilisation/recyclage en générant la quantité la plus faible de déchets secondaires.

### Contrôle de la chimie de l'eau

La chimie de l'eau est un facteur important pour obtenir des régimes chimiques qui favorisent la réduction permanente des termes sources en empêchant par exemple aux impuretés d'adhérer sur les surfaces des appareils et des tuyauteries. Cela implique une optimisation des conditions chimiques pendant le fonctionnement en puissance du réacteur et au cours des phases transitoires, démarrages et arrêts. Bien que certaines centrales préfèrent respecter leur spécification initiale pour la chimie de l'eau, la section suivante décrit plusieurs techniques qui ont été utilisées avec succès dans certaines centrales pour réduire le terme source.

#### Injection de zinc

L'injection de zinc est une méthode efficace de réduction du débit de dose et a été appliquée avec succès dans un certain nombre de centrales dans le monde pour maîtriser l'adhérence et l'accumulation de radionucléides dans les tuyauteries. Cette méthode est destinée à contrôler le taux de corrosion des tuyauteries primaires et des appareils en augmentant la concentration en zinc dans l'eau primaire grâce à l'injection d'ions de zinc dans le réacteur. Le Zn injecté forme une couche mince à la surface des gaines de combustible, des tuyauteries et des équipements. Il en résulte une diminution du relâchement de cobalt par le combustible dans l'eau primaire et par conséquent une diminution du dépôt de cobalt à la surface des tuyauteries et des équipements. L'expérience opérationnelle montre que le contrôle du taux de corrosion permet une maîtrise du taux d'adhérence/accumulation des radionucléides sur les surfaces des tuyaux et, par conséquent, le contrôle de l'augmentation du débit de dose en surface.

Dans les REB en particulier, la méthode d'injection de zinc est également utilisée pour contrôler l'augmentation du débit de dose résultant de l'injection d'hydrogène effectuée pour éviter la fissuration par corrosion intergranulaire sous contrainte (IGSCC). L'injection de zinc est souvent utilisée en association avec l'injection de métaux nobles qui est mise en œuvre principalement aux États-Unis. Bien qu'initialement l'oxyde de zinc naturel (ZnO) ait été utilisé pour l'injection de Zn, la réduction de dose associée au contrôle du  $^{60}\text{Co}$  est partiellement compensée par le Zn-65 généré par l'activation du Zn-64. Par conséquent, dans certains cas, on utilise de l'oxyde de zinc appauvri (DZO) dans lequel le Zn-64 a été retiré par séparation isotopique.

#### *Fonctionnement avec forte teneur en lithium et utilisation de bore enrichi*

Dans les REP, un fonctionnement à pH élevé peut amener une réduction des expositions. Depuis récemment au Japon par exemple, des REP fonctionnent à pH élevé avec une valeur cible de 7,3 à 285°C. L'ajustement du pH se fait en ajoutant du lithium. Comme la concentration en bore est élevée au début du cycle, l'applicabilité du fonctionnement avec forte teneur en lithium a été étudiée comme moyen d'optimisation du pH pendant tout le cycle d'exploitation. En outre, l'utilisation de B-10 enrichi comme élément de compensation chimique a été étudiée dans le cadre de la diminution de la teneur en bore de l'eau primaire.

#### *Optimisation de la concentration en hydrogène dissous*

Dans les REP, de l'hydrogène est ajouté à l'eau primaire pour empêcher la fissuration par corrosion sous contrainte (CSC) due à l'oxygène dissous en inhibant la génération d'oxygène provenant de la radiolyse de l'eau primaire. La composition chimique des dépôts d'impuretés peut aussi être contrôlée grâce à un contrôle approprié de la concentration en hydrogène dissous. Compte tenu de ces deux effets, une étude de l'optimisation de la concentration en hydrogène dissous a été entreprise aux États-Unis et au Japon avec comme objectif le contrôle de la CSC et la réduction du débit de dose.

#### *Contrôle du rapport Ni/Fe*

Le contrôle de la concentration en fer dans l'eau d'alimentation du réacteur est important du point de vue de l'intégrité du combustible. Il est également important du point de vue de la réduction des expositions et des efforts ont été faits pour réduire la concentration en fer : injection d'oxygène pour éviter la corrosion des lignes d'eau d'alimentation, installation de pré-filtres pour les condensats pour retirer le fer contenu dans les condensats et amélioration de la résine des déminéraliseurs des condensats.

En supposant qu'il pouvait être possible d'immobiliser le cobalt radioactif généré par le Ni et le Co à la surface des crayons de combustible en équilibrant la concentration en fer proportionnellement à la concentration en nickel dans l'eau primaire, une méthode de contrôle du Ni/Fe a été proposée. Cette méthode vise à faire fonctionner le réacteur de façon à ce que le rapport concentration en nickel sur concentration en fer dans l'eau d'alimentation soit maintenu à une valeur de 0,2 ou moins. En général, les ions nickel amenés dans le réacteur réagiront avec les impuretés de Fe à la surface des gaines de combustible et formeront de la ferrite de nickel qui adhèrera ensuite à la surface des gaines. En conséquence, d'autres ions ayant un comportement chimique similaire à celui du Ni (ions de Co,  $^{60}\text{Co}$  et  $^{58}\text{Co}$ , par exemple) seront incorporés sous forme de ferrite et immobilisés à la surface du combustible, réduisant ainsi la radioactivité de l'eau primaire. Cette méthode a été appliquée avec succès pour la première fois au Japon dans la tranche 1 d'Onagawa et dans la tranche 1 de Kashiwazaki Kariwa (REB). Elle a donc été ensuite utilisée dans un grand nombre de nouvelles centrales construites au Japon.

#### *Fonctionnement avec teneur en Fe ultra-faible/teneur en Ni élevée*

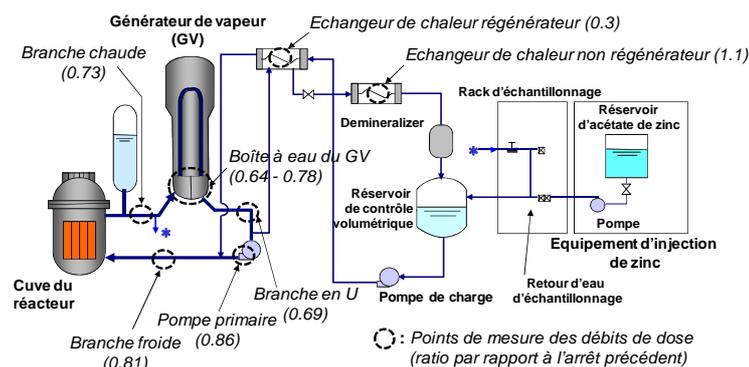
Dans certains REB japonais, le fonctionnement avec teneur en Fe ultra-faible/teneur en Ni élevée a été développé pour les centrales utilisant un combustible appelé « combustible BJ » (combustible qui

possède un revêtement en zirconium pur à l'intérieur des gaines de combustible très résistantes à la corrosion). Ce mode de fonctionnement est une combinaison de deux concepts différents. L'un est la réduction de la quantité de radioactivité générée en contrôlant autant que possible la quantité d'impuretés de fer transmise par l'eau d'alimentation à l'eau primaire (0,1 ppb ou moins dans l'eau d'alimentation) et donc en contrôlant la quantité de ferrite de nickel et autres dépôts sur la surface du combustible. L'autre est la réduction de l'adhérence ou de l'accumulation des radionucléides de l'eau primaire sur l'extérieur du cœur du réacteur en contrôlant la corrosion de la tuyauterie et des appareils à l'extérieur du cœur du réacteur par le maintien de la concentration en ions de nickel de l'eau primaire à la plus forte valeur possible. Ce mode de fonctionnement a été appliqué à plusieurs centrales dont celle d'Onagawa et son utilité a été démontrée.

### **Japon : injection de zinc (tranche 2 de Tsuruga et Fugen)**

Dans la tranche 2 de la centrale de Tsuruga, l'injection de zinc a été mise en œuvre pour évaluer ses effets sur (1) la chimie de l'eau, (2) la diminution des débits de dose des tuyauteries et des équipements primaires et (3) les performances du combustible. L'injection de zinc a été effectuée pendant huit mois au cours du 14<sup>ème</sup> cycle avec des concentrations en zinc de 5 à 7 ppb dans l'eau primaire. Bien que la concentration en cobalt radioactif ait augmenté d'un facteur dix après l'injection de zinc, l'augmentation est restée dans les limites prévues, basées sur l'expérience européenne. De plus, les débits de dose des équipements et tuyauteries primaires (branche chaude, branche froide et boîte à eau des générateurs de vapeur) ont diminué de 20 à 30 % par rapport à ceux mesurés lors du précédent arrêt pour rechargement.

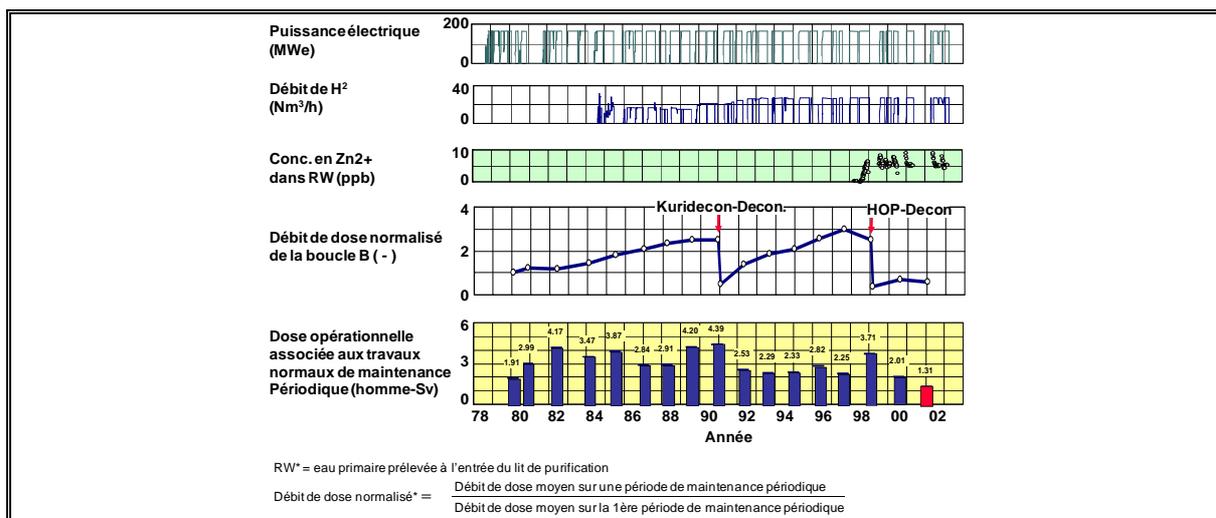
**Débits d'équivalent de dose relatifs sur les équipements et tuyauteries primaires**



L'injection de zinc a réduit les débits de dose des équipements et tuyauteries primaires à 70-80% de ceux de l'arrêt précédent. Cet effet est supérieur à celui auquel on pouvait s'attendre en se basant sur les expériences antérieures dans d'autres centrales. Toutefois, l'injection de zinc n'a pas eu d'effet sur l'échangeur de chaleur non régénérateur.

Dans la centrale de Fugen, une technologie de contrôle des débits de dose combinant une décontamination chimique et l'injection de zinc a été mise en œuvre pour réduire les expositions lors du contrôle périodique. Fugen est un réacteur à tubes de force, utilisant l'eau lourde comme modérateur et de l'eau légère bouillante comme fluide caloporteur : il s'agit d'un prototype de réacteur thermique avancé. L'exploitation de Fugen s'est terminée en mars 2005. L'expérience d'injection de zinc à Fugen a donné les résultats suivants :

- l'injection de zinc après décontamination a supprimé efficacement la ré-adhérence du <sup>60</sup>Co sur la surface des tuyauteries et a maintenu la source de rayonnements à un niveau faible ;
- Les niveaux d'exposition au cours du 17<sup>ème</sup> et dernier arrêt ont été les plus faibles (1,31 homme-Sv) de toute la période d'exploitation de Fugen ;
- des mesures efficaces et permanentes de contrôle de la dose ont été obtenues par le développement de cette technique de contrôle de la chimie de l'eau et des mesures efficaces de contrôle de la dose ont ainsi été établies.



### Purification de l'eau primaire

Une partie de l'eau primaire du réacteur est toujours extraite et purifiée pendant le fonctionnement pour enlever les matières radioactives présentes. La purification de l'eau primaire s'effectue à l'aide de résines échangeuses d'ions et de filtres à particules. Dans les REP, une purification à l'aide du système de contrôle volumétrique et chimique est également effectuée ; dans les REB, les condensats après la turbine sont purifiés à l'aide de déminéraliseurs.

### Ventilation et filtration de la contamination en suspension dans l'air

Les systèmes de ventilation, de filtration et les confinements temporaires sont efficaces pour contrôler la contamination atmosphérique. Une ventilation bien conçue et bien utilisée, employant généralement des filtres HEPA (« High Efficiency Particulate Air »), peut rendre inutile le port d'appareils de protection respiratoire pour les intervenants, en particulier pour ceux qui travaillent au voisinage de la source. Des facteurs comme la mise en place de gaines de ventilation avec filtres HEPA et de hottes, la conception, la capacité et la vitesse de capture des hottes doivent être pris en compte lors de la sélection d'une unité de ventilation. Le type de travaux à effectuer influe également sur le type d'unité de ventilation utilisé. Le meulage, par exemple, nécessitera des hottes avec des vitesses frontales supérieures pour capter les matières. Il faut utiliser des types de filtres spécialisés (filtres à charbon) lorsque l'activité en iode doit être prise en compte. Pour le bon fonctionnement de ces filtres, les conditions dangereuses qui peuvent nuire à leur capacité de filtration doivent être évitées (forte humidité, solvants organiques).

### Mise à l'arrêt

Une chimie d'arrêt adaptée est nécessaire pour garantir que les débits de dose des systèmes primaires et les niveaux de contamination sont maintenus ALARA dans la mesure où les opérations de mise à l'arrêt influent sur ces paramètres.

### Ajout d'eau oxygénée

L'opération d'oxydation est une méthode qui vise à retirer activement le cobalt radioactif des circuits en accélérant la dissolution du cobalt radioactif des tuyauteries et en augmentant le débit dans le circuit de purification. Avec ce procédé, lorsque le système primaire se transforme en milieu oxydant, le nickel, le <sup>58</sup>Co, etc., sont rapidement dissous et leur concentration dans l'eau primaire

augmente. Toutefois, leur vitesse de dissolution diminue ensuite et la diminution des concentrations est accélérée par le nettoyage. Pour accélérer cette diminution, des opérations d'oxydation complète de l'eau peuvent être entreprises. Dans les REP, elles s'effectuent lorsque l'eau est évacuée du circuit primaire lors de l'arrêt du réacteur. L'eau du circuit primaire devient un milieu oxydant par l'ajout d'eau oxygénée avant son évacuation du circuit primaire. Cette méthode, appliquée dans de nombreuses centrales, est appelée « méthode d'élimination des dépôts superficiels externes » car elle élimine les oxydes superficiels externes des matériaux métalliques, sources d'impuretés radioactives superficielles sans retirer la couche protectrice (oxydes superficiels internes).

**États-Unis : méthode « d'arrêt alternatif » (« Alternate Shutdown ») ou méthodologie « Low Inventory » (centrale de Braidwood)**

Pour essayer de réduire l'exposition des travailleurs lors des arrêts, la centrale de Braidwood a mis en œuvre une méthode alternative d'arrêt du réacteur. Cette méthode est issue de discussions au sein du département de radioprotection à l'occasion de l'examen des performances des arrêts antérieurs. La possibilité d'isoler le générateur de vapeur, le pressuriseur et les tuyauteries associées de la contamination et des importants niveaux de rayonnements induits par la mise en œuvre d'une oxydation forcée par ajout d'eau oxygénée (i.e. relâchement des impuretés) a été proposée.

Cette méthode alternative d'arrêt est appliquée à Braidwood en fermant les vannes d'isolement de boucle avant le début de l'oxydation forcée. Cela permet, lors de l'arrêt, d'avoir une eau de plus faible activité dans le générateur de vapeur et le pressuriseur. Le volume d'eau à purifier est alors plus faible que pour un arrêt normal. Cette méthode alternative réduit aussi en fin de compte les expositions et augmente la productivité du personnel de la centrale grâce au temps plus court nécessaire pour purifier ce volume (à des valeurs égales ou inférieures aux directives EPRI). Enfin, elle permet de réduire les restrictions nécessaires à appliquer pour pénétrer dans les zones affectées lors de la phase de purification.

Les avantages de cette méthodologie ont été particulièrement visibles sur la réduction des débits de dose dans la centrale. Une réduction de 30 % à 50 % des débits de dose a été observée dans les zones du générateur de vapeur, du pressuriseur, des tuyauteries associées et dans les zones générales affectées par ces composants. Cette méthode a contribué à la réduction de l'exposition des travailleurs lors de l'exécution d'activités à Braidwood et a été mise en œuvre dans d'autres centrales opérées par Exelon.

**France : procédures d'arrêt**

Une étude EDF sur les procédures d'arrêt et leur impact potentiel sur le débit de dose a montré que les principaux éléments contribuant à la limitation des dépôts radioactifs dans le circuit primaire sont les suivants :

- diminution constante de la température ;
- quantité suffisante d'eau oxygénée introduite dans le circuit primaire ;
- durée de la purification : au moins 15 heures pour un réacteur de 900 MWe.

**Japon : température de début de fonctionnement du système de réfrigération à l'arrêt (RRA)**

Dans les REB japonais, une méthode a été appliquée pour abaisser la température de début de fonctionnement du RRA lors des arrêts de la centrale avec comme objectif de diminuer les débits de dose du système. Cette méthode exploite l'influence de la température de l'eau primaire sur la quantité de dépôt radioactif dans la tuyauterie du système RRA. Une investigation sur la tranche 5 de la centrale de Kashiwazaki Kariwa a révélé que la quantité de dépôt radioactif dans la tuyauterie du RRA est généralement constante lorsque la température de début de fonctionnement est d'environ 120 à 150°C (valeur initiale) mais diminue en dessous de 120°C. En outre, en abaissant la température de début de fonctionnement de 150°C à 105°C, l'augmentation du débit de dose due au dépôt sera réduite à environ un quart de la valeur précédente.

## 6.4 Techniques de réduction des expositions

Outre les méthodes décrites ci-dessus pour éliminer ou réduire le terme source lui-même, il est possible de réduire l'exposition des intervenants en employant des méthodes qui tirent profit des principes de temps, distance et utilisation de protection radiologique.

### ***Protections radiologiques temporaires***

L'utilisation de protections radiologiques temporaires, en particulier lors des arrêts pour rechargement et inspection, est l'une des méthodes principales de réduction des niveaux de rayonnements dans les zones générales et aux postes de travail. Les zones qui utilisent les plus grandes quantités de protections radiologiques temporaires incluent le volume d'expansion des REB, les générateurs de vapeur des REP et la tuyauterie des boucles. De nombreuses centrales installent plus de 25 tonnes de protections portatives lors des travaux d'arrêt sur différentes tuyauteries comme celles d'eau primaire, de purification et de recirculation (REB) et de la boucle primaire (REP). Des protections radiologiques temporaires efficaces nécessitent un ensemble flexible de différents éléments de protection radiologique pour obtenir les meilleurs résultats dans les conditions locales. Il est souvent important de gagner de la place à cause de l'étroitesse des zones de travail et de la nécessité de donner à l'intervenant suffisamment d'espace pour travailler. Quelques exemples types d'éléments de protections radiologiques efficaces sont listés ci-dessous :

- matelas en laine plombée ou en feuilles de plomb (Pb enveloppé dans du polyéthylène pour faciliter la décontamination) ;
- feuilles de plomb (5 à 10 mm d'épaisseur) ;
- éléments de protections radiologiques au plomb/acier, fabriqués sur mesure pour les tâches répétitives ;
- tungstène : haute densité (19,25 g/cm<sup>3</sup> versus 11,34 g/cm<sup>3</sup> pour Pb) ;
- briques en béton (avec revêtement en acier inox) ;
- écrans d'eau (conteneurs en résine/polymère de plastique) ;
- mousse expansive imprégnée de plomb.

Les accessoires pour ces éléments incluent des échafaudages spéciaux à raccord rapide avec support de suspension pour les protections radiologiques et crochets et courroies pour installation directe sur les tuyaux ou les supports. La mise en place des protections dépend de la réduction souhaitée des débits de dose, de la configuration de la tranche et de la charge admissible des tuyaux lors de la pose directe des protections.

Bien que les protections par matelas de plomb, souvent supportés par des échafaudages, constitue la majorité des protections temporaires, d'autres alternatives sont possibles. Les possibilités pour le blindage direct incluent les anneaux en acier ou en plomb massif qui entourent les tuyaux ou les corps des grosses vannes. Les écrans d'eau présentent des avantages par rapport aux couvertures/feuilles de plomb en termes d'installation et de retrait car les bonbonnes sont légères et permettent le remplissage et la vidange à distance.

Plusieurs aspects importants d'un programme de protections radiologiques temporaires mis en œuvre lors d'arrêts pour rechargement et inspection incluent l'examen de l'étendue des travaux, la caractérisation des zones de travail (implantation et configuration), les évaluations coûts-bénéfices, l'analyse technique et la planification des besoins en protections radiologiques. La disponibilité d'une large gamme de types de protections radiologiques et une équipe bien formée suffisamment compétente pour trouver la solution optimale sont nécessaires pour pouvoir installer les protections radiologiques en peu de temps. Généralement, une analyse technique doit être effectuée pour garantir l'approbation des charges admissibles pour les supports des protections temporaires pour les systèmes et les tuyauteries de la centrale. La somme de tous les éléments de protections temporaires d'un arrêt doit être suivie pour s'assurer que la charge totale est inférieure aux limites techniques de chaque système.

Dans certains pays, des prestataires spécialisés employant des travailleurs et techniciens qualifiés effectuent la mise en place des protections en utilisant des valeurs guides de débit de dose et une documentation précise de l'installation ainsi que des documents visuels/photos. Ces équipes ont

développé des outils optimisés pour l'installation des protections temporaires en se servant de l'expérience acquise lors de nombreux arrêts et de leurs connaissances pratiques en radioprotection et autres. Ces équipes professionnelles de pose de protections radiologiques ont réduit de 5 à 10 % les doses annuelles pour les arrêts dans plusieurs centrales.

Un programme optimal de pose de protections radiologiques doit être soutenu par une planification appropriée des travaux (voir chapitre 5). Remplir les tuyauteries d'eau ou les vider à un moment où aucun chantier n'est effectué est gratuit et peut éviter d'avoir à installer des quantités importantes de protections et réduire la dose collective associée à leur installation. Il faut noter, toutefois, que l'eau ne réduira pas de manière significative les débits de dose dans les tuyauteries de moins de 10 cm de diamètre environ.

Une autre bonne pratique utilisée sur les tranches à forts débits de dose est de créer des zones d'attente protégées à côté des zones de travail très fréquentées. Ces « zones d'ombre radiologique » sont destinées aux intervenants qui attendent pendant des interruptions de travail, aux discussions techniques, etc. Les zones d'implantation types sont dans l'enceinte du REP/REB et à l'intérieur ou à côté du volume d'expansion des REB.

***Région Asie : protection radiologique temporaire***

Dans certaines centrales asiatiques, des analyses coûts-bénéfices de la pose des protections radiologiques doivent être effectuées comme support technique pour la réduction des doses. Des matelas de plomb, murs de plomb mobiles, feuilles de tungstène et boîtes d'eau sont souvent utilisés en fonction des besoins spécifiques des systèmes, composants et environnements de travail. Les supports de blindage sont construits sous forme d'accessoires permanents qui facilitent l'installation des matelas de plomb et minimisent les doses pour les intervenants qui effectuent l'installation. Des protections temporaires ou semi permanentes sont toujours installées pour les activités dans les zones à fort rayonnement pour réduire la dose collective. Des matelas en plomb et tungstène spécialement conçus sont souvent utilisés lors des arrêts pour le blindage des tuyauteries à forts débits de dose dans les zones chaudes. Les matelas contenant du tungstène étant composés d'une certaine quantité de tungstène et de matériaux polymères, ils sont flexibles et peuvent être pliés pour couvrir les tuyaux irradiants.

Pour réduire le niveau d'exposition des zones de travail à fort rayonnement, des protections radiologiques temporaires seront installées, en particulier lors des périodes d'arrêt pour rechargement, sur les tuyauteries et équipements du circuit primaire. Des protections mobiles et fixes doivent également être installées en fonction de l'environnement de travail dans les bâtiments des auxiliaires comme les locaux du RRA et de décharge du générateur de vapeur avec des tuyauteries à fort débit de dose.

***Belgique : protection biologique lors des arrêts (centrale de Doel)***

Dans la centrale de Doel, le personnel affecté à l'installation des protections biologiques est extrêmement qualifié et bien formé. La société à laquelle appartient ce personnel a préparé, pendant un certain nombre d'années, un programme standard pour l'installation des protections biologiques au début de l'arrêt de tranche. Ses travailleurs sont aussi des radioprotectionnistes et sont les seuls, à part les radioprotectionnistes de la centrale et des entreprises prestataire, autorisés à effectuer certaines mesures de débit de dose. Toutes les protections biologiques sont installées au cours des deux ou trois premiers jours de l'arrêt. Seul le département de radioprotection est autorisé à déplacer les protections biologiques ou à modifier les panneaux à proximité (indiquant les points chauds, la classification de la zone, etc.).

**Belgique : protection biologique lors des arrêts (centrale de Doel) (Suite)**

**Installation d'une protection biologique sur un tuyau permettant la surveillance d'une vanne**



**Protection de type « bracelet » sur un tuyau**



**Canada : nouveaux matériaux pour les protections radiologiques (centrale de Pickering B)**

Dans la centrale de Pickering B, l'utilisation de nouveaux matériaux pour les protections radiologiques est motivée par la nécessité de matériaux plus légers, atténuant mieux les rayonnements pour augmenter les sacs PVC au plomb. Les matériaux d'atténuation les plus récents incluent un mélange homogène de particules de tungstène de 50-200 microns réparties dans une matrice en silicone. Cette formulation peut fournir une couche de demi-atténuation de 2,5 cm et permet la production de pièces moulables pouvant s'adapter sur des formes irrégulières pour protéger des rayonnements.

**États-Unis : protections radiologiques temporaires pour le transit des intervenants (centrale de Cook)**

Dans la centrale de Cook d'American Electric Power, plusieurs approches ont été utilisées pour traiter le problème de l'installation des protections temporaires. La dose reçue par les intervenants lors de leur transit peut être un problème important. Pour l'installation des protections temporaires dans l'enceinte inférieure, le chemin le plus court pour les intervenants transportant les protections passe par le sas de l'enceinte inférieure ; toutefois, ce chemin oblige les intervenants à traverser plusieurs champs de rayonnements élevés. Pour éliminer cette dose, le matériel de protection radiologique est désormais transporté depuis l'enceinte supérieure à l'aide de grues et de trappes de plancher. Une protection des voies de transit à fort rayonnement est effectuée au tout début de l'arrêt pour réduire le plus possible les expositions. L'utilisation d'écrans d'eau rapidement installés et retirés et l'installation de supports de suspension permanents pour les éléments de protection dans les zones où des protections temporaires sont systématiquement utilisées lors des arrêts sont également des mesures efficaces.

**France : optimisation de l'installation des protections biologiques**

EDF a développé une méthodologie basée sur son logiciel de modélisation des débits de dose PANTHERE pour définir le scénario optimal pour l'installation des protections biologiques sur les circuits primaires. Cette méthodologie a été appliquée à plusieurs centrales 900 MWe. Il semble qu'il soit possible de réduire les doses d'environ 30 % pour les travaux effectués dans ces zones.

**Japon : protection temporaire pour le remplacement des internes de la cuve (centrales d'Ikata et de Fukushima Daiichi)**

La centrale d'Ikata (Shikoku Electric Power Company) au Japon a effectué un remplacement des internes de la cuve (RIC) dans un REP pour la première fois au monde en 2004. La dose totale pour ce RIC a été inférieure au dixième de la dose prévue. Deux raisons, principalement, ont contribué à ce résultat : i) le débit d'équivalent de dose pour l'ancien conteneur de stockage des IC était en réalité 1/3 des débits théoriques et ii) différentes mesures ont été mises en œuvre pour réduire les expositions, y compris une protection radiologique temporaire. Des protections temporaires ont été installées à différents endroits comme la zone d'attente dans la cavité du réacteur et autour du couvercle de cuve. Les protections temporaires pour le remplacement des internes de la cuve sont illustrées ci-dessous.

***Japon : protection temporaire pour le remplacement des internes de la cuve (centrales d'Ikata et de Fukushima Daiichi) (Suite)***



Dans la tranche 3 de Fukushima Daiichi, un remplacement des internes du réacteur (cloisonnement) a été effectué pour la première fois dans un REB japonais en 1998. Des protections radiologiques temporaires ont été installées afin de réduire la dose totale. Les protections temporaires pour le remplacement des internes du réacteur sont illustrées ci-dessous :

**Protections radiologiques temporaires pour le remplacement des internes du réacteur (REB)**



***Suisse : protections biologiques en plomb lors des arrêts (centrale de Beznau)***

Dans la centrale de Beznau, les protections biologiques n'étaient installées initialement que dans les zones de maintenance et de surveillance et la quantité de plomb utilisée était très faible. Au début des années 90, la dose reçue par les personnes installant les protections au plomb était très faible en comparaison avec la dose économisée pour les autres opérateurs en installant ces protections. La quantité de protections biologiques pour l'arrêt a donc considérablement augmenté et est passée à 120 tonnes en 1999 pour le remplacement du générateur de vapeur de la tranche 2. Jusqu'au début des années 2000, 80 tonnes de plomb étaient utilisées en moyenne pour chaque arrêt. Une nouvelle politique a été mise en place : installation de protections biologiques uniquement dans les zones où sont effectués des travaux pendant l'arrêt. Cette politique a réduit la quantité de plomb utilisée à environ 40 tonnes par arrêt sans augmentation de la dose collective pour les travaux de maintenance.

***Protections radiologiques permanentes***

Bien que la mise en place de protections temporaires soit souvent efficace lors des arrêts de tranche, l'installation de protections radiologiques permanentes peut être efficace dans le cas où la réduction de l'exposition globale des travailleurs pour une tâche donnée est faible par rapport à la forte exposition reçue lors de l'installation des protections temporaires, par exemple, dans les zones à forts débits de dose et dans les endroits d'accès difficile. Lorsque des protections radiologiques permanentes sont installées, il est nécessaire d'étudier les conditions de stabilité et de sécurité des protections, en particulier la sûreté parasismique. Des protections permanentes partiellement démontables peuvent également être un moyen efficace de réduire les doses tout en facilitant l'accès par une trappe ou autre ouverture pour le contrôle de la tuyauterie et des équipements.

***Allemagne : protections mobiles et échafaudages permanents (centrale de Philippsburg)***

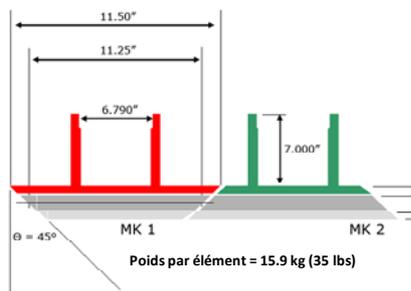
Dans la centrale de Philippsburg, un groupe de travail a été mis en place pour étudier les protections radiologiques mobiles qui étaient devenues « des installations quasi fixes » afin de les transformer en protections fixes si leur stabilité avait été prouvée et si elles ne perturbaient pas les systèmes de sûreté en cas de séisme.

**Allemagne : protections mobiles et échafaudages permanents (centrale de Philippsburg) (Suite)**

Lors des arrêts de tranche, dans les zones où sont présents en permanence de forts débits de dose, des échafaudages permanents sont nécessaires pour les travaux de maintenance. Ces échafaudages peuvent, s'ils sont contrôlés et homologués, être installés en permanence après étude de leur stabilité et des conditions possibles en cas de séisme. Il est possible ainsi d'obtenir une réduction d'environ 2 à 3 mSv de la dose collective induite par le montage puis de démontage de l'échafaudage.

**Canada : protection radiologique à la surface d'un réacteur CANDU (centrale de Pickering B)**

Le couvercle ReactorShield est un dispositif de protection radiologique (de forme carrée) composé d'un alliage de plomb (d'1/2 pouce d'épaisseur) pris en sandwich entre 2 morceaux de plastique. Les quatre bords sont biseautés de manière à compléter les pièces adjacentes et créer une configuration d'emboîtement. Cette configuration minimise les espaces entre les pièces adjacentes une fois installées. Les couvercles ReactorShield se sont révélés très efficaces et permettent une réduction excellente et constante des champs de rayonnements généraux et du rayonnement continu émanant de la surface. Cette protection radiologique a été utilisée avec succès lors des campagnes antérieures de remplacement des tubes de force.



**Espagne : utilisation de protections biologiques (centrales d'Almaraz et de Cofrentes)**

La centrale d'Almaraz (REP) est équipée d'une grande quantité de protections biologiques fixes (25 tonnes). Des protections biologiques fixes sont installées autour des tuyaux et des vannes qui contribuent de manière importante au débit de dose ambiante. Une partie de ces protections sont équipées de trappes d'accès pour permettre l'ouverture ou le contrôle des vannes. Par conséquent, une quantité minimale de protections biologiques (environ 6 tonnes) est installée lors des arrêts de tranche.

**Protection au plomb permanente sur un tuyau du bâtiment des auxiliaires nucléaires d'Almaraz**



**Protection biologique fixe avec trappe d'accès pour contrôle d'une vanne dans la centrale d'Almaraz**



La conception a été repensée pour minimiser, dans la mesure du possible, les rayonnements gamma et le flux neutronique dans une cavité à l'intérieur de l'enceinte de confinement. L'objectif était de remplir une cavité placée dans le mur entre le réservoir des drains primaires (RCDT) et la galerie de l'instrumentation du cœur. La cavité, fermée à l'aide d'une plaque métallique prête à s'ouvrir à des pressions supérieures à 2 psi (conditions de dimensionnement APRP (accident de perte de réfrigérant primaire), n'était plus nécessaire à cause de l'application du concept « Leak before break » (fuite avant rupture). La cavité a été remplie de blocs de béton fixés par des tôles métalliques. Cette modification a été mise en œuvre lors du 13<sup>ème</sup> arrêt d'Almaraz 2 en 2001 et du 15<sup>ème</sup> arrêt d'Almaraz 1 en 2002. Les doses internes et externes reçues lors de l'exécution des travaux ont été négligeables. Pendant le fonctionnement en puissance, la maintenance de la pompe des drains primaires conduisait habituellement à des doses individuelles et collectives élevées qui, après cette modification, ont été considérablement réduites. Les niveaux de rayonnements avant et après sont listés dans le tableau ci-dessous.

**Espagne : utilisation de protections biologiques (centrales d'Almaraz et de Cofrentes) (Suite)**

Mode de fonctionnement	Niveau de rayonnements au contact de la cavité (mSv/h)			
	Rayons gamma		Rayonnements neutroniques	
	Avant CC*	Après CC	Avant CC	Après CC
Rechargement (doigts de gant retirés)	10,0	0,06	–	–
Puissance	26,0	0,10	48,0	0,025

\* CC : changement de conception

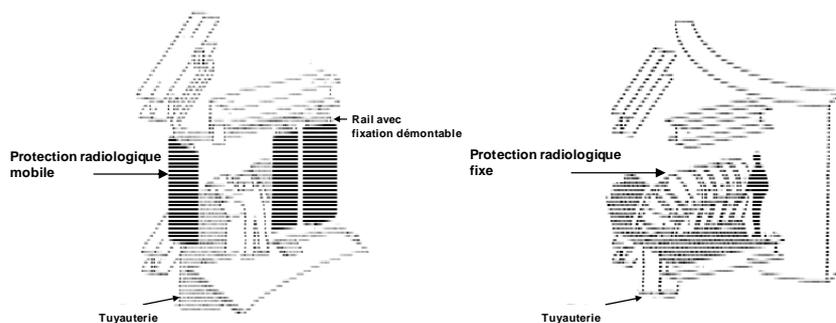
Dans la centrale de Cofrentes (REB), jusqu'à 80 % des doses sur 3 ans à l'intérieur du volume d'expansion proviennent du circuit de recirculation et du système de purification. Des protections radiologiques permanentes ont été installées dans les zones de passage et d'irradiation et ont conduit à des réductions de plus de 50 % des valeurs habituellement observées. Leur installation était moins risquée et avait moins d'impact radiologique pour les travailleurs par rapport à des protections temporaires. Les protections permanentes sont composées de matelas de plomb recouverts d'une toile ininflammable et fixés sur les structures des auxiliaires.

Débit de dose avant mise en place des protections (mSv/h)	Débit de dose après mise en place des protections (mSv/h)
0,7	0,42
2,86	0,36
1,1	0,3

**Japon : protection radiologique permanente mobile**

Dans certains REB japonais, une protection radiologique « permanente mobile » a été installée pour diminuer les temps d'installation et de retrait et les expositions correspondantes des intervenants lors des travaux de maintenance. Des facteurs de réduction du temps de travail de 10 à 20 et des réductions du débit de dose pouvant atteindre 20 % par rapport aux systèmes de protections radiologiques classiques (feuilles de plomb et couvertures au plomb) ont été constatés.

La protection radiologique permanente mobile a été conçue pour faciliter l'accès aux tuyauteries et équipements à inspecter. Les matelas de plomb mobiles sont suspendus sur des rails et des poutres parasismiques installés définitivement. Les matelas sont suspendus côte à côte et leur balancement est empêché grâce à des fixations en bas ; ils peuvent donc être laissés en place pendant le fonctionnement de la centrale. Une fois détachés de leurs fixations, les matelas peuvent être glissés le long des rails suffisamment pour permettre un accès facile à l'espace de travail tout en assurant encore une certaine protection. Il n'y a pas besoin de prévoir un espace de rangement pour les protections retirées (aucune n'est retirée) et les matelas sont disposées de façon compacte pour laisser un espace de travail suffisant. L'illustration montre un espace de travail protégé par des écrans classiques et par des écrans permanents mobiles.



**Transfert des travaux loin des sources de rayonnement**

Outre les réductions de dose pouvant être obtenues en réduisant le terme source physique ou via l'utilisation de protections radiologiques, il est possible, dans certains cas, d'obtenir des réductions en augmentant la distance entre l'intervenant et la source. Les approches envisageables incluent la préfabrication/pré-assemblage des équipements ou pièces en dehors de la zone de travail ou l'envoi des composants dans des zones de regroupement à faibles débits de dose ou des ateliers d'usinage pour la maintenance. Les préparateurs ainsi que les ingénieurs d'études et les techniciens de maintenance sont en charge de l'identification des composants qui peuvent être fabriqués dans des ateliers

d'usinage ou d'électricité à l'extérieur des zones irradiantes avant l'installation. Cette technique a été utilisée avec succès, par exemple, pour la préfabrication des tronçons de tuyauterie, des soudures de brides, des jambes de force des tuyaux et le câblage électrique des actionneurs de vanne. S'il est bien planifié, une grande partie du soudage peut être effectuée à l'extérieur de la zone irradiante sans les contraintes de conditions inconfortables et d'exposition aux rayonnements. En plus de réduire les doses, cette technique améliore la qualité et diminue les reprises.

Une autre technique utile est le transfert des composants des zones à forts débits de dose vers des zones à faibles débits de dose pour la maintenance. Le démontage des actionneurs de vanne pour l'entretien, des disques de soupapes pour l'usinage et des moteurs de pompe ou des pompes pour le contrôle en sont de bons exemples. Le matériel peut simplement être amené dans une zone proche à faible débit de dose ou dans un atelier chaud sur place pour les travaux de maintenance.

## **6.5 Outils et équipements**

### ***Atelier chaud et atelier de décontamination***

Un atelier « chaud » est nécessaire pour entretenir les internes des composants de la centrale, les pièces de rechange et les outils, contaminés dans la zone contrôlée. La présence d'un tel atelier à l'intérieur de la zone contrôlée évite d'avoir à décontaminer et envoyer les pièces dans un atelier « froid » (non-contaminé) pour les travaux de maintenance. Un atelier chaud bien équipé et d'une même qualité que l'atelier froid peut améliorer la qualité de la maintenance et faire gagner du temps et de l'argent. Des équipements spécialisés permettront la maintenance des composants compliqués.

Des ateliers de décontamination spéciaux sont parfois intégrés dans la conception des centrales REP et REB. Ces installations, placées à proximité de l'atelier chaud, sont destinées à tous les composants ou internes qui peuvent être déplacés (éventuellement après démontage) et aux outils. Elles se sont révélées très efficaces pour réduire les débits de dose et la contamination à des niveaux faciles à gérer dans l'atelier chaud ou sur la zone de travail et réduire ainsi les expositions lors des travaux de maintenance. Implanter l'atelier chaud au voisinage de l'atelier de décontamination facilitera également les travaux de maintenance et réduira les doses des intervenants. Une vaste gamme d'équipements, qui ne peuvent pas être utilisés sur la zone de travail, est disponible pour réaliser la décontamination :

- chambres de décontamination pour les gros composants ;
- coffrets de décontamination pour les pièces plus petites ;
- bains de différentes tailles, équipés pour le nettoyage aux ultrasons et aussi utilisés pour la décontamination (électro)chimique ;
- systèmes à jet d'eau à haute pression (130-250 bars) à utiliser dans les chambres/coffrets de décontamination ;
- systèmes de projection de billes d'acier, verre, etc., à utiliser dans les chambres/coffrets de décontamination.

### ***Outillage spécialisé***

Avoir de bons outils est essentiel pour les intervenants sur le terrain pour maintenir les doses ALARA, et le processus de préparation et les procédures de travail finales doivent garantir que les équipes obtiendront tous les outils appropriés pour leurs chantiers. La disponibilité des outils, les procédures de contrôle et de tenue des lieux doivent empêcher les problèmes dus à la fourniture d'outils inadéquats ou de laisser des outils dans les zones sous rayonnements ce qui nécessite un nettoyage par les équipes de soutien et entraîne des doses supplémentaires. Les points importants pour l'outillage en ce qui concerne les contrôles techniques sont l'identification, l'achat ou le développement d'outils spécialisés et la formation à leur utilisation.

Les outils spécialisés qui aident à réduire les doses sont, par exemple, les machines à couper, meuler et souder automatisées/télécommandées, les appareils d'inspection en service (ISI) télécommandés ou les outils d'alignement/levage des dispositifs autobloquants. Un grand nombre de ces outils spécialisés sont couramment utilisés et leur bonne sélection peut réduire le temps de travail et la dose. Le coupage à l'arc avec jet d'air est généralement plus rapide que l'oxycoupage. De petits outils comme des miroirs montés sur des tiges rétractables peuvent faciliter les inspections de zones peu accessibles. Les autres outils servant à faciliter l'accès sont, par exemple, les chariots élévateurs électriques, les échelles qui réduisent la dose provenant des échafaudages du bâtiment et les caméras vidéo placées sur de longues tiges rétractables pour les contrôles visuels dans les zones surélevées. Habituellement, trois principaux types d'outils spécialisés peuvent être envisagés :

- les supports pour le contrôle et la maintenance : un « support » est un système flexible sur lequel peuvent être montés plusieurs outils différents servant à plusieurs interventions (par exemple, le même support peut être utilisé dans la boîte à eau du générateur de vapeur pour l'essai par courants de Foucault, pour le bouchage, etc.) ;
- les outils de maintenance : ils ne peuvent être utilisés que pour un seul type d'intervention (par exemple, ouverture et fermeture des goujons du couvercle de cuve) ;
- les outils développés pour les contrôles assistés par caméra ou les examens non destructifs (par exemple, manipulateur « RITMIC » développé pour la mise en œuvre du contrôle par courants de Foucault dans les boîtes à eau).

Dans certains cas, pour les travaux de réparation, contrôle et remplacement, des outils très spécialisés et sophistiqués ont été développés. Pour tester ces outils, des maquettes ont été utilisées pour s'assurer de leur bon fonctionnement et pour familiariser le personnel. Ces deux aspects aident à éviter les incidents sur le chemin critique et à réduire les doses.

***Canada : affichage des données des relevés courants et du tritium en temps réel***

Dans le cadre des exigences réglementaires, certains niveaux de risques radiologiques doivent être affichés de manière durable et visible. Traditionnellement, on utilise à cet effet de grands tableaux à essuyage à sec. Actuellement, Ontario Power Generation utilise la technologie IP (protocole internet) courante et un système de panneaux LCD électroniques avec des ordinateurs bon marché, ou « briques », comme moteurs IP. Les résultats des techniciens chargés des relevés ainsi que ceux des systèmes de surveillance en continu des rayonnements (RARM) qui comportent les niveaux de tritium sont affichés dans tous les sas de la tranche en temps réel.

***Japon : nettoyeur spécialisé avec brosses et buses à jet haute pression***

Dans les REB japonais, le nettoyage des déminéraliseurs de condensats concerne plusieurs centaines d'éléments qui exigent chacun un nettoyage manuel à la brosse effectué par des prestataires avec des masques faciaux et des vêtements en plastique. Cette tâche nécessite quatre intervenants pendant sept jours pour deux réservoirs de résine de déminéraliseur. Compte tenu du temps requis et du niveau d'exposition induit, un nettoyeur spécial avec des brosses et des buses à jet d'eau haute pression logées dans un petit coffret ventilé a été développé et utilisé sur le site de Fukushima Daiichi de Tokyo Electric Power Company. Le temps nécessaire pour nettoyer les éléments a été raccourci d'un facteur 5, et les respirateurs et vêtements (du haut) en plastique ne sont plus nécessaires. Le confort des intervenants et l'image du travail de nettoyage ont été considérablement améliorées.

	<b>Brosse manuelle</b>	<b>Coffret de nettoyage</b>
Temps pour nettoyer 432 éléments du condenseur	127 h	26 h
Nombre de vêtements en plastique et de respirateurs nécessaires	56	0

***Robotique***

Les robots mobiles et les télémanipulateurs développés pour l'industrie nucléaire ont trouvé des usages rentables dans les domaines de la manutention des déchets radioactifs, des inspections sous-marines, de la décontamination des équipements, de la surveillance dans les zones à fort rayonnement et

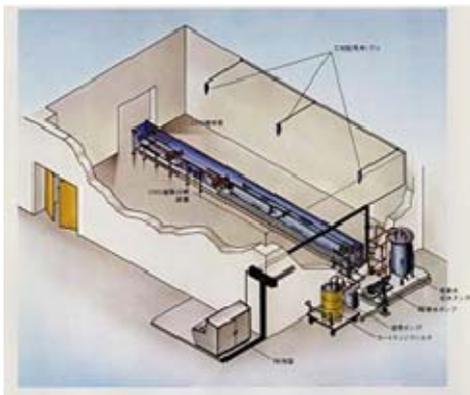
des relevés radiologiques. Souvent, la télémanipulation est la seule solution pour les travaux de réparation dans les zones à fort rayonnement comme l'intérieur du réacteur. Pour les interventions après des accidents graves, il existe des robots qui peuvent monter les escaliers, plonger sous l'eau et transporter des éclairages, des caméras et des équipements de détection des rayonnements. De petites tâches peuvent même être effectuées comme la récupération de matériel/équipements. D'autre part, il existe des possibilités de développement de robots industriels plus sophistiqués à utiliser dans les zones à hauts risques radiologiques comme la décontamination de composants ou de tuyauteries après remplacement.

**Japon : robots dans les centrales de Tokyo Electric Power Company et Kyushu Electric Power Company**

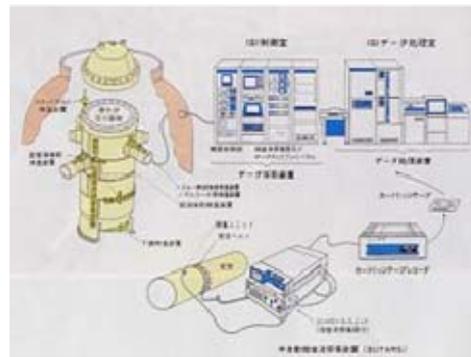
Les technologies robotiques suivantes sont utilisées par Tokyo Electric Power Company :

- machine de manutention du combustible (MCG) ;
- robot de démontage automatique des mécanismes de commandes de grappes (démontage et nettoyage à distance des MCG) ;
- machine de manutention des MCG ;
- appareil de contrôle par ultrasons de la cuve ;
- appareil de serrage des boulons du couvercle de cuve ;
- engin télécommandé.

**Appareil de démontage automatique des MCG**



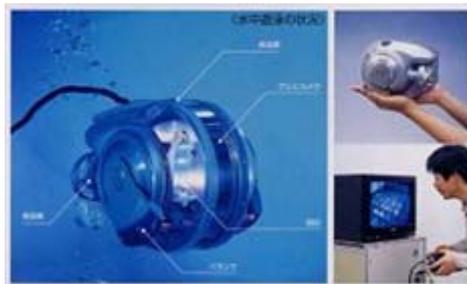
**Appareil de contrôle de la cuve par ultrasons**



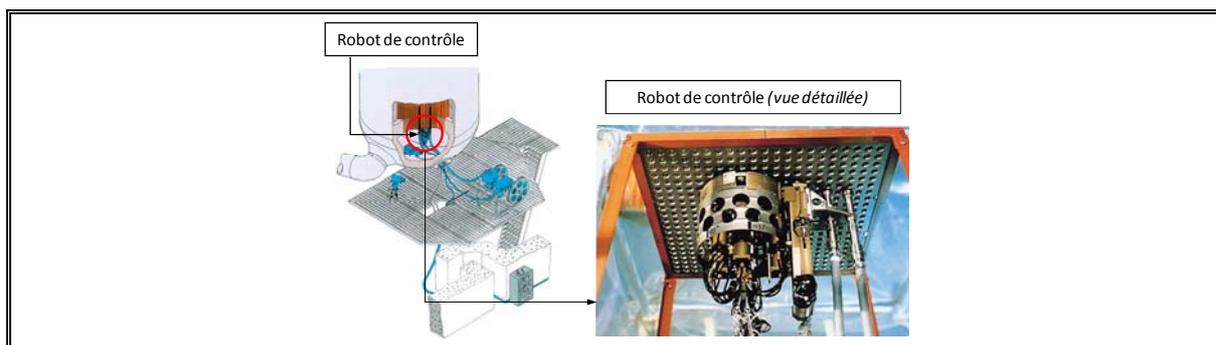
**Appareil de serrage des boulons du couvercle de cuve**



**Engin télécommandé**



Dans la centrale de Kyushu Electric Power Company, des robots sont utilisés pour le contrôle par courants de Foucault des tubes du générateur de vapeur.



## 6.6 Équipements de protection individuelle

Le contrôle de la contamination est l'un des moyens fondamentaux pour réduire le risque radiologique des intervenants. Maintenir propre (d'un point de vue radiologique) les zones de la centrale réduit la nécessité du port de protections respiratoires et de vêtements de protection et augmente ainsi la productivité. Une meilleure productivité fait gagner du temps et réduit les doses. Il est couramment admis que le port de vêtements de protection nuit à la dextérité, au confort et à la mobilité et peut constituer pour l'intervenant un facteur de stress dû à la chaleur. Les appareils de protection respiratoire (i.e. masque facial complet, heaumes ventilés, tenues ventilées) nuisent à la vision et gênent la communication orale.

Il est donc important de conserver un environnement de travail où les vêtements de protection et les équipements de protection respiratoire ne sont pas nécessaires. Toutefois, lorsque l'utilisation d'équipements de protection individuelle est inévitable, leur sélection doit tenir compte de la nature du risque radiologique, des travaux à effectuer et de l'impact sur l'efficacité du travail.

## 6.7 Optimisation des lieux de travail et coordination des travaux

Un des éléments principaux de la préparation des travaux est l'optimisation de la zone de travail pour améliorer les conditions de travail (voir également chapitre 5). Les travaux doivent être planifiés et préparés en ayant connaissance de toutes les opérations prévues dans la même zone. C'est particulièrement important pour une utilisation optimisée de tous les équipements et activités de logistique. Par exemple, l'évacuation de grandes quantités de déchets radioactifs, en particulier les déchets à fort débit de dose/activité générés lors des opérations de maintenance, doit être bien préparée et planifiée pour aider à maintenir de faibles débits de dose sur les lieux de travail. L'enlèvement des matériaux isolants des grosses tuyauteries doit être préparé et planifié en même temps que les travaux de calorifugeage. Pour les pièces avec des débits de dose extrêmement élevés (i.e. provenant de l'intérieur de la cuve) un stockage intermédiaire blindé doit être préparé dans le cadre de la préparation de l'intervention.

L'impact direct de facteurs tels que l'organisation générale des tâches ou la préparation des travaux est plus difficile à quantifier. Néanmoins, leur importance a été soulignée par l'analyse de la maintenance périodique et des opérations post-incidentelles. L'analyse a montré qu'en moyenne 20 à 30 % de la dose collective associée à ces opérations pourraient être dus à des aléas ou à de mauvaises conditions de travail (Schieber, 1994). Une quantification de ces facteurs est essentielle pour les études d'optimisation de la radioprotection. Ces études peuvent servir non seulement à évaluer les gains en dose mais aussi à calculer les gains en coût car la réduction du temps d'exposition conduit parfois à une réduction des coûts d'exploitation associés aux travaux.

Même si une bonne préparation a été faite, la présence sur le lieu de travail d'une personne chargée de s'assurer que les travaux sont bien coordonnés est nécessaire. Ces coordinateurs doivent

communiquer l'état des travaux au comité de pilotage de l'arrêt de tranche. La désignation de managers d'arrêt est une méthode efficace pour assurer la surveillance permanente et l'encadrement sur le terrain des travaux du chemin critique. La comptabilisation des doses par les contremaîtres est importante pour garantir le respect des prévisionnels de dose établis pour les tâches.

Un des résultats de contrôles agressifs des méthodes de travail est l'acceptation par le personnel du fait que l'exposition aux rayonnements est un « problème de qualité ». L'accumulation de doses inutiles sera suivie par les superviseurs pour éviter que ce problème ne se reproduise.

***Roumanie : contrôle des canaux de combustible***

Suite à l'élaboration d'une procédure de travail, une « procédure radioprotection pour le contrôle des canaux de combustible » a été établie. Avant le début du chantier, de nombreux entraînements simulant les conditions spécifiques sur la surface du réacteur ont été menés. Des personnes nommées appartenant aux départements suivants y ont participé : manutention du combustible, maintenance, électricité, radioprotection et personnel de l'EACL. Les travaux ont été effectués en continu : pendant les quarts de jour, des contrôles des canaux de combustible ont été effectués et pendant les quarts de nuit, des activités préparatoires ont été exécutées pour les canaux devant être inspectés le jour suivant. Grâce aux mesures de radioprotection et aux pratiques de travail mises en œuvre il n'y a eu ni contamination interne du personnel ni propagation de la contamination à l'extérieur de la zone à couvre-chaussure (« Rubber Area »).

## **6.8 Résumé**

Il est essentiel d'optimiser le lieu de travail du point de vue du terme source, de la réduction des expositions et de l'amélioration de l'efficacité du travail. Un des éléments de cette réduction est relatif au débit de dose dans la zone de travail. La suppression du terme source, sa réduction par la mise en place de protections radiologiques ou par un contrôle permanent sont des moyens efficaces de réduire les débits de dose. L'utilisation de différents outils et équipements facilitant l'exécution des travaux est également un bon moyen de réduire les expositions. Il est important de tirer profit de ces techniques dans le cadre de la préparation des travaux car des méthodes efficaces ont été mises au point et l'expérience acquise est considérable. Enfin, les tâches de soutien comme l'optimisation du planning des travaux et leur coordination dans les zones de travail sont également des composants essentiels de la préparation des travaux.

## 7. RÉALISATION DES TRAVAUX

*Lors de la réalisation des travaux, il est essentiel de garantir un contrôle efficace de la radioprotection « sur le terrain ». Ce contrôle comprend les aspects organisationnels comme la présence du personnel de radioprotection et l'existence de procédures spécifiques ainsi que les aspects techniques comme l'utilisation de la télésurveillance, les systèmes de contrôle d'accès, etc. Le but de ces contrôles est notamment de vérifier que ce qui a été prévu pour garantir la radioprotection des intervenants a été bien mis en place, d'identifier et de mettre en œuvre, si nécessaire, les mesures correctives et de rassembler les données de retour d'expérience.*

### 7.1 Introduction

La phase de réalisation des travaux englobe l'exécution des travaux et les mesures prises au cours de cette période qui affectent ou facilitent le travail. L'organisation du travail peut contribuer efficacement, dans de nombreux domaines, à diminuer les doses, le temps et le coût. Un contrôle efficace des méthodes de travail aidera à garantir que les objectifs fixés lors de la préparation des travaux sont atteints. La réduction des doses de transit et des doses inutiles sera facilitée en fournissant aux intervenants suffisamment d'informations radiologiques et spécifiques à la tranche et au travail. Enfin, la collecte du retour d'expérience favorisera l'organisation du travail en temps réel et facilitera la préparation des futurs travaux.

### 7.2 Contrôle des méthodes de travail : partage des responsabilités

Les contrôles des méthodes de travail (voir paragraphe 5.4) sont essentiels pour la réussite des arrêts bien préparés. Étant donné que de nombreuses personnes participent à ces contrôles, il est important d'établir clairement les responsabilités de chacune d'entre elles pour créer une organisation polyvalente capable de coordonner les travaux et résoudre les problèmes rencontrés. La communication entre ces différents acteurs est un élément essentiel.

#### *Responsables de chantiers/superviseurs des travaux*

Les responsables de chantiers ou les superviseurs des travaux jouent un rôle important car ils sont en contact direct avec les intervenants effectuant les travaux. Pour contrôler efficacement les travaux, les superviseurs doivent passer suffisamment de temps sur les lieux de travail pour être au courant de l'avancement et des problèmes. Il est également nécessaire de favoriser une collaboration étroite entre les superviseurs et le personnel de radioprotection pendant l'arrêt. Les chargés de travaux, souvent des prestataires, doivent pouvoir travailler en étroite collaboration avec le superviseur chargé de collecter les informations concernant l'avancement des travaux et les problèmes rencontrés. Pour résoudre les problèmes, la communication entre les services doit être rapide et efficace. À cet effet, il est utile d'identifier les personnes qui coordonneront les informations et feront les comptes-rendus à la structure de gestion de l'arrêt de tranche. La comptabilisation des doses au niveau du chargé de travaux est importante pour l'entière acceptation de la responsabilité des prévisionnels de dose établis pour les tâches dont il a la charge.

La réunion quotidienne d'arrêt de tranche doit permettre la résolution « en temps réel » des problèmes identifiés, la planification des travaux « fortuits » urgents et la communication des travaux non programmés de la même manière que pour les travaux planifiés (voir chapitre 5). Il est important que les superviseurs des tâches, le personnel de radioprotection et les personnes chargées de la préparation et de la planification assistent à cette réunion. Il est également important au cours de cette réunion d'informer la structure de gestion de l'arrêt de l'évolution réelle de la dose et de la comparer avec la dose prévue. Si des problèmes spécifiques sont rencontrés, la participation des prestataires doit être envisagée le cas échéant.

***États-Unis : responsables « make-it-happen »***

Les centrales américaines emploient généralement des responsables « make-it-happen » pour assurer la surveillance permanente et l'encadrement sur place des travaux du chemin critique. Ces responsables à qui est assignée la responsabilité d'un chantier ou de travaux particuliers veillent à ce que les obstacles rencontrés soient surmontés. Ces problèmes peuvent être un manque de soutien logistique (échafaudages, équipes chargées de l'isolation ou de la protection radiologique, utilisation du pont polaire, équipes de maintenance ou d'entretien électrique, etc.), des problèmes procéduraux rencontrés au cours des travaux ou travaux « urgents » non prévus découverts lors des activités de maintenance (vanne cassée ou qui fuit, pompe défectueuse, etc.). Dans chaque cas, le responsable « make-it-happen » est chargé de coordonner, de manière pluridisciplinaire, la réponse à ces problèmes en veillant à ce qu'elle ne nuise pas aux travaux en termes de temps, coût et dose.

Dans les REB, jusqu'à 65 % de la dose totale pour l'arrêt provient des activités dans le volume d'expansion. Aux États-Unis, l'affectation de responsables et coordinateurs des travaux dans le volume d'expansion dont les seuls buts sont la surveillance et le contrôle des méthodes de travail, a permis de réduire la durée des travaux et la dose dans cet endroit critique de la centrale.

***France : réunions avant travaux***

À EDF, deux réunions regroupant les représentants des prestataires et le personnel de la centrale (spécialistes en radioprotection, contremaîtres, etc.) sont systématiquement organisées pour identifier les particularités des travaux et les besoins logistiques : une première réunion environ un mois avant les travaux et une seconde réunion le jour précédant les travaux. EDF a également expérimenté lors de certains de ses arrêts de tranche l'emploi à plein temps d'un coordinateur bâtiment réacteur qui est la personne à contacter pour tous les problèmes rencontrés tels que panne de courant électrique, problèmes d'ascenseur, questions sur les permis de travail, etc.

***Personnel de radioprotection***

Bien que les rôles spécifiques du personnel de radioprotection ainsi que le niveau de responsabilité qui lui est assigné concernant la radioprotection puissent varier d'un pays à l'autre, sa fonction essentielle est de fournir une assistance aux intervenants et les conseiller. Les intervenants doivent donc pouvoir identifier le technicien RP qui suivra leur travail. Cette identification sera évidemment faite si les intervenants reçoivent un « permis de travail radiologique » délivré par le groupe RP. Il est également possible de désigner un technicien RP spécifique pour la surveillance d'un type de travail. Le personnel RP a également le devoir essentiel de fournir des informations opportunes et pertinentes à la direction de la centrale pour permettre aux responsables de remplir leurs fonctions qui consistent à s'assurer que les doses restent ALARA (aussi faibles que raisonnablement possible) et que les matières radioactives sont convenablement contrôlées.

Pour garantir que les contrôles réguliers de radioprotection sont effectués, en particulier lors de travaux qui modifient l'environnement radiologique, des « points d'arrêt radioprotection » doivent être incorporés dans les procédures de travail. Le but de ces points d'arrêt est de « forcer » les intervenants à arrêter le travail jusqu'à ce que les conditions radiologiques soient contrôlées par un technicien RP ou à vérifier que les mesures de radioprotection ont été mises en œuvre (par exemple installation de protections radiologiques, mise à jour de la cartographie des débits de dose et de la contamination,

etc.). Dans de nombreuses centrales, il est prévu que le responsable de la radioprotection ou ses représentants aient le pouvoir d'arrêter les activités sur le terrain dans les cas suivants :

- modification des conditions radiologiques ;
- retrait non autorisé de protections temporaires ;
- activités improductives du fait d'une préparation inadéquate.

### **7.3 Systèmes de contrôle d'accès**

#### ***Permis de travail radiologique et zones contrôlées***

Les permis de travail radiologique élaborés lors de la phase de préparation (voir chapitre 5.4) doivent être délivrés aux intervenants par le personnel RP. Comme les permis comportent habituellement les prévisions de doses et de conditions radiologiques (débits de dose, niveaux de contamination, etc.), ils doivent être modifiés si les conditions réelles diffèrent de celles prévues. Les permis peuvent inclure des « critères d'arrêt de l'activité » (par exemple en cas de modification des conditions radiologiques pendant l'activité, incidents majeurs, etc.) qui obligent les intervenants à contacter le personnel RP si ces critères sont remplis. Une liaison entre le système de dosimétrie électronique et les outils d'identification des permis de travail radiologique est souhaitable pour collecter directement la dose individuelle et les expositions collectives associées aux travaux pour lesquels le permis a été délivré.

Le contrôle d'accès à la zone contrôlée et du temps passé dans cette zone, en particulier dans la partie où les intervenants sont exposés aux rayonnements ionisants, est important pour réduire les doses. Un contrôle « électronique » à l'entrée de la zone contrôlée peut être mis en place à l'aide des permis: l'intervenant est autorisé à accéder à la zone contrôlée uniquement à la date prévue sur le permis. Parfois, cependant, ce système peut s'avérer insuffisant, par exemple si la période allouée est très longue. Il peut donc être utile de désigner une personne qui sera chargée de contrôler l'accès.

#### ***Systèmes de dosimétrie électroniques***

Les dosimètres personnels et électroniques permettent de surveiller et de suivre la dose en temps réel lorsqu'ils sont utilisés avec des logiciels et matériels de dosimétrie en temps réel. Ces systèmes fournissent les niveaux d'alarme en débit de dose, dose totale et durée d'exposition avec un niveau élevé d'intégrité et la possibilité de récupération des données (les données peuvent être récupérées même si le dosimètre a été endommagé). Pour aider à éviter de fortes expositions non prévues, il peut être utile de définir des restrictions de dose et de vérifier les doses des intervenants à l'entrée et à la sortie des zones contrôlées. Des mises à jour automatiques de la dose des intervenants quittant la zone et le pointage sur des postes de lecture des doses en temps réel, éliminent les erreurs associées à la lecture d'échelles analogiques sur des dosimètres à lecture directe ou des chambres d'ionisation de poche, ou les erreurs de saisie de données pour les doses des permis de travail radiologique. Cela permet une meilleure corrélation entre les dosimètres électroniques et les dosimètres officiels (généralement dosimètres thermoluminescents ou à film photographique). Certaines centrales apportent actuellement des modifications à leur programme de surveillance radiologique pour permettre l'utilisation de dosimètres électroniques en tant que dosimètre officiel.

Les seuils d'alarme des dosimètres électroniques peuvent être définis sous forme de débit de dose ou de dose individuelle. Habituellement, lorsque les intervenants entrent le code de travail, les seuils d'alarme sont immédiatement fixés. Le seuil doit être assez bas pour éviter les expositions accidentelles tout en étant assez haut pour permettre l'exécution des travaux selon les conditions radiologiques spécifiques. Les intervenants doivent être formés aux actions à exécuter si une alarme se déclenche (sécuriser le travail, aller dans une zone de plus faibles rayonnements, demander l'assistance de la RP, etc.). Il faut veiller au bon positionnement des dosimètres, i.e. à l'extérieur des vêtements afin que les alarmes soient visibles et audibles.

L'association d'une dosimétrie électronique et d'un système de contrôle d'accès électronique peut constituer une forme de contrôle d'accès aux zones contrôlées ou aux lieux de travail, en vérifiant la formation en radioprotection et les homologations pour le port de masques et en fournissant presque instantanément la dose cumulée de chaque intervenant. Les systèmes de contrôle d'accès, en combinaison avec un système de permis de travail radiologique, peuvent empêcher le personnel non autorisé de pénétrer dans les zones contrôlées. La même chose peut être faite pour les restrictions locales (i.e. aire de rechargement). Ces systèmes sont également utiles pour l'enregistrement et le suivi des doses en fonction des travaux ou des zones.

### ***Contrôles des zones à fort rayonnement***

Les règles régissant l'accès aux zones à fort débit de dose doivent être clairement définies. Habituellement, ces zones sont fermées par différentes clés détenues par différents superviseurs (superviseur RP, chef d'exploitation, directeur de la centrale, ...). Pour accéder à ces zones, les intervenants doivent avoir reçu l'accord de tous ces superviseurs et doivent participer à un briefing avant le début des travaux (pre-job briefing) expliquant les risques spécifiques associés à ces zones, les mesures de protection nécessaires et toutes les informations utiles pour leur sécurité et radioprotection.

#### ***Allemagne : concept pour l'utilisation de dosimètres personnels électroniques officiels***

Les dosimètres personnels électroniques (EPD) contribuent à un meilleur contrôle des expositions et au développement d'une culture de radioprotection solide due au retour direct d'informations sur les doses. Actuellement, l'utilisation des EPD en Allemagne se limite à la mesure de la dosimétrie opérationnelle. Généralement, les EPD sont utilisés en plus des dosimètres passifs officiels dans les grosses installations nucléaires comme les centrales nucléaires, les usines du cycle du combustible, les grands centres de recherche et dans les grands hôpitaux.

Dans le cadre de l'utilisation d'un système de dosimétrie officiel en Allemagne, l'accent est mis sur la composition globale des composants nécessaires pour mesurer la dose efficace, pour lire les données mesurées sur le dosimètre, pour transmettre les données à une organisation d'évaluation compétente et pour déduire la dose efficace des données mesurées. On s'attend à ce que le concept « pool » (prise d'un dosimètre parmi une flotte de dosimètres juste avant l'accès en zone contrôlée et sa remise en quittant la zone) avec contrôle d'accès soit le concept type utilisé dans les centrales nucléaires.

#### ***Allemagne : moniteurs portiques (centrale de Philippsburg)***

Dans la centrale de Philippsburg, des moniteurs portiques (détecteurs), capables de mesurer simultanément la contamination bêta et gamma à la sortie des zones de radioprotection sont utilisés. Toute la surface du corps y compris les mains, la tête et les pieds est mesurée par 14 compteurs proportionnels à gaz bêta. Juste derrière les compteurs bêta, deux gros détecteurs gamma supplémentaires (scintillateurs plastiques) sont placés au niveau de la poitrine (à gauche et à droite). Comme ils ne sont sensibles qu'aux rayonnements gamma, ils peuvent détecter l'activité gamma incorporée éventuellement présente. Le seuil de détection est d'environ 1000 Bq (par rapport au  $^{60}\text{Co}$ , erreur  $3\sigma$ ) pour un temps de mesure de 10 secondes. Ainsi, en cas de présence de contamination interne, l'intervenant doit immédiatement faire un comptage corps entier pour obtenir une évaluation plus précise de la dose.

#### ***Belgique : systèmes de badges d'entrée et de sortie (centrale de Doel)***

Dans la centrale de Doel, des systèmes de « badges d'entrée et de sortie » sont utilisés à l'entrée de la zone contrôlée ainsi qu'à chaque étage du bâtiment réacteur pour certains travaux spécifiques (générateurs de vapeur, pompes primaires, ...).

#### ***Belgique, Slovaquie, Suède et Royaume-Uni : seuils d'alarme sur les dosimètres électroniques***

En Belgique, dans la centrale de Doel, les alarmes standards sur les dosimètres électroniques sont fixées à 0,25 mSv en dose et 1 mSv/h en débit de dose en entrée dans la zone contrôlée. Ces alarmes peuvent être modifiées pour des travaux particuliers. Dans ce cas, une sous-zone est activée.

***Belgique, Slovénie, Suède et Royaume-Uni : seuils d'alarme sur les dosimètres électroniques (Suite)***

En Slovénie, dans la centrale de Krško, la base de données de dosimétrie électronique est reliée à la base de données de personnel de la centrale et à la base de données des permis de travail radiologique. Les seuils d'alarme sont également contrôlés si le nombre de permis de travail radiologique délivrés est supérieur au nombre prévu.

En Suède, dans la centrale de Ringhals, l'alarme standard sur un dosimètre électronique est fixée à 1 mSv par entrée, valeur qui peut être modifiée, le cas échéant, par le personnel RP. Par exemple, dans le cas d'un débit de dose élevé, l'alarme est fixée à une valeur supérieure avec l'accord du superviseur des travaux. Il est également possible de définir une alarme de débit de dose. Dans la centrale de Forsmark, le seuil d'alarme standard sur les dosimètres électroniques est fixé à 0,5 mSv par entrée. Les superviseurs RP peuvent modifier ce seuil. Un seuil d'alarme standard de 10 mSv/h est fixé pour le débit de dose. Il existe également un seuil d'alarme annuel en dose individuelle de 18 mSv, géré via la base de données des registres de doses locale (LDIS). D'autres niveaux d'alarme, ou niveaux d'intervention, peuvent être définis par le personnel RP si nécessaire. Pour les femmes enceintes, conformément à la réglementation, la dose au fœtus ne doit pas dépasser 1 mSv pendant la grossesse. En cas de grossesse, la femme peut bénéficier d'un changement de poste pour une zone non contrôlée. Si elle souhaite cependant continuer à travailler dans la zone contrôlée, le seuil d'alarme est normalement fixé à 0,1 mSv par entrée. La limite est gérée via le LDIS et fait toujours l'objet d'une discussion entre le superviseur RP, le superviseur du travail de la personne et la personne elle-même.

Au Royaume-Uni, les seuils d'alarme des dosimètres électroniques pour la dose et le débit de dose sont spécifiés sur le permis de travail radiologique mais c'est en fait l'intervenant lui-même, qui en saisissant un code de travail sur le terminal de contrôle d'accès des dosimètres électroniques, programme les seuils d'alarme. Les seuils d'alarme types sont de 200 µSv et 500 µSv/h pour la plupart des activités générales à faible risque et de 500 µSv et 5 mSv/h pour des tâches spécifiques à plus fort risque (travaux sur des vannes, par exemple).

***France : EDF, procédure d'accès en zone rouge***

Les zones rouges sont des zones à fort débit de dose qui sont fermées à l'aide de deux cadenas indépendants. Le service de radioprotection possède une des clés et l'autre est en possession de la direction. Les deux clés sont conservées dans un coffre spécifique avec accès réglementé. L'autorisation d'accès est donnée par le responsable de la radioprotection de la centrale après un pre-job briefing. Ce briefing est fait en présence des intervenants, du contremaître, d'un membre du service prévention des risques et du chef d'exploitation et comporte :

- l'examen des différentes tâches/étapes de l'intervention et l'identification des intervenants qui exécuteront ces tâches ;
- l'examen des risques et des scénarios défavorables ;
- la validation de la dosimétrie prévisionnelle de chaque intervenant ;
- la vérification que l'état de fonctionnement de la tranche permet une intervention ;
- la validation de la liste des intervenants, de leur dosimétrie prévisionnelle, de la zone d'intervention et de la durée de l'activité via un formulaire signé par les contremaîtres, le service prévention des risques, le chef d'exploitation et le directeur du site.

***Roumanie : dosimètres d'alarme personnels pour la comptabilisation des doses pour des travaux spécifiques et le contrôle d'accès***

Le système de contrôle d'accès dans la tranche 1 de la centrale de Cernavoda a été conçu pour empêcher tout accès involontaire ou non autorisé dans les zones où des risques radiologiques importants sont ou peuvent être présents. Les zones « contrôlées » pour lesquelles une mesure de protection spéciale est nécessaire pour contrôler les expositions normales, empêcher la propagation de la contamination et prévenir ou éliminer les expositions potentielles, ont été réparties comme suit :

- Zone 3 : aucune source radioactive, aucune contamination détectable, débit de dose < 0,0005 mSv/h ;
- Zone 2 : aucune source radioactive, il n'y a aucune contamination mais elle peut se produire à cause du déplacement du personnel et des équipements, aucun système radioactif, le débit de dose est inférieur à 0,01 mSv/h, il existe des procédures pour contrôler l'accès depuis d'autres zones radiologiques ;
- Zone 1 : contient des systèmes et équipements radioactifs pouvant être des sources potentielles de contamination et/ou d'exposition importante, les zones d'accès fréquent ne contiennent pas de contamination libre.

**Roumanie : dosimètres d'alarme personnels pour la comptabilisation des doses pour des travaux spécifiques et le contrôle d'accès (Suite)**

Chaque point d'accès à un local ou à une zone clairement définie où le risque radiologique total dépasse 0,01 mSv/h est signalé par un panneau bien visible comportant le symbole d'avertissement de présence de rayonnements et le mot « Rayonnements ». Chaque point d'accès à un local ou à une zone clairement définie où le risque radiologique total dépasse 1 mSv/h est signalé par la mention « Restriction rayonnements ». Les entrées en chaque zone normalement accessible où le niveau de contamination libre dépasse la valeur de fond sont signalées par la mention « Zone à couvre-chaussure » (« Rubber Area »).

**Suède : prévisions de doses et points de contrôle pour la modification du sécheur (centrale de Forsmark)**

Une modification du sécheur (équipement interne de la cuve) avait été prévue pendant l'arrêt de 2003 de la tranche 2 de Forsmark. Les prévisions initiales indiquaient une dose collective totale de 250 hommes-mSv et des doses individuelles proches de 20 mSv pour plusieurs personnes. Le comité de sûreté de Forsmark qui doit approuver tous les travaux liés à la sûreté sur les réacteurs a demandé d'établir un ensemble de points de contrôle. À ces points de contrôle, les travaux devaient être examinés et évalués avec la participation du responsable de la tranche et du responsable de la radioprotection. Les points de contrôles établis étaient les suivants :

- essai de réception en usine pour vérifier les méthodes de travail et les outils des prestataires : vérification du temps de main-d'œuvre nécessaire ;
- levage du couvercle de cuve : vérification de l'exactitude du terme source ;
- après installation de protection radiologique (plaques d'acier) : vérification du débit de dose réel par rapport aux valeurs cibles ;
- pendant l'exécution des travaux : vérification continue de la dose collective et des doses individuelles. Les contraintes ont été fixées à 350 hommes-mSv pour la dose collective maximale et à 12 mSv pour la dose individuelle maximale.

Une préparation en continu avec les prestataires a permis d'obtenir des améliorations importantes en ce qui concerne la radioprotection. La procédure de travail était examinée et modifiée à chaque point de contrôle. Les travaux ont été effectués selon le plan modifié sans aucune complication, incident ou accident. Des réunions quotidiennes avaient lieu entre les prestataires, le personnel d'exploitation et le personnel de radioprotection. Au cours de ces réunions, les doses étaient étroitement surveillées et communiquées à toutes les personnes concernées. La dose collective résultante a été de 165,5 hommes-mSv et la dose individuelle maximale a été de 10,3 mSv (soudeur). La participation à un stade précoce d'un prestataire hautement professionnel et motivé a grandement contribué à ces résultats.

**Zone de travail avec les mesures de protection mises en œuvre**



## 7.4 Systèmes de télésurveillance

Les systèmes de télésurveillance avec niveaux d'alarme prédéfinis (par exemple, pour la dose, le débit de dose et la contamination atmosphérique) sont un moyen fiable de surveillance en temps réel des conditions radiologiques auxquelles les travailleurs sont exposés. Une salle de contrôle de la radioprotection peut rassembler toutes les informations sur les conditions radiologiques de différentes zones de travail et permettre un retour d'expérience oral et visuel avec une présence minimale de techniciens RP dans les zones contrôlées et donc une réduction de la dose de ce personnel. La même méthode peut être utilisée pour surveiller d'autres paramètres critiques depuis un lieu se trouvant hors

du champ de rayonnements (i.e. surveillance du soudage automatique, de la découpe automatique, de l'inspection en service). La recherche et la comparaison de technologies de télésurveillance effectuées dans plusieurs pays pendant de nombreuses années ont prouvé l'efficacité de ces technologies pour l'amélioration de la productivité et de la sécurité des intervenants.

Un des éléments essentiels pour la mise en œuvre d'un système de télésurveillance est la disponibilité d'une pénétration de l'enceinte pour l'accès des câbles. Ce procédé étant coûteux, il est important d'en tenir compte, en plus des branchements électriques adéquats (alimentation de secours/prises) pour alimenter les équipements, au stade de la conception (voir chapitre 9). L'installation d'un réseau de communication par fibre optique dans le bâtiment des auxiliaires est également bénéfique pour la mise en place d'un système de télésurveillance permanent.

***Canada : télédosimétrie (Ontario Power Generation)***

Les télétechnologies ou les technologies sans fil pour la surveillance des doses du personnel sont sous-employées dans les installations nucléaires actuelles. La situation dans ce domaine ne cesse de s'avancer au fur et à mesure que de nouveaux utilisateurs arrivent. Les installations nucléaires d'Ontario Power Generation fonctionnent avec ces technologies depuis le tout début de leur exploitation. OPG utilise actuellement une technologie par fibre IP pour la transmission des données et des signaux vidéo et vocaux. Ces avancées permettent une réduction du temps de mise en place et des doses pour le personnel de production et de maintenance.

***Corée : système de télévision en circuit fermé (CCTV) pour la gestion des travaux sous rayonnements (centrale de Yonggwang)***

Les systèmes de télévision en circuit fermé (CCTV) mis en place sur les tranches 5 et 6 de Yonggwang sont reliés via un réseau local et permettent la surveillance en temps réel des travaux. Les systèmes possèdent des caméras fixes et mobiles. Pendant toute la période des travaux de démontage des manchettes thermiques, environ 15 personnes ont supervisé les travaux via le système CCTV. Le temps de travail a été optimisé ce qui a permis de réduire l'exposition de 16 % (25,6 H.mSv), ainsi qu'une réduction de la quantité de déchets radioactifs. Le système CCTV permet d'obtenir des résultats importants avec peu d'efforts.

***États-Unis : télésurveillance***

Les centrales américaines ont constaté une diminution de moitié de la dose du département RP lors des arrêts après la mise en œuvre de la télésurveillance. Moins de techniciens sont envoyés en zone car un seul technicien sur la console centrale de télésurveillance peut surveiller et contrôler plusieurs chantiers. Par exemple, à Calvert Cliffs, entre 1999 et 2006, le nombre de prestataires RP et le nombre de travailleurs RP permanents a été diminué de 30 % pendant les arrêts. Simultanément, l'exposition collective totale a été réduite de 55 %.

***Roumanie : systèmes de télésurveillance (centrale de Cernavoda)***

Le système de télésurveillance de la tranche 2 de la centrale de Cernavoda se compose d'un réseau local d'ordinateurs et de quelques branchements réseau entre les équipements de terrain et les ordinateurs. Il possède une interface avec les systèmes suivants : systèmes fixes de surveillance gamma, systèmes fixes de surveillance de la contamination, détecteurs portables de rayonnements, systèmes fixes de surveillance du tritium dans l'air, systèmes de mesure des effluents liquides, systèmes de mesure des effluents gazeux et systèmes de prélèvement d'air post-accidentel. Les fonctions sont, entre autres, les suivantes :

- surveillance : évaluer les risques radiologiques générés par le fonctionnement normal de la centrale, indiquer les niveaux élevés dans la salle de contrôle radiologique et dans la salle de commande principale et surveiller l'état de fonctionnement des boucles de mesure ;
- contrôle : établir les paramètres de configuration du fonctionnement automatique des canaux, activer manuellement la boucle de mesure pour les étalonnages/mesures non courantes, configurer la base de données du réseau ;
- maintenance : indiquer les défaillances des équipements et des systèmes dans les salles RCS et MCR ;
- stockage des données : gérer la base de données intégrée à court et long terme ;
- interface opérateur : fourniture de rapports client, affichage détaillé des événements historiques, fonctions de commande à distance interactives pour les équipements de surveillance du champ de rayonnements, y compris l'affichage des commandes et de leur réponse.

## 7.5 Contrôle de la contamination

Le contrôle de la contamination dans l'air doit être effectué avec des systèmes de surveillance appropriés. Une attention particulière doit être portée à l'emplacement de ces systèmes et il faut veiller à éviter les fausses alarmes qui pourraient résulter de la fixation de seuils d'alarme trop faibles ou d'une mauvaise implantation des détecteurs. Les procédures d'évacuation d'urgence spécifiques à appliquer en cas d'alarme doivent être élaborées à l'avance et connues des intervenants. La présence d'un coordinateur dans le bâtiment réacteur chargé d'aider et de contrôler l'évacuation peut faciliter la procédure.

### *Allemagne : protection de la piscine du réacteur contre la radioactivité dans l'air*

Certains REP allemands (Philippsburg, Neckarwestheim, Isar) utilisent de la toile à ballon pour recouvrir la piscine du réacteur avant son remplissage lors des arrêts. Deux ventilateurs filtrants mobiles capturent les aérosols et les transfèrent au système de ventilation du bâtiment réacteur. Les avantages de ce procédé sont les suivants :

- pas de rejet de particules radioactives en suspension dans l'air dans l'enceinte et pas de contamination induite dans le bâtiment réacteur ;
- pas de grands travaux de décontamination dans le bâtiment réacteur ;
- pas de gêne pour les intervenants causée par le port de vêtements supplémentaires ou d'appareils respiratoires ;
- pas de limitation du nombre de personnes dans l'enceinte car le sas à personnel reste ouvert pendant la période de remplissage ;
- réduction de 50 % à 70 % du temps de remplissage (8 à 10 heures sur le chemin critique de l'arrêt).



### *Roumanie : système de surveillance du tritium dans l'air (centrale de Cernavoda)*

La vapeur d'eau tritiée est un danger pour la santé et sa détection précoce dans les réacteurs de type CANDU est importante. La vapeur d'eau tritiée possède en effet toutes les caractéristiques de la vapeur d'eau dans l'air. Le système de surveillance indique les niveaux de tritium généralement dus à une fuite d'eau lourde et réduit donc le risque pour la santé. Le système remplit les fonctions suivantes :

- échantillonnage continu de l'air en divers endroits du bâtiment du réacteur et du bâtiment des auxiliaires où existe un risque élevé de contamination au tritium ;
- mesure de la concentration en tritium dans les prélèvements continus et comparaison des résultats de la mesure avec une valeur prédéfinie (point de consigne) établie par l'exploitant ;
- affichage de l'activité volumique du tritium (Bq/m<sup>3</sup>) ou, sur demande, le débit d'équivalent de dose (Sv/h) ;
- si le point de consigne est dépassé ou si une défaillance se produit, le système envoie des alarmes dans tout le réseau de télésurveillance sous forme de signaux visuels et sonores ;
- mesures de concentrations en tritium « non courantes » à l'aide des lignes d'échantillonnage temporaires et de détecteurs de tritium semi-portables ;
- les détecteurs de tritium doivent satisfaire aux exigences de performance suivantes :
  - mesurer l'eau tritiée et fournir une compensation pour les autres radioisotopes, y compris tous les gaz du réacteur et le radon ;
  - émettre des alarmes en cas de débit de dose supérieur à un point de consigne réglable et de défaillance des équipements.

Dans la centrale de Forsmark, la procédure suivante a été adoptée pour le contrôle de la contamination.

### ***Suède : surveillance de la contamination externe (centrale de Forsmark)***

Portique de détection : actions en cas d'alarme

- se laver les mains, changer de combinaison et de chaussures de protection et traverser le portique une nouvelle fois ;
- si une alarme se déclenche encore, contacter le groupe RP.

Pré-détecteur : actions en cas d'alarme

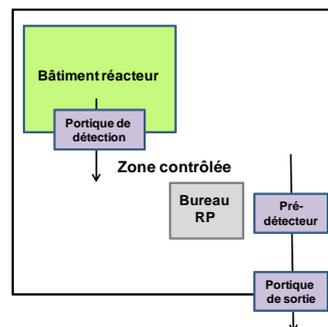
- le personnel RP mène une enquête pour déterminer où et avec qui la personne a travaillé, et documente les résultats ;
- se laver les mains, changer de combinaison et de chaussures de protection et traverser le portique une nouvelle fois ;
- le personnel RP effectue une surveillance manuelle et décide des actions ultérieures.

Portique de sortie : actions en cas d'alarme

- contacter le groupe RP ;
- une alarme est aussi envoyée au local de radioprotection ou au centre de sécurité la nuit et une vue vidéo de la zone de détection est affichée ;
- le personnel RP arrive dans la zone de détection et décide des actions ultérieures.

Cette procédure, mise en œuvre depuis plusieurs années, a permis d'obtenir :

- une réaction plus rapide et plus précise vis-à-vis de la propagation de la contamination dans les zones ou en rapport avec des travaux spécifiques y compris la mise en place de contre-mesures pour le nettoyage et les équipements de protection. Cela contribue également à lutter contre les contaminations internes ;
- Un abaissement des objectifs ALARA en ce qui concerne le rapport du nombre d'alarmes déclenchées sur le nombre total de mesures par les portiques de sortie, de 2 à 0,5 % ;
- Une augmentation de la confiance du personnel en ce qui concerne l'intérêt porté à leur sécurité et à l'environnement de travail dans la zone contrôlée ;
- L'accroissement du niveau de connaissance du personnel RP (comment et quand se produisent habituellement les contaminations) et l'assurance que les occurrences de contamination sont bien documentées.



## **7.6 Moyens pour éviter les doses inutiles et réduire les expositions de transit**

Les doses de transit sont les doses reçues par les intervenants lorsqu'ils se rendent au poste de travail. Pour réduire ces doses, les intervenants doivent avoir toutes les informations nécessaires sur la zone de travail. La fourniture de plans détaillés à l'entrée du bâtiment réacteur, à différents endroits à l'intérieur du bâtiment, dans les procédures de travail et lors des pre-job briefings peut aider à réduire le temps de transit des intervenants et donc les doses inutiles en localisant précisément le poste de travail et en fournissant des trajets optimaux. Ceci est particulièrement important pour les travaux sur les petites vannes, souvent difficiles à trouver. Les informations sur les débits de dose sont aussi importantes, en particulier s'il y a des points chauds sur le trajet.

Une signalisation claire pour indiquer les points chauds et les zones à faibles débits de dose est importante pour réduire les doses. Il peut s'agir par exemple de :

- cordons ou signaux clignotants pour les points chauds (alimentés par batterie, LED avec capteurs infrarouges passifs) ;
- signaux audio avec détection de mouvement fournissant des messages d'avertissement pré-enregistrés ;
- panneaux multilingues pour aider les équipes/prestataires d'autres pays ;
- bâches vert clair pour les zones à faibles débits de dose.

L'utilisation d'outils d'imagerie avancés (voir section 5.3) permettant une visite virtuelle de la zone concernée est également très utile pour orienter les intervenants et les familiariser avec leur environnement de travail sans exposition.

Pour réduire le temps passé dans les zones à forts débits de dose, il peut être utile d'identifier les zones à faibles débits de dose où les intervenants peuvent lire leurs procédures de travail, préparer leurs travaux ou attendre le moment d'exécuter leur tâche. Pour ce faire, il est par exemple possible de placer des établis et des tables dans ces zones à faible débit de dose.

Il faut enfin noter que le contrôle opérationnel des débits de dose est important pour éviter les doses inutiles. Cela requiert obligatoirement une communication efficace et une bonne coordination des travaux. Par exemple, le contrôle efficace des forts débits de dose « transitoires » dus aux points chauds nécessite l'identification de ces points chauds (par les intervenants et/ou le personnel RP) suivie d'un rinçage des lignes ou de la mise en place d'une protection biologique. Ces points chauds étant, par nature, transitoires, un suivi de l'évolution des débits de dose est également nécessaire.

#### ***Finlande : salles de pause***

Pour minimiser le temps passé pour les pauses café, les centrales finlandaises ont installé des salles où les intervenants peuvent prendre une pause café sans avoir à changer leurs vêtements de protection pour la zone contrôlée. La salle de pause est située entre un poste de contrôle et le tapis de sortie conduisant aux vestiaires (les intervenants doivent traverser un portique et satisfaire à la limite de contamination de 4 Bq/cm<sup>2</sup> avant de pénétrer dans la salle). Cette salle dispose également de toilettes. Grâce à cela, le temps passé en pauses est passé d'environ 50 minutes à moins de 20 minutes.

#### ***France : moyen pour éviter les doses inutiles***

Dans les centrales EDF, une procédure spécifique est appliquée lorsque des contrôles de gammagraphie sont effectués : une zone d'exclusion est définie (aucun intervenant n'est autorisé à pénétrer dans cette zone pendant l'essai) et indiquée sur des cartes génériques affichées à différents endroits du bâtiment réacteur. À tous les points d'entrée de cette zone, des panneaux spécifiques indiquent que l'entrée est interdite du fait qu'un contrôle radiographique est en cours et que par conséquent il existe un risque élevé d'irradiation.

EDF identifie des « zones vertes (ou zones ALARA) » à plusieurs endroits dans l'espace annulaire du bâtiment réacteur. Ces zones sont clairement indiquées. Elles sont souvent établies juste à l'extérieur des trappes d'entrée du personnel du bâtiment réacteur. Il est bien sûr important de former les intervenants à l'utilisation de ces zones pour être sûr qu'ils s'en servent aussi souvent que nécessaire mais sans excès (elles ne sont pas censées être des zones de repos).

#### ***Japon : utilisation de rappels visuels***

Au Japon, un rappel visuel sert à informer les intervenants de la présence de débits de doses forts ou faibles. Des tubes lumineux de couleur sont utilisés dans les REB pour indiquer un champ de rayonnements fort (rouge) ou faible (vert). Ces tubes lumineux sont en polyéthylène transparent souple et contiennent de petites ampoules de couleur espacées d'environ 30 cm ; ils peuvent être suspendus sur des équipements, des rampes, des murs, etc., pour indiquer des zones à éviter ou à utiliser comme zones d'attente. Ils peuvent être reliés aux appareils de mesure de la zone et ainsi changer de couleur en fonction du débit de dose mesuré. Les figures suivantes illustrent l'utilisation de ces tubes lumineux.



### Japon : utilisation de rappels visuels (Suite)

En outre, Kyushu Electric Power Co. Inc. utilise les panneaux suivants pour attirer l'attention des intervenants sur les zones à fort rayonnement et donner des informations sur les zones d'attente :

- Rouge ( $\geq 0,5$  mSv/h) : « Attention aux rayonnements ! Ne pas approcher ! Ne pas s'arrêter ! »
- Jaune ( $< 0,5$  mSv/h) : « Attention aux rayonnements ! Ne pas s'arrêter ! »
- Croix verte : Zone d'attente (utilisée en conjonction avec une feuille verte en polyéthylène).



### Royaume-Uni : plans de localisation des éléments (centrale de Sizewell B)

À Sizewell B, des plans de localisation des éléments (Item Location Plans) sont affichés à l'entrée du bâtiment réacteur. Dans toutes les zones à moyen et fort débit de dose sont affichées des cartographies. Elles comportent un plan du local, l'emplacement des vannes, etc., et la position des zones à forts et faibles débits de dose. En outre, des fiches d'informations radioprotection sont rédigées pour toutes les vannes, soudures et dispositifs autobloquants devant subir une intervention dans les zones à moyens ou forts débits de dose. Elles comportent une photographie de l'élément, un résumé des conditions radiologiques, des recommandations pour le trajet d'approche et le meilleur moment pour programmer les interventions sur cet élément. Au dos de ces fiches se trouve un plan indiquant l'emplacement de l'élément, les points chauds et les zones à faible débit de dose à proximité. Ces fiches d'information sont générées par le service radioprotection pour de nombreux composants de la tranche. Les intervenants peuvent également apprendre à connaître leur zone de travail grâce au logiciel « Surrogate-Tour® ».

Le contrôle d'accès au bâtiment réacteur est important car la capacité des sas limite souvent le nombre de personnes pouvant pénétrer dans l'enceinte. Sizewell B a adopté un système de quota appliqué par des gardiens ; toutefois, ce système n'est pas très efficace car les personnes faisant office de gardien sont généralement des prestataires à court terme qui ont une connaissance limitée des travaux prévus. Lorsque cela est possible, les centrales devraient utiliser leurs systèmes de contrôle d'accès de sécurité ou de dosimétrie pour contrôler le nombre de personnes dans le bâtiment réacteur.

### Suisse : moyens pour éviter les doses inutiles (centrale de Beznau)

Dans la centrale de Beznau, des panneaux indiquent le niveau de classification ainsi que les débits de dose mesurés (ambiant, au contact, à 1 m, etc.) de chaque zone lorsque le niveau de classification change au sein d'un même local ou d'un local à l'autre. En outre, dans le bureau de radioprotection à l'entrée de la zone contrôlée, des cartographies indiquent les débits de dose ambiants en différents points du bâtiment réacteur et du bâtiment des auxiliaires nucléaires en fonction de l'état de la tranche (en fonctionnement ou arrêtée). Ces cartographies sont également affichées dans certaines parties de la zone contrôlée. Il existe aussi des « îlots RP » en différents points de la zone contrôlée, en particulier dans le bâtiment réacteur. Ces zones où le débit de dose est très faible servent de zones de repli aux intervenants pendant leurs chantiers.

## 7.7 Moyens pour éviter les reprises de travaux

La nécessité d'effectuer des reprises de travaux peut être due à une mauvaise conception, construction, préparation ou mise en œuvre. Dans le cadre d'une bonne organisation du travail, il convient de garder à l'esprit que des travaux vite faits mais mal faits peuvent entraîner la nécessité de les refaire ou de réaliser des travaux supplémentaires pour corriger le problème.

Cela peut impliquer non seulement de refaire les mêmes travaux mais aussi de devoir corriger les effets secondaires : par exemple, les coûts et doses induits par l'oubli dans un tuyau d'une vis qui a ensuite endommagé les tubes d'un générateur de vapeur. Le retard dû à ces reprises de travaux peut être de plusieurs jours si le réacteur doit être refroidi et la pression abaissée avant de procéder à la reprise et s'il faut ensuite remonter en température et en pression. Ce retard provoquera également des doses « secondaires » dues aux autres travaux. Ces travaux sont, par exemple, les activités qui doivent être répétées à chaque démarrage et les travaux qui progresseront plus lentement à cause du temps disponible supplémentaire. Du point de vue ALARA, toute reprise de travaux doit être identifiée pendant l'arrêt pour estimer ses conséquences en termes de dose individuelle et collective et pour connaître ses causes afin d'éviter qu'elle se reproduise.

Les opérateurs doivent tirer profit des informations fournies par le système ISOE sur le retour d'expérience concernant les tâches répétitives dans les tranches de la même famille (sister-unit group).

## 7.8 Gestion des déchets

La gestion des déchets est un élément important de l'organisation du travail au cours de toutes les phases (élaboration, préparation et réalisation des travaux). Pour éviter les doses inutiles, il est important de prendre en compte, lors de la préparation et de la réalisation des travaux, des éléments tels que la logistique (les déchets doivent être transportés dès que possible hors de la zone de travail), le tri des déchets aussi près que possible de la source, la nécessité d'un stockage intermédiaire et les méthodes d'évacuation. Un des objectifs du processus d'optimisation est d'évacuer le plus possible de déchets et de les traiter en tant que déchets non radioactifs.

### *Suède : postes de tri des déchets radioactifs dans la zone contrôlée (centrale de Forsmark)*

Pour réduire les doses, les coûts et l'impact sur l'environnement en minimisant les déchets radioactifs, la centrale de Forsmark a mis en place un système de tri des déchets à la source dans la zone contrôlée. En plusieurs endroits de la centrale, ont été mis en place des postes de tri des déchets où les intervenants peuvent facilement trier les déchets générés par leur travail. En triant les déchets, les matériaux qui n'ont pas besoin d'être évacués en tant que déchets radioactifs peuvent être séparés des autres matériaux plus contaminés. Le poste de tri possède environ 10 compartiments différents dans lesquels les intervenants mettent les déchets selon des catégories bien définies et affichées.

Dans les postes de tri, les intervenants séparent, par exemple :

- les déchets solides avec un débit de dose maximal  $< 0,3$  mSv/h ;
- les déchets mous (papiers, plastiques, tissus) avec un débit de dose  $< 0,3$  mSv/h ;
- les matériaux supposés non contaminés qui, après contrôle par un technicien RP, peuvent être évacués en tant que déchets « normaux » sans restrictions radiologiques ;
- les matériaux des locaux non contaminés ou faiblement contaminés ;
- les déchets électroniques, batteries, ampoules et lampes fluorescentes, produits chimiques et bombes aérosols, chaque catégorie dans des conteneurs séparés.

Les déchets des locaux à faible contamination satisfont souvent aux critères d'autorisation même s'ils sont générés dans la zone contrôlée. Les autres matériaux peuvent être stockés par enfouissement à faible profondeur sur le site au lieu de les placer dans les cavernes rocheuses du stockage souterrain, SFR-1.

## 7.9 Collecte des informations de retour d'expérience lors de la réalisation des travaux

La collecte du retour d'expérience est essentielle lors de la phase de réalisation des travaux pour s'informer sur les travaux en cours. Le retour d'expérience en temps réel permet une évaluation continue de l'évolution des doses, une optimisation du travail et une mise en œuvre rapide des mesures correctives en cas de dérive dosimétrique. Les résultats dosimétriques doivent être affichés dans un endroit visible, par exemple à l'entrée du bâtiment réacteur ou dans les vestiaires. Lors de l'arrêt,

communiquer aux intervenants le comparatif entre les doses collectives réelles et les doses collectives prévues les encourage à participer aux efforts ALARA. Des messages clés peuvent être ajoutés pour motiver les intervenants à atteindre les objectifs de l'arrêt. Par exemple, en France et au Royaume-Uni, certaines centrales ont expérimenté l'affichage quotidien de l'évolution des doses collectives réelles et prévues pour l'arrêt et cette initiative a été très bien perçue par les intervenants. Le chapitre 8 traite plus en détail du retour d'expérience.

***Japon : qualification du personnel et système de surveillance des expositions***

Toutes les centrales japonaises possèdent des systèmes de surveillance des expositions qui permettent de :

- vérifier les informations sur les intervenants (identité, exposition annuelle actuelle, formation et historique des examens médicaux) à l'entrée de la zone contrôlée ;
- surveiller l'exposition individuelle par entrée à l'aide de dosimètres électroniques et la comparer aux limites de dose ;
- collecter l'exposition individuelle et le temps passé dans la zone contrôlée ;
- trier l'exposition par individu, code de travail ou groupe de travailleurs.

***Roumanie : système DOSERECORDS (centrale de Cernavoda)***

La réglementation exige l'enregistrement et le stockage des doses des travailleurs. Le département de radioprotection assure la surveillance dosimétrique individuelle (externe et interne) de toutes les personnes (employés, travailleurs en intérim, prestataires et visiteurs) qui pénètrent dans la zone contrôlée. La gestion des doses s'effectue avec une base de données appelée DOSERECORDS permettant d'avoir des dossiers de dose exacts et complets au format électronique ou sur papier et de conserver tous les résultats analytiques et identités personnelles. Tous les employés, le personnel de radioprotection et l'autorité de contrôle peuvent accéder aux informations sur les doses et générer des rapports.

***Royaume-Uni : système ECOS (Engineering Computer System) de Sizewell B***

La centrale de Sizewell B utilise un outil de surveillance [Engineering Computer System (ECOS)] qui est à la disposition du personnel de radioprotection. ECOS enregistre, toutes les deux secondes, les mesures d'environ 20 000 capteurs implantés dans toute la centrale. Les données qui intéressent en premier lieu les radioprotectionnistes sont les résultats des détecteurs de rayonnements gamma des zones, les niveaux de radioactivité de l'environnement, les niveaux de radioactivité des empilements et les niveaux de radioactivité dans les gaines HVAC. Il y a également des informations sur les températures et pressions des systèmes, niveaux d'eau des puisards et réservoirs, positions des vannes et états de fonctionnement des pompes. Toutes ces données sont disponibles en direct ou peuvent être récupérées pour analyser l'historique.

***Suisse : logiciel PERDOS***

Dans le système PERDOS (Personnel Dose Data Collection, Monitoring, and Reporting Software) de la centrale de Beznau, les dosimètres électroniques sont reliés au système informatique de la centrale, ce qui permet de surveiller la dosimétrie individuelle quasiment en temps réel. Ce programme est, en particulier, utilisé pour :

- surveiller la dosimétrie de chaque travailleur (personnel NOK et prestataires extérieurs) par an (depuis 1989), par mois, par jour ou par chantier (la date, l'heure et le temps de présence dans la zone sont disponibles) ;
- déterminer le débit de dose maximal auquel a été exposé le travailleur ;
- trier les fiches par groupe de travailleurs, par niveau de dose reçue ;
- envoyer des données spécifiques directement à l'autorité de sûreté et de radioprotection ;
- comparer les doses collectives réelles et prévues lors des arrêts, etc.

## **7.10 Résumé**

La réalisation de travaux de qualité est le but d'une préparation efficace et a une influence sur le coût, le temps et la dose associés à une tâche particulière. Les principes de l'organisation du travail, s'ils sont appliqués à cette phase, peuvent aider à optimiser ces trois aspects du travail. L'utilisation de contrôles des méthodes de travail, la communication d'informations appropriées aux intervenants, la collecte du retour d'expérience et la motivation des intervenants sont tous les domaines où une organisation du travail efficace permet d'optimiser les travaux de nombreuses façons.



## **8. ÉVALUATION DES TRAVAUX ET RETOUR D'EXPÉRIENCE**

*La philosophie de l'organisation du travail est une boucle fermée composée des phases de préparation, planification, réalisation, évaluation, suivi, apport de modifications suite aux leçons tirées et répétition de ce processus pour les travaux suivants de même nature, toutes ces opérations permettant d'optimiser progressivement le cycle des travaux en ligne avec les développements technologiques actuels. L'évaluation et le retour d'expériences constituent l'étape finale et, en même temps, la première étape de la boucle fermée.*

### **8.1 Introduction**

Dans une approche générique, deux niveaux d'informations peuvent être nécessaires pour avoir un retour d'expérience complet sur la réalisation des travaux : le niveau « interne » qui consiste en une analyse des performances au sein même de la centrale et le niveau « externe » qui fournira des données nationales et/ou internationales favorisant l'échange de nouvelles idées et permettant à la centrale d'évaluer sa position par rapport aux autres centrales de même type.

Différentes sources d'informations peuvent être utilisées pour l'évaluation des doses des chantiers comme le programme de mesures correctives ou la base de données du système de surveillance des expositions de la centrale, les bases de données sur les pratiques ALARA des exploitants, de l'industrie et les bases de données internationales. L'analyse des travaux et leur suivi approprié comptent parmi les éléments les plus importants pour leur évolution. La base de données ISOE, plus grande base de données du monde sur les expositions professionnelles dans les centrales nucléaires, constitue une importante ressource mondiale pour les analyses comparatives et pour l'évaluation des tendances des expositions.

Normalement, le suivi conduira directement à la prochaine mise en œuvre de l'opération en question. Les leçons tirées, en termes de bonnes pratiques et de voies d'amélioration, doivent être collectées rapidement et échangées non seulement au sein même de l'équipe mais aussi avec les autres collègues au niveau du site, de l'exploitant et au niveau international. Les responsables de la radioprotection doivent identifier toutes les sources d'informations disponibles, les utiliser efficacement et partager leurs propres informations et expériences. Enfin, la mise en œuvre de l'organisation du travail doit faire l'objet d'un audit périodique pour s'assurer qu'elle fonctionne correctement.

### **8.2 Analyse et suivi des travaux**

L'étendue et la nature de l'analyse à l'issue des travaux varient selon les travaux analysés car les grosses opérations nécessitent un examen plus approfondi que celles de plus faible ampleur. Des critères flexibles pour la sélection des travaux à examiner (dose collective totale, volume total de travail exposé, pourcentage de surestimation ou sous-estimation de la dose collective totale et/ou du volume de travail exposé, ...) doivent être établis pour guider les personnes chargées de l'analyse. En général, l'analyse doit être effectuée par une équipe pluridisciplinaire. L'objectif doit être d'identifier les tâches qui ont été bien ou mal exécutées, celles qui peuvent être améliorées dans le futur et les moyens de les améliorer.

Les intervenants ayant effectué les travaux doivent faire part directement de leurs remarques, indiquer comment ces travaux auraient pu être améliorés ou comment les problèmes rencontrés auraient pu être mieux traités. Ces informations peuvent être collectées à l'aide de réunion de débriefings à l'issue

des travaux. Il est également possible d'organiser des réunions spécifiques avec les prestataires à la fin de l'arrêt, mais cela pose le problème du paiement de ces heures supplémentaires de présence sur le site.

L'utilisation de « formulaires de suggestion » (voir annexe 5), mis à disposition pendant l'arrêt, par le biais duquel les intervenants peuvent proposer différentes mesures pour réduire les expositions, est également un bon moyen de collecter des informations pertinentes de retour d'expérience. Pour encourager les intervenants à remplir ces formulaires, il est nécessaire de les informer en retour sur la façon dont leurs suggestions ont été analysées et peuvent être prises en compte. La gestion de ces formulaires doit être bien organisée et il est essentiel de désigner une personne (ou un groupe de personnes) chargée de collecter et d'analyser les suggestions.

La rédaction de rapports d'arrêt de tranche, incluant les données techniques et les données de radioprotection, est essentielle. Ces rapports doivent inclure les analyses des causes d'écart par rapport aux objectifs de l'arrêt (de manière positive ou négative), des recommandations d'amélioration et l'identification des bonnes pratiques. Ces rapports doivent être largement diffusés au sein de la structure de l'arrêt.

Pour clore la boucle de l'organisation du travail, un mécanisme garantissant l'intégration des remarques est nécessaire. Pour garantir l'application des recommandations pertinentes, des systèmes formels (par exemple, listes de suivi) ou informels (par exemple, le simple maintien de l'équipe ayant réalisée l'analyse de retour d'expérience pour la prochaine préparation de l'activité) peuvent être utilisés. Dans tous les cas, les données d'entrée fournies par l'équipe ayant analysé les travaux sont essentielles pour assurer un suivi approprié.

Il peut être utile d'organiser, après l'arrêt, une ou plusieurs réunions pluridisciplinaires consacrées à l'analyse de l'arrêt, à l'identification des actions de suivi à mettre en œuvre et à l'attribution des responsabilités pour l'exécution de ces actions. Ces décisions peuvent être prises par le comité ALARA, s'il y en a un, ou par un groupe « Analyse de l'arrêt » plus général. Dans tous les cas, un groupe de suivi de ce type doit systématiquement exister, ayant alternativement une action de suivi de l'arrêt en cours puis une action de préparation avant le début de l'arrêt suivant. Cela aidera à garantir une certaine continuité d'un arrêt à l'autre. Il faut noter que cette philosophie existe généralement dans la plupart des pays.

***États-Unis : remplacement des manchettes de chaufferettes du pressuriseur (centrale de San Onofre)***

En 2004, sur la tranche 3 de San Onofre, deux chaufferettes de pressuriseur et les manchettes en alliage 600 ont été remplacées. Les principaux problèmes étaient l'exposition radiologique et le contrôle de la contamination. Les actions d'optimisation proposées par l'ingénierie se composaient d'un blindage au plomb, d'une ventilation HEPA, de systèmes de dépression, d'un confinement de la zone de travail et d'un manchonnage. L'amélioration des pratiques, l'utilisation de la télédosimétrie et la mise en place de protections biologiques temporaires sur les manchettes, sur la ligne d'expansion et sur la plate-forme de travail ont permis de réduire de 170 H.mSv l'estimation de dose initiale de 816 H.mSv. La dose collective totale pour l'arrêt a été de 645 H.mSv et l'exposition individuelle maximale de 16,85 mSv. Les leçons tirées de travaux similaires à Palo Verde ont été largement partagées et ont été très utiles pour San Onofre.

Les travaux sur la tranche 2 de San Onofre incluaient le remplacement de toutes les manchettes de chaufferettes en alliage 690 du pressuriseur. D'importantes améliorations des méthodes de travail ont été faites entre le premier projet de réparation d'une demi-manchette de chaufferette pour la tranche 3 et le remplacement des tubulures pour la tranche 2. La dose collective estimée pour la tranche 2 était de 390 H.mSv. La dose collective totale prévue pour l'arrêt était d'environ 300 H.mSv c'est-à-dire une réduction de plus de 50 % de celle de la tranche 3. Les pratiques du prestataire chargé du soudage se sont considérablement améliorées. La majorité des soudeurs avait participé à un projet antérieur de réparation des manchettes de chaufferettes du pressuriseur de Palo Verde. L'emploi de travailleurs expérimentés a permis une réduction importante de la dose. Les principaux éléments ayant contribué à cette réussite ont été l'amélioration de l'outillage, la formation sur maquette, l'emploi d'intervenants expérimentés et la préparation des travaux.

### **Japon : remplacement des internes du cœur (centrale d'Ikata)**

Un remplacement des internes du cœur (IC) a été effectué à Ikata-1 en 2004. La dose totale a été le dixième de la dose prévue. Les principaux contributeurs ont été le débit d'équivalent de dose inférieur aux prévisions du conteneur de stockage des IC et les différentes mesures prises pour réduire les expositions, comme une étude minutieuse avant les travaux, une formation sur maquette, une protection radiologique temporaire (couvercle de cuve et zone d'attente pour les intervenants dans la cavité du réacteur), un télémanipulateur pour installer la plaque inférieure sur le conteneur et un panneau d'avertissement du débit d'équivalent de dose sur le couvercle de cuve. Les leçons tirées ont été incorporées dans un chantier similaire à Ikata-2. Les principales améliorations ont été dues aux éléments suivants :

- changement de la localisation du poste de travail pour sécher et souder la plaque du conteneur (transfert de la cuve à l'intérieur de l'enceinte dans un nouveau bâtiment de maintenance où le débit de dose est inférieur) ;
- réduction du temps de travail en optimisant partiellement les travaux spécifiques et en faisant intervenir des personnes expérimentées.

La dose collective totale sur la tranche 2 a été légèrement supérieure à celle de la tranche 1 à cause d'un débit de dose supérieur à la surface du conteneur (tranche 1 : 0,6 mSv/h, tranche 2 : 0,70 mSv/h) et d'un terme source légèrement supérieur sur la tranche 2.

**Doses pour le remplacement des IC des tranches 1 & 2 d'Ikata**

		Réelle	Prévue
Dose totale (H.Sv)	Tranche 1	0,14	1,8
	Tranche 2	0,21	0,28
Dose individuelle maximale (mSv)	Tranche 1	4,50	20
	Tranche 2	6,58	20

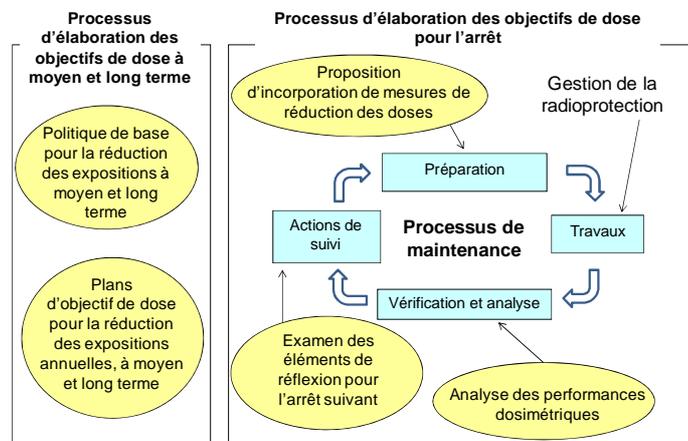
### **Japon : processus ALARA avec préparation, analyse des travaux et suivi (TEPCO)**

Une équipe (Dose Target Control Peer Team), composée du personnel RP, Chimie et Maintenance de tous les sites, a été mise en place pour améliorer les programmes ALARA. Le processus ALARA classique a été remodelé en : examinant le processus ALARA « en l'état » ; identifiant l'écart entre le processus « en l'état » et « à venir » ; se concentrant sur l'interface entre la RP et les processus de maintenance au stade de la préparation et après l'arrêt.

L'objectif est d'intégrer plus efficacement les principes ALARA dans la méthode de travail. L'équipe a cherché à améliorer deux processus principaux : fixer l'objectif de dose à moyen et long terme et fixer l'objectif de dose pour l'arrêt. Le second processus se concentre sur trois phases : préparation des travaux, analyse et rapport après l'arrêt. Au cours de ces phases, le personnel RP communique au(x) personnel(s) de maintenance/prestataires :

- les mesures de réduction des doses proposées avant l'arrêt ;
- les informations sur le calendrier détaillé des travaux ;
- les rapports d'arrêt avec les leçons retenues.

Le processus est en application depuis 2007.



#### ***Roumanie : rapports d'arrêt de tranche (centrale de Cernavoda)***

Dans la centrale de Cernavoda, lors d'un arrêt programmé, toutes les activités sont exécutées en se basant sur le plan de travail approuvé. Pour chaque activité, une personne est chargée de suivre et consigner tous les éléments qui s'y rapportent. Une fois les travaux terminés, un rapport est rédigé indiquant si les travaux ont été réalisés conformément aux procédures et les problèmes rencontrés. À la fin de l'arrêt, un rapport d'arrêt complet est publié et contient les éléments suivants :

- personnel ayant participé ;
- objectifs de doses (doses collectives prévisionnelles) et doses collectives reçues ;
- analyses des tâches dont la dose collective est supérieure ou inférieure aux estimations ;
- distribution des doses par spécialité ;
- dose collective gamma pour toutes les tâches (cumulée et quotidienne) ;
- dose collective interne due au tritium.

Le rapport est présenté à tout le personnel de la centrale et aux autorités. Des mesures correctives/préventives, basées sur les conclusions, sont établies.

### **8.3 Bases de données de retour d'expérience**

Bien que les analyses à l'issue des travaux soient importantes pour obtenir le retour d'expérience des intervenants, l'utilisation de systèmes informatisés de gestion des données pour la collecte, le stockage et l'analyse des données de référence et des données opérationnelles est essentielle pour garantir un retour d'expérience efficace, complet, enregistré et disponible pour la comparaison et l'analyse. Pour ces systèmes, les données internes et externes sont utiles, y compris les données associées à une tâche ou une catégorie de tâches particulière comme le temps de travail, la main-d'œuvre, les équipements, les doses, etc. Au niveau interne, ces données peuvent être collectées directement avant, pendant et après le travail. Les systèmes informatisés, facilement associés au système de dosimétrie opérationnelle, peuvent être très efficaces pour collecter ce type d'informations.

Pour optimiser la radioprotection pour les travaux à forte exposition, une estimation par phase du temps de travail et de la dose associée est considérée comme une bonne pratique. Les résultats de ces calculs constituent un bon outil pour suivre l'avancement des travaux et permettre une identification précoce des problèmes possibles. À cet effet, un système de dosimétrie informatisé en ligne est nécessaire et doit interfacer avec le système de permis de travail radiologique fournissant la dose, l'état d'avancement des travaux en cours et le temps passé au poste de travail (pas seulement dans la zone contrôlée). Les différentes équipes concernées (mécanique, électricité, échafaudages, radioprotection, sécurité classique, etc.) doivent aider à rassembler toute l'expérience disponible car cela constitue une base précieuse pour la préparation de tâches similaires. Les données doivent être à la disposition de toutes les personnes contribuant à la préparation et à la planification. La mise à jour de l'état d'avancement des travaux doit être de la responsabilité de toutes les spécialités associées aux travaux.

Une bonne documentation de toutes les informations relatives aux travaux, composants et zones de travail, est nécessaire pour fournir des données d'entrée aux bases de données opérationnelles qui peuvent être utilisées lors de la phase d'évaluation et pour la préparation de l'arrêt suivant (voir chapitres 5 et 7). Pour créer des bases de données de retour d'expérience aussi complètes que possible, il est important de collecter un grand nombre de données de différents types, y compris des données de dosimétrie, les informations sur le déroulement général des opérations, etc. Cela permettra une comparaison efficace et l'analyse des événements imprévus et des écarts entre les doses enregistrées et les doses prévues. Ces bases de données existent aux niveaux local, national et international.

Une des difficultés en ce qui concerne la collecte des données n'est pas tellement l'intégration de ces données dans les systèmes informatisés mais plutôt l'acquisition directe des données brutes. Une procédure efficace consiste à utiliser des fiches de suivi qui sont systématiquement complétées par le

personnel de radioprotection ou par les chargés de travaux à la fin de l'opération. Les informations pertinentes sont, entre autres, les données dosimétriques (dose collective totale, doses individuelles, etc.), les données décrivant l'environnement de travail (débits de dose ambiants, niveaux de contamination, type de vêtements de protection, ergonomie du poste de travail, etc.) et, le cas échéant, des détails précis sur les dysfonctionnements rencontrés, leurs causes et une quantification de leurs impacts en termes de temps et de dosimétrie. Ces fiches doivent être remplies avec soin car elles influent sur la qualité et la précision des informations finales utilisées pour l'analyse de retour d'expérience. Tout en étant suffisamment simple pour ne pas être perçus comme une contrainte par la personne responsable, ces fiches doivent être conçues de façon à être facilement intégrées dans le système de traitement des données : préparation de l'ordre chronologique des questions pour la capture des données, codage préalable de certaines variables lorsque cela est possible, etc.

***ISOE : base de données sur les expositions professionnelles mondiales ISOEDAT***

Les participants au programme ISOE ont accès à la plus grande base de données du monde sur les expositions professionnelles dans les centrales nucléaires qui fournit des données d'exposition détaillées de 470 tranches (en exploitation ou en cours de démantèlement) dans 29 pays. La base de données est accessible via le site Web du réseau ISOE ([www.isoe-network.net](http://www.isoe-network.net)) ou sur CD-ROM et permet aux utilisateurs de comparer les résultats de dose à ceux de différentes centrales (par type de réacteur, par réacteur de la même famille – sister-unit group –, etc.) en se basant sur la dose collective annuelle, les doses d'arrêt de tranche, les doses par tâche, etc. La base de données contient également des informations sur les volumes de travail des permis de travail radiologique et certains débits de dose spécifiques. Pour chaque centrale, une personne contact est indiquée, ce qui permet aux participants de contacter directement la centrale s'ils ont besoin de plus d'informations.

***France : rapports de fin d'intervention***

Dans les centrales EDF, les prestataires doivent rédiger un rapport de fin d'intervention pour les travaux à fortes doses. Ces rapports contiennent les informations suivantes en ce qui concerne la partie radioprotection (une partie technique est également présente dans le rapport) : comparaison entre la dose prévue et la dose réelle avec analyse des différences, cartographies de débit de dose et de contamination, identification des incidents, mesures de radioprotection, bonnes pratiques, etc.

***Royaume-Uni : Collecte du retour d'expérience de l'arrêt (Sizewell B)***

Dans la centrale de Sizewell, environ un mois après chaque arrêt de tranche, tous les intervenants RP (de chaque groupe y compris les prestataires) se réunissent pour faire un retour d'expérience. Ils peuvent, en outre, obtenir des informations dans la base de données de retour d'expérience qui peut être remplie par toute personne qui le désire (des formulaires papier ou informatiques sont disponibles). Un rapport spécifique de retour d'expérience RP est également rédigé pour les principaux travaux effectués pendant l'arrêt, en particulier ceux pour lesquels des briefings ALARA ont été organisés avant les travaux. Ce rapport inclut l'évaluation des doses, les résultats de dosimétrie, les incidents de contamination, les leçons tirées (qu'elles soient positives ou négatives) et des recommandations pour le prochain arrêt. De plus, un rapport d'arrêt de tranche radioprotection plus général résume tous les aspects radioprotection et déchets radioactifs du dernier arrêt. Les bonnes pratiques et les voies d'amélioration sont mises en évidence dans ce rapport. Ce rapport est envoyé aux inspecteurs de l'autorité de contrôle (NII), au directeur de la centrale, au FMA et au RWE (groupes de travail des prestataires et sous-traitant RP), au siège social RP de British Energy, etc.

## **8.4 Comparaison des pratiques ALARA**

Les indicateurs utilisés pour évaluer les travaux et les critères d'évaluation, doivent être multicritères. Par exemple, la dose collective et la distribution des doses individuelles doivent être accompagnées d'autres indicateurs tels que le volume de travail, le nombre de travailleurs, les reprises de travaux, les retards, les problèmes, etc. Pour ces indicateurs et critères d'évaluation, les données issues de la démarche ALARA menée avant et après les travaux, les données historiques et les données d'autres sites sont essentielles (voir aussi sections 5.6 et 7.9).

En se basant sur les informations collectées lors des pre-job briefings et sur celles contenues dans les bases de données de retour d'expérience, il est possible de comparer les pratiques ALARA et la

dose collective des travaux au sein d'un même parc de réacteurs. Parfois des travaux similaires entre des centrales de conception différente peuvent être comparés. Une base de comparaison commune peut être établie en regroupant différentes conceptions de centrale (sister-unit group) comme cela a été fait dans la base de données sur les expositions professionnelles ISOE. Les paramètres ALARA comme la source ou le débit de dose initial et la configuration des systèmes de la centrale peuvent aider à définir les conditions initiales pour la préparation.

Pour l'analyse et la comparaison des opérations, une méthode structurée doit être adoptée. Pour identifier les domaines les plus importants nécessitant une action, on peut utiliser une classification des causes de reprises ou d'incidents. Pour des opérations spécifiques, une étude des temps et des mouvements permet l'évaluation des techniques utilisées pour effectuer l'opération et les domaines cibles qui amélioreront le rendement global du procédé. Ces études peuvent couvrir d'autres domaines tels que : la conception du poste de travail, le développement de méthodes de travail améliorées et l'établissement de standards de temps.

Pour l'analyse des évolutions de dose d'une opération qui a été exécutée plusieurs fois, éventuellement avec des débits de dose ambiants différents, il est nécessaire de « normaliser » la dose par rapport au débit de dose ambiant de référence. Cette normalisation permet l'identification du temps d'exposition réel passé pour chaque tâche. Il faut noter que ce type d'analyse a montré que lorsque l'opération est effectuée dans un environnement à faible débit de dose ambiant après avoir été exécutée dans un environnement à plus fort débit de dose ambiant par la même équipe, les intervenants ont tendance à passer plus de temps que nécessaire dans la zone parce qu'ils sont habitués à un certain niveau d'exposition et font moins attention lorsque le débit de dose n'est pas aussi important. Ceci prouve la nécessité de fournir aux intervenants une dose estimée avant chaque intervention en tenant compte des débits de dose réels.

Le site Web du réseau ISOE est également une ressource importante pour les participants au réseau dans le sens où il leur permet d'échanger leur expérience sur des travaux majeurs (comme le remplacement d'un générateur de vapeur) et d'établir des contacts avec des professionnels de la radioprotection de centrales du monde entier pour discuter de problèmes communs ou organiser, par exemple, des visites d'intercomparaison. L'analyse des doses annuelles et d'arrêt de tranche peut être utilisée pour sélectionner les « meilleures » centrales à visiter pour partager l'expérience RP pratique.

***Canada, Roumanie : groupe de propriétaires de CANDU***

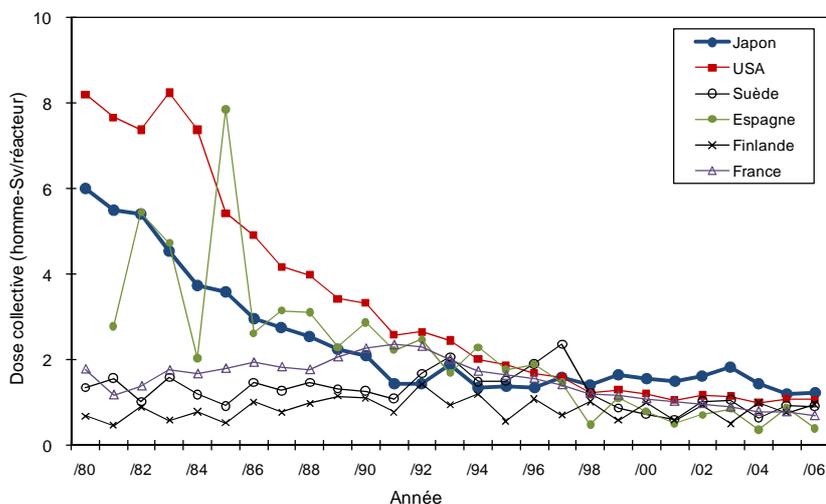
Le programme R&D de HS&E (Health, Safety and Environment), géré par le groupe des propriétaires de CANDU [CANDU Owners Group (COG)], est co-financé par les propriétaires de réacteurs CANDU canadiens, SNN en Roumanie et Énergie atomique du Canada limitée (EACL). Le programme traite les problèmes relatifs à la surveillance radiologique, la radioprotection et la dosimétrie, y compris l'établissement des risques d'exposition des travailleurs, du public et de l'environnement. Le respect des exigences des différents documents réglementaires et consultatifs du CCSN est un facteur important pour le programme.

***Japon : comparaison des pratiques ALARA avec ISOE***

La base de données sur les expositions professionnelles ISOE et le réseau d'échange d'expériences offrent d'excellentes possibilités de comparaison des pratiques ALARA. En consultant la base de données ISOE, on avait constaté que la dose collective moyenne par réacteur au Japon n'a pas diminué depuis le début des années 90 alors qu'elle a considérablement diminué dans d'autres pays (États-Unis, par exemple).

### Japon : comparaison des pratiques ALARA avec ISOE (Suite)

#### Dose collective moyenne par réacteur pour les réacteurs en exploitation, 1980-2006 (ISOE, 2008)



Le centre technique asiatique ISOE (ATC) a coopéré avec les centrales japonaises pour envoyer des questionnaires via le réseau d'ISOE dans le but d'identifier les raisons de cette situation. Au symposium international ALARA ISOE de 2005, ATC a discuté avec le centre technique nord-américain ISOE (NATC) de la possibilité d'organiser des visites d'intercomparaison dans les centrales américaines. Une série de visites a été effectuée en 2005 et 2006 avec la coopération de NATC et des centrales américaines. Les résultats ont été partagés avec les membres d'ISOE lors du symposium international ALARA ISOE de 2007. Les raisons des expositions supérieures au Japon sont, entre autres, des différences dans le cycle d'exploitation, dans la durée des arrêts de tranche et dans les critères de maintenance entre le Japon et les autres pays. La période d'exploitation autorisée au Japon est de 13 mois ou moins et la durée d'arrêt des centrales est de 2 à 3 mois, ce qui est environ deux fois supérieur à celle des autres pays.

## 8.5 Partage d'expérience

Pour compléter les informations disponibles au niveau de la centrale, il est nécessaire que cette dernière reste en contact avec les autres centrales gérées par le même exploitant et avec d'autres centrales au niveau national et international. La participation aux réunions radioprotection des groupes d'utilisateurs régionaux et internationaux, les réseaux d'échange d'expérience, les systèmes d'information basés sur le Web tels que le site Web du réseau ISOE ([www.isoe-network.net](http://www.isoe-network.net)) et les symposiums thématiques comme les symposiums ALARA régionaux et internationaux ISOE facilitent l'échange d'informations et permettent aux intervenants d'être au fait des nouvelles techniques. Cela aide à maintenir les doses aussi faibles que raisonnablement possible.

### Allemagne : VGB

En Allemagne, l'organisation VGB rassemble tous les principaux exploitants allemands d'électricité (nucléaire ou pas) ainsi que ceux d'autres pays européens. Il existe un groupe VGB de responsables de la radioprotection dans lequel sont représentées toutes les centrales nucléaires allemandes. Ce groupe se réunit deux fois par an sur le site de l'une des centrales. Les sujets de discussion incluent habituellement :

- l'échange d'informations et d'expériences ;
- les comptes-rendus des actions spéciales de radioprotection;
- les développements en termes de réglementation ;
- une discussion sur des sujets spécifiques : dosimétrie bêta, dosimétrie interne, ALARA, ISOE.

#### ***Roumanie : processus OPEX (centrale de Cernavoda)***

Dans la centrale de Cernavoda, chaque employé doit signaler toute anomalie constatée, y compris les quasi-accidents. De nombreux employés sont inscrits au forum « Information & Exchange » du site Web du groupe des propriétaires de CANDU [CANDU Owners Group (COG)] et sont avertis des événements externes qui se produisent dans les autres centrales. Les événements qui se sont produits dans d'autres centrales et qui peuvent également se produire à Cernavoda sont signalés comme conditions anormales à Cernavoda et sont analysés pour connaître leur probabilité d'occurrence et la nécessité de mettre en place des mesures correctives. La condition anormale est analysée par le groupe OPEX et classée « mineure », « importante » ou « événement ». Les deux dernières classes sont analysées de manière plus approfondie et les causes directes, les facteurs contributifs et les mesures correctives sont systématiquement établis. Un « événement » sera examiné par une équipe composée de représentant de plusieurs départements pour établir les causes profondes et éviter la récurrence. Les intervenants sont informés avant leur chantier de toutes les informations fournies par des sources externes et internes. Les actions correctives sont suivies par le département qualité. Le nombre de conditions anormales et les actions à mettre en œuvre font l'objet d'un compte-rendu mensuel avec les indicateurs de performance de la centrale/département. Si un indicateur ne satisfait pas à l'objectif, des actions correctives sont déclenchées.

### **8.6 Audits du programme**

L'intégralité du système d'organisation du travail doit faire l'objet d'un audit périodique pour s'assurer qu'il fonctionne correctement. De nombreux systèmes, des plus formels aux plus informels, ont été utilisés. Le système d'audit peut être interne au niveau de la centrale ou, le cas échéant, organisé au niveau de l'exploitant pour obtenir une vision globale de toutes ses centrales. Les programmes d'audit internes doivent inclure la vérification du respect des réglementations nationales et des objectifs et règlements internes de l'exploitant.

Les audits externes, comme les missions OSART (*Operational Safety Review Team*) organisées par l'AIEA ou les contrôles par les pairs (*peer reviews*) organisés par WANO, sont également très utiles car ils font intervenir des experts d'autres centrales, ce qui est un gage d'indépendance et contribue à l'échange d'informations entre les centrales :

- Les missions OSART ne sont effectuées qu'à la demande de l'État membre de l'AIEA concerné et se concentrent sur l'examen des éléments essentiels pour la sûreté opérationnelle. Une mission peut être personnalisée pour répondre aux besoins spécifiques d'une centrale. Un examen complet couvre huit domaines opérationnels : gestion, organisation et administration ; formation et qualification ; exploitation ; maintenance ; assistance technique ; radioprotection ; chimie ; plans d'urgence et état de préparation. Selon les besoins individuels, l'audit OSART peut couvrir tous les domaines ou se concentrer sur quelques domaines spécialement intéressants. Les tâches principales des membres de l'équipe OSART et de leurs homologues dans la centrale sont la comparaison des pratiques de la centrale avec les meilleures pratiques internationales et l'examen conjoint des moyens pour améliorer la sûreté opérationnelle.
- Les contrôles par les pairs organisés par WANO ont pour but d'aider les membres de WANO à comparer leur performance opérationnelle aux meilleures pratiques internationales grâce à un examen approfondi et objectif des opérations par une équipe indépendante extérieure à la centrale. L'examen, effectué à la demande de la centrale, est mené par une équipe internationale composée d'employés d'autres centrales nucléaires. L'équipe examine les performances de la centrale dans des domaines clés selon des critères et des objectifs de performances spécifiques. Les contrôles par les pairs de WANO offrent la possibilité aux membres d'acquérir et de partager les meilleures connaissances mondiales en ce qui concerne le fonctionnement sûr et fiable des centrales et d'améliorer ainsi leurs propres performances.

***France : méthodologie EDF pour l'évaluation des performances et du management de la radioprotection***

À EDF, les performances en radioprotection de chaque site sont évaluées à l'aide d'indicateurs quantitatifs se rapportant principalement à la dose collective annuelle de la centrale et ses résultats en propreté radiologique. Le management de la radioprotection est évalué à l'aide d'un questionnaire se rapportant à six thèmes principaux :

- participation de l'équipe de direction de la centrale à la radioprotection et caractérisation de son niveau d'ambition ;
- qualité du management de la radioprotection ;
- participation des travailleurs locaux et des prestataires à la radioprotection ;
- compétence et efficacité du département de radioprotection ;
- contrôle opérationnel de la radioprotection ;
- robustesse du procédé de transport des matières radioactives.

***Suède : résultat d'une mission OSART (centrale de Forsmark)***

En 2008, une mission OSART a été effectuée dans la centrale de Forsmark. Cette mission a étudié tous les aspects de sûreté ainsi que le programme de radioprotection. Le compte-rendu de mission indique les bonnes pratiques que les autres centrales doivent appliquer et donne des recommandations d'amélioration que doivent étudier les autorités. Ce compte-rendu est mis à disposition sur le site Web de l'autorité suédoise afin de faciliter le partage des résultats de la mission.

## **8.7 Résumé**

L'évaluation des travaux après leur exécution et l'élaboration d'actions de suivi appropriées et nécessaires comptent parmi les éléments les plus importants de toute évolution d'une tâche. Pour effectuer correctement ces évaluations, il est utile de procéder à des comparaisons. Grâce à l'expérience considérable acquise par l'industrie nucléaire, les bases de données de retour d'expérience nationales et internationales sont devenues un outil puissant pour l'intercomparaison des centrales de tous les pays. Les analyses post-travaux doivent être effectués par une équipe pluridisciplinaire et comporter le plus possible d'informations directes fournies par les intervenants (y compris les prestataires). Le suivi des recommandations et des leçons tirées doit être effectué par la même équipe pluridisciplinaire. Normalement, le suivi conduit directement à la prochaine réalisation des travaux en question de façon à ce qu'une boucle se forme (conception, préparation, planification, mise en œuvre, évaluation et suivi des travaux, modification des travaux compte tenu des leçons apprises, préparation, planification, etc.) et que les travaux soient progressivement optimisés et suivent les développements technologiques actuels.



## **9. GARANTIR L'AMÉLIORATION PERMANENTE**

*Bien que l'organisation du travail soit un processus itératif, il faut néanmoins chercher à l'améliorer en permanence et rester vigilant pour garantir et conserver un niveau élevé de radioprotection. Ces améliorations cherchent donc à intégrer, via l'échange d'informations et d'expériences, les leçons tirées et les avancées technologiques en cours non seulement pour guider les futures activités, mais aussi, à plus long terme, les nouvelles conceptions, constructions et exploitations dans le but de maintenir des doses aussi faibles que raisonnablement possible.*

### **9.1 Introduction**

Depuis le début de l'utilisation de l'énergie nucléaire pour la production d'électricité, la radioprotection a toujours été une préoccupation. Grâce à la rapide réduction des expositions qui a eu lieu dans les années 80, les doses professionnelles ont pu être abaissées d'environ 25 % par rapport à leurs niveaux précédents. Les efforts poursuivis depuis lors ont entraîné graduellement d'autres réductions. Cette amélioration permanente a pu être obtenue non seulement grâce aux efforts des exploitants d'électricité et des autorités, mais aussi grâce à l'innovation technologique. Depuis les années 90, les progrès de la coopération internationale pour l'échange d'informations et de bonnes pratiques grâce à des programmes comme le programme ISOE et à la diffusion de l'esprit ALARA comme recommandé par la CIPR, ont fortement contribué à la réduction des expositions.

De nombreuses techniques dans différents domaines peuvent être utilisées pour réduire les expositions. Elles incluent les techniques de réduction du terme source, les techniques de décontamination et les techniques de mécanisation, automatisation et télésurveillance. Les techniques de radioprotection et d'amélioration de l'efficacité du travail ont été largement mises en œuvre dans l'industrie nucléaire comme l'ont montré les chapitres précédents. Toutefois, le développement et l'application ultérieure de telles techniques doivent être envisagés à la lumière des problèmes de radioprotection qui deviendront importants dans le futur, y compris la réduction des expositions dans les centrales nouvellement construites ou conçues (d'importance potentiellement croissante), pour les travaux de modification à grande échelle auxquels on peut s'attendre vu le vieillissement et le prolongement de la durée de vie des réacteurs nucléaires et pour le démantèlement des réacteurs.

Les chapitres précédents ont déjà donné des exemples de ces techniques et de leurs applications. Ce chapitre donne un aperçu d'autres techniques remarquables et des aspects d'organisation du travail jugés pertinents pour garantir l'amélioration continue de la radioprotection professionnelle avec une attention spéciale pour les nouveaux programmes nucléaires (conception et construction). Il faut noter que la majorité de ces techniques et aspects de l'organisation du travail s'appliquent aussi à la réduction des expositions dans les centrales actuellement en exploitation.

### **9.2 Réduction du terme source dès la conception et construction de nouvelles centrales nucléaires**

#### ***Centrales propres***

Pour que les débits de dose dans les centrales restent faibles, il est important que la quantité de produits de corrosion pouvant être amenés dans le cœur du réacteur et être ensuite activés reste la plus

faible possible, en d'autres termes, de penser à la « propreté » du réacteur dès les phases de conception et de construction. Ces efforts contribueront également à améliorer l'intégrité des tuyauteries et appareils des circuits.

***Japon : mesures pour la propreté des centrales (centrales d'Onagawa, Kashiwazaki Kariwa et Hamaoka)***

Des mesures antipollution ont été prises dans les centrales nucléaires du Japon, notamment Onagawa, Kashiwazaki Kariwa et Hamaoka. La centrale d'Onagawa travaille, depuis la construction de la tranche 1, à la réalisation d'une centrale propre très fiable avec le moins d'exposition possible grâce à des contre-mesures élaborées dans le cadre de la « campagne centrales propres ». Parmi les contre-mesures identifiées, les mesures de réduction des dépôts ont été classées hautement prioritaires pour la réalisation d'une centrale propre et ont été complètement mises en œuvre.

Les mesures de réduction des dépôts peuvent être classées dans les catégories « contrôle de la formation de dépôts » et « élimination des dépôts ». Les mesures mises en œuvre dans la centrale d'Onagawa sont caractérisées par la « gestion du stockage » de la tuyauterie primaire qui a été complètement mise en application dans le cadre des mesures de contrôle de la formation de dépôts, en plus des mesures mises en œuvre pour leur élimination des dépôts. Les conditions des systèmes variant avec les caractéristiques des périodes de construction/test/essais, la centrale d'Onagawa a sélectionné la méthode de stockage la plus appropriée pour ses conditions particulières. Par exemple, la formation de produits de corrosion à l'intérieur des tuyauteries et des appareils a été inhibée en adoptant des mesures telles que la méthode de l'arrêt rempli avec l'ajout de l'hydrazine (évitant dans toute la mesure du possible l'arrêt rempli avec uniquement de l'eau pure) et la méthode de l'arrêt à sec avec de l'air déshumidifié selon les conditions de la tuyauterie du système. En outre, un système a été développé pour surveiller les conditions de stockage. Grâce à ces contre-mesures, la centrale d'Onagawa a réussi à limiter la quantité de dépôts amenés dans le réacteur à un niveau extrêmement faible. Actuellement, la centrale d'Onagawa conserve la classe la plus élevée en ce qui concerne le débit de dose extrêmement faible obtenu grâce à la mise en œuvre combinée d'autres mesures de réduction des doses.

***Adoption de matériaux à faible teneur en cobalt***

Les sources de cobalt, qui sont les principales sources d'exposition professionnelle, sont les aciers inox contenant du cobalt sous forme d'impureté, les alliages à base de nickel et le stellite (alliage à base de cobalt). L'acier inox étant utilisé en grande quantité comme matériau de structure principale pour le circuit primaire, sa teneur en cobalt est primordiale. Le stellite, principalement composé de cobalt, génère du  $^{60}\text{Co}$  via l'activation de ses produits de corrosion et est donc une source majeure d'exposition professionnelle. Pour contrôler la formation de produits de corrosion, il est nécessaire d'utiliser des matériaux possédant une excellente résistance à la corrosion et une teneur en cobalt moindre. Des efforts ont été faits dans le monde entier pour réduire la teneur en cobalt des matériaux et de nombreuses centrales ont remplacé ces matériaux par des matériaux de teneur moindre en cobalt pour les applications telles que les rouleaux de pression des systèmes de commande de grappes, les tubes chauffants des réchauffeurs d'eau alimentaire (acier inox), les ressorts de combustible (Inconel), certains matériaux en aciers inox pour le circuit primaire, etc. Par exemple, la majeure partie du Stellite utilisé dans la cuve de la dernière centrale KWU en Allemagne (KONVOI) a été remplacée par des matériaux sans cobalt pour réduire de manière significative le débit de dose de la tuyauterie primaire.

L'utilisation de matériaux à faible teneur en cobalt doit être envisagée dès la phase de conception et est particulièrement importante pour les matériaux de grande surface placés dans des environnements favorisant la corrosion. Des matériaux à faible teneur en cobalt et des matériaux de substitution de Stellite ont été développés. Par exemple, EPRI a développé des alliages de surfaçage dur à base de fer NOREM™ pour remplacer le Stellite au niveau des vannes des centrales nucléaires. Leur utilisation permettra de réduire les sources de cobalt radioactif qui contribuent aux expositions professionnelles.

### ***Traitement de surface à l'intérieur des tuyauteries***

L'accumulation de matières radioactives dans les tuyauteries peut être évitée en formant à l'avance un film d'oxyde à la surface de l'acier inox. Réduire la surface d'adhérence en polissant la surface du matériau est aussi un moyen efficace d'empêcher l'accumulation de contaminants. L'adhérence des dépôts peut être évitée en procédant à un électro-polissage à l'intérieur des tuyaux en acier inox après le polissage mécanique effectué lors de la construction de la centrale ou lors du remplacement de la tuyauterie ou des appareils. Par exemple, aux États-Unis, les vannes et les tuyauteries ont été polies mécaniquement puis ont subi un électro-polissage pour le redémarrage de la tranche 1 de Browns Ferry. En France, un électro-polissage des boîtes à eau des générateurs de vapeur est désormais effectué pour les générateurs remplacés dans les anciennes centrales et pour le nouveau réacteur EPR.

### ***Installation de filtres***

#### ***(a) Filtres à fibres creuses***

Ces filtres sont constitués de fibres creuses en matériau polymère extrêmement fines de quelques centaines de  $\mu\text{m}$  à 1 mm de diamètre avec une multitude de micropores d'environ 0,1  $\mu\text{m}$  de diamètre. Caractérisés par une surface de filtration par unité de volume extrêmement grande (10 à 100 fois celle des autres filtres à membrane), les filtres à fibres creuses permettent de réduire la taille des équipements de filtration.

Ce type de filtre a été d'abord utilisé au Japon en 1986 dans le circuit des condensats d'un REB afin de réduire le temps de purification avant le démarrage. Du fait de ses excellentes performances, il a ensuite été utilisé pour purifier le condensat partiel pendant le fonctionnement en puissance. Ultérieurement, ces filtres ont été utilisés sur le circuit des condensats de nombreux REB et REP japonais. En termes de performances de purification dans les REB en exploitation, bien que la concentration en impuretés de fer à l'entrée du filtre aille de plusieurs milliers de ppb (phase d'épuration avant démarrage) à plusieurs dizaines de ppb (phase de fonctionnement en puissance), la concentration en impuretés de fer après filtration est constante à 0,1 ppb ou moins. Dans les centrales mises en service après 1993, un système complet de purification des condensats utilisant ce type de filtration a été mis en œuvre avec comme objectif principal de réduire les concentrations en impuretés de fer dans l'eau d'alimentation. La mise en application de ce système a permis de réduire la concentration en impuretés de fer à 0,1 ppb ou moins et a donc contribué à réduire de manière significative l'exposition des travailleurs.

#### ***(b) Filtres plissés***

Un filtre plissé est une membrane filtrante plissée pour augmenter la surface de filtration. Les filtres plissés ont été d'abord utilisés au début des années 90 principalement aux États-Unis et ont été améliorés depuis. Comme les éléments des filtres plissés peuvent être brûlés et ne contiennent pas de résines en poudre, ils contribuent à la réduction du volume de déchets radioactifs. En outre, les filtres plissés sont caractérisés par leur compatibilité avec le corps de filtre des éléments filtrants à précouche. Ils peuvent donc être utilisés dans les systèmes des centrales existantes en changeant simplement l'élément filtrant sans modifier le corps de filtre.

## **9.3 Protections radiologiques dans les nouvelles centrales nucléaires**

Comme décrit dans la section 6.4, une mesure efficace pour réduire les débits de dose est la pose de protections radiologiques. Lors des arrêts de tranche, les protections radiologiques sont un moyen efficace de contrôler les doses. Toutefois, en termes de coûts, temps et doses associés à leur mise en

place et à leur démontage lors de chaque arrêt de tranche, une protection permanente est plus efficace. Pour la construction d'une protection radiologique permanente, il faut tenir compte de la sûreté sismique de la protection, de l'espace de construction et de l'accès et de l'espace pour le contrôle. Ces problèmes sont plus faciles à résoudre lors de la phase de conception de la centrale.

La centrale de Kashiwazaki Kariwa (REB) a réduit les doses de rayonnements en mettant en place des protections radiologiques pour le système de purification de l'eau primaire lors de la phase de conception/construction. En outre, des protections radiologiques permanentes mobiles facilitent l'accès aux appareils, tuyauteries, etc. Plusieurs REB au Japon ont des protections radiologiques permanentes mobiles et il a été reporté que le temps pour les travaux utilisant ces protections avait été réduit de 10 à 20 % et que les débits de dose avaient été réduits de 20 % maximum par rapport à ceux d'un système de protections radiologiques temporaires (feuilles et matelas de plomb).

#### **9.4 Systèmes de télésurveillance dans les nouvelles centrales nucléaires**

La technologie des systèmes de télésurveillance [*Remote Monitoring Systems (RMS)*] est un sujet qui suscite un vif intérêt dans la communauté ISOE (voir chapitre 6). La technologie RMS s'est révélée efficace pour l'amélioration de la sûreté et de la productivité des intervenants. Elle contribue également à l'amélioration de l'efficacité du travail et donc à la réduction de la durée de l'arrêt de tranche. Dans les nouvelles centrales nucléaires, le centre de commande central du système de télésurveillance doit être pris en compte lors de la phase de conception. De plus, pour utiliser efficacement la technologie RMS, des pénétrations pour les fibres optiques doivent être prévues entre l'enceinte et le volume d'expansion. Ces pénétrations peuvent également réduire le temps d'installation des câbles pendant l'arrêt de la centrale. L'utilisation de la technologie RMS est censée apporter les avantages suivants :

- amélioration du contrôle radiologique et du suivi des expositions ;
- efficacité et responsabilisation des intervenants ;
- qualité des méthodes et données de travail ;
- optimisation des ressources (affectation du personnel) ;
- fiabilité des équipements ;
- réduction des coûts.

#### **9.5 Technologies robotiques dans les nouvelles centrales nucléaires**

Comme indiqué dans la section 6.5, les technologies robotiques ont été utilisées avec succès dans les centrales pour réduire les expositions professionnelles. Avant, les robots étaient monofonctionnels et destinés à des tâches spécifiques comme le rechargement et le contrôle à l'intérieur du réacteur. Toutefois, grâce aux progrès rapides de la mécatronique, des robots multifonctionnels capables d'effectuer différentes tâches ont été développés.

L'utilisation des technologies robotiques est particulièrement adaptée pour les travaux réalisés dans des niveaux élevés de débits de dose, les travaux sous eau, les espaces étroits ou inaccessibles, les mauvais environnements de travail, etc. Des robots mobiles à usage multiple ou général ont également été développés, y compris des robots sous-marins libres utilisés pour l'inspection du cœur du réacteur ou pour les travaux de maintenance préventive. Des robots ont été développés et utilisés avec succès pour les fonctions spécifiques suivantes :

- contrôle du couvercle de cuve ;
- contrôle des tubes des générateurs de vapeur ;
- contrôle des tubulures des mécanismes de commande de grappe ;
- équipements de remplacement des mécanismes de commande de grappe ;

- équipements de démontage des mécanismes de commande de grappe ;
- serrage des goujons de la cuve du réacteur ;
- détecteurs à ultrasons automatiques ;
- machine de rechargement.

En outre, il existe d'autres cas où les technologies robotiques peuvent être utiles en termes d'amélioration de l'efficacité du travail, de réduction des coûts et de radioprotection. Pour tirer le meilleur profit de leurs avantages, il est important d'envisager et développer leur utilisation au stade de la conception d'une centrale.

## **9.6 Composants sans entretien dans les nouvelles centrales nucléaires**

Le contrôle des composants est une cause importante des expositions professionnelles dans les centrales nucléaires. Bien qu'il soit important d'optimiser les éléments à contrôler et la fréquence de ces contrôles à l'aide des informations sur les risques (et autres), il est également souhaitable d'adopter, dans la mesure du possible, des composants qui ne nécessitent pas de maintenance. Par exemple, pour la construction d'Olkiluoto-3 en Finlande, des composants sans entretien ont été utilisés dans les zones à forts débits de doses, en plus de l'optimisation des matériaux et de la construction de protections radiologiques pour réduire les expositions.

## **9.7 L'organisation du travail dans les nouvelles centrales nucléaires**

Outre les aspects techniques, l'organisation du travail a aussi un impact sur l'amélioration continue de la radioprotection professionnelle dans les nouvelles centrales nucléaires. La formation, le retour d'expérience et la réglementation basée sur la connaissance des risques, sont des aspects essentiels à la démarche ALARA pour toute nouvelle construction. L'organisation du travail sera toujours importante pour maintenir une culture ALARA et éviter l'excès de confiance.

### ***Formation***

Comme indiqué dans ce rapport, la formation est un aspect important de la préparation des travaux. La formation sur des maquettes correspondant aux équipements réels de la centrale est un moyen efficace qui permet aux intervenants de comprendre et de maîtriser leurs procédures de travail et donc d'améliorer l'efficacité et la qualité de leur travail tout en réduisant le temps d'exposition. La formation sur maquette est particulièrement efficace pour les travaux dans des débits de dose élevés, pour les travaux utilisant des outils ou dispositifs spéciaux et pour les tâches compliquées. Dans ce cas, la formation doit être effectuée dans les installations réelles de la centrale ou dans des endroits similaires dans le même environnement et dans les mêmes conditions physiques que le travail réel. Dans les nouvelles centrales nucléaires, il est également efficace de construire des équipements et installations de simulation 3-D ou de réalité virtuelle et de les utiliser pour la formation. Ces technologies peuvent être utilisées pour visualiser l'environnement du lieu de travail, simuler les procédures de travail, etc.

### ***Retour d'expérience (analyse comparative)***

Évaluer l'exécution des travaux et prendre des mesures correctives qui reflètent les résultats de l'évaluation est non seulement nécessaire pour achever avec succès les travaux prévus, mais aussi impérative pour améliorer l'exécution de travaux similaires dans le futur. Ces évaluations doivent être effectuées par une équipe pluridisciplinaire composée de personnes spécialisées dans les domaines concernés. Toutefois, pour garantir l'amélioration continue, il est nécessaire de garantir une participation permanente et croissante aux activités d'échange d'informations et d'expériences à tous les niveaux.

Ceci s'applique non seulement à la préparation des travaux pour les centrales actuellement en exploitation mais aussi à l'utilisation de cette expérience pour identifier les problèmes qui pourraient être traités plus efficacement lors de la phase de conception des nouvelles centrales. Cet échange d'expériences doit aussi prendre en compte l'expérience fournie par ces nouvelles conceptions au fur et à mesure qu'elles évoluent afin de guider les futures conceptions.

### ***Conception basée sur les risques***

L'exposition aux rayonnements ionisants est toujours associée à la tâche effectuée. De ce fait, la réduction de la fréquence des inspections des appareils, tuyauterie, etc., conduit directement à la réduction des expositions. Aux États-Unis, par exemple, les thèmes des inspections et la fréquence des essais ont été examinés par l'autorité en utilisant des informations basées sur les risques. Les centrales ont également optimisé les méthodes d'inspection en mettant en œuvre une maintenance en ligne et basée sur les conditions, etc. Ceci a permis d'améliorer les facteurs de capacité et de réduire les expositions. L'inspection et la maintenance basées sur les risques ont été mises en application avec succès dans les centrales actuelles et une conception basée sur les risques doit être développée pour les nouveaux programmes de construction.

## 10. CONCLUSIONS

La sûreté et la radioprotection sont les facteurs les plus importants pour une exploitation sûre des centrales nucléaires. L'expérience en radioprotection professionnelle a montré que des mesures de radioprotection doivent être prises à tous les stades du cycle de vie des centrales, de la conception jusqu'au démantèlement. Il ne s'agit pas seulement d'éliminer ou de réduire le terme source dans le cadre de la conception mais aussi d'étudier comment mettre en œuvre le plus efficacement possible les méthodes ou procédures de réduction des expositions au cours de l'exploitation.

Ce rapport a décrit de nombreuses méthodes qui peuvent être envisagées par tous ceux qui jouent un rôle dans la radioprotection des centrales nucléaires. Cette expérience pratique, pluridisciplinaire de la gestion du travail, basée sur les leçons tirées de nombreuses années d'exploitation de centrales nucléaires, et les approches encore en cours de développement ou qui seront réalisées dans le futur sont des éléments importants pour l'optimisation de la radioprotection professionnelle et la garantie d'une amélioration permanente face aux défis actuels et futurs.



## RÉFÉRENCES

AIEA (1996), Food And Agriculture Organization of the United Nations, International Atomic Energy Agency, International Labour Organisation, OECD Nuclear Energy Agency, Pan American Health Organization, World Health Organization, *International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources*, Safety Series No. 115, AIEA, Vienne.

AIEA (1999), *Occupational Radiation Protection*, Safety Guide RS-G.-1.1, AIEA, Vienne.

AIEA (2002), *Optimization of Radiation Protection in the Control of Occupational Exposure*, Safety Report Series No. 21, AIEA, Vienne.

AEN (1997), *Work Management in the Nuclear Power Industry*, OCDE/AEN, Paris.

AEN (2008), *Occupational Exposures at Nuclear Power Plants, 17<sup>th</sup> Annual Report of the ISOE Programme*, 2007, OCDE/AEN, Paris.

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

CIPR (2006), *The Optimisation of Radiological Protection: Broadening the Process*, ICRP Publication 101, Ann. ICRP 36 (3).

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

EAN (2006), *European ALARA Network Newsletter No. 18*, March 2006, CEPN, Fontenay-aux-Roses.

EC (1996), *Directives of the Council of the European Commission; Council Directive 96/29/EURATOM of 13 May 1996 laying down basic safety standards for the protection of the health of workers and the general public against the dangers arising from ionizing radiation*, Official Journal of the European Communities N° L 159; Luxemburg.

ISOE (2008), *ISOE Occupational Exposure Database*, Information System on Occupational Exposure, OECD/NEA, Paris; AIEA, Vienne.

Schieber, C (1994), *Optimisation de la radioprotection et organisation du travail*, Rapport CEPN R-227, Septembre 1994, CEPN, Fontenay-aux-Roses.

UNSCEAR (2000), *Sources and Effects of Ionizing Radiation, UNSCEAR 2000 Report to the General Assembly with Scientific Annexes*. United Nations, New York, NY.

UNSCEAR (2006), *Effects of Ionizing Radiation, UNSCEAR 2006 Report to the General Assembly with Scientific Annexes*. United Nations, New York, NY.



## *Annexe 1*

### **INFORMATIONS SUR LE PROGRAMME ISOE**

Le programme ISOE a été lancé en 1992 pour améliorer la gestion des expositions professionnelles dans les centrales nucléaires grâce à la collecte et à l'analyse des données sur les expositions professionnelles et ses tendances, via l'échange des leçons tirées entre les experts des centrales et des autorités nationales de contrôle. Depuis, le système n'a pas arrêté de se développer et fournit actuellement aux participants une ressource globale pour l'optimisation de la gestion des expositions professionnelles dans les centrales nucléaires du monde entier. Pour en savoir plus sur le programme ISOE : [www.isoe-network.net](http://www.isoe-network.net)

ISOE compte parmi ses participants des représentants des exploitants de centrales nucléaires et des autorités nationales respectant les conditions générales du programme. Les exploitants et les autorités de 29 pays participent au programme ISOE. La base de données d'ISOE contient des informations sur les tendances et les niveaux d'exposition professionnelle de 470 réacteurs dans le monde entier (396 en exploitation, 74 en cours de démantèlement) couvrant environ 91 % de tous les réacteurs commerciaux en exploitation dans le monde.

ISOE est coparrainé par l'Agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire (AEN) et l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA). ISOE fonctionne de manière décentralisée. Un Conseil de Gestion composé de représentants de tous les pays participants, assisté d'un Secrétariat commun AEN/AIEA, donne l'orientation globale.

#### **Secrétariat conjoint d'ISOE**

**Agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire (AEN)**  
ISOE Joint Secretariat  
12, boulevard des Îles  
F-92130 Issy-les-Moulineaux, France  
tél : +33 1 45 24 10 45

**Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA)**  
ISOE Joint Secretariat  
Division of Radiation, Transport and Waste Safety  
P.O. Box 100, A-1400 Vienne, Autriche  
tél : +43 1 2600 22722

Quatre centres techniques ISOE (Europe, Amérique du Nord, Asie et AIEA) gèrent les activités techniques quotidiennes du programme et servent de point de contact pour la transmission des informations provenant et à destination des participants.

#### **Centres techniques d'ISOE**

**Asian Technical Centre (ATC)**  
Japan Nuclear Energy Safety Organisation  
TOKYU REIT Toranomon Bldg. 8<sup>th</sup> Fl.  
3-17-1 Toranomon, Minato-ku  
Tokyo 105-0001, Japon  
tél : +81 3 4511 1953  
e-mail : [hayashida-yoshihisa@jnes.go.jp](mailto:hayashida-yoshihisa@jnes.go.jp)

**IAEA Technical Centre (IAEA TC)**  
International Atomic Energy Agency  
Division of Radiation, Transport and Waste Safety  
P.O. Box 100, A-1400 Vienne, Autriche  
tél : +43 1 2600 26173

**European Technical Centre (ETC)**  
Centre d'étude sur l'évaluation de la protection dans le domaine nucléaire (CEPN)  
28, rue de la Redoute  
F-92260 Fontenay-aux-Roses, France  
tél : + 33 1 55 52 19 39  
e-mail : [schieber@cepn.asso.fr](mailto:schieber@cepn.asso.fr)

**North American Technical Centre (NATC)**  
Radiation Protection Department – Cook Nuclear Plant  
One Cook Place, Bridgman, Michigan 49106, USA  
tél : +1 269 465 5901 x2305  
e-mail : [dwmiller2@aep.com](mailto:dwmiller2@aep.com)



*Annexe 2*

**EXEMPLE DE RAPPORTS D'INFORMATIONS ISOE 3  
SUR DES OPÉRATIONS PARTICULIÈRES**

*Exemple de rapport d'information d'ISOE 3 extrait de la base de données sur les expositions professionnelles d'ISOE*

**A. Informations générales**

Nom de la tranche :	Année :	Numéro :
Type de réacteur :	Sister-Unit Group:	
État du réacteur :		
Personne à contacter pour ISOE 3 :		
Téléphone :	Fax :	E-mail :

**B. Brève description**

Titre :	
Description (en anglais) :	
Date de début :	
Date de fin :	
Dose collective totale :	

**C. Mots clefs**

Mots clés de l'opération effectuée :	
Mots clés des systèmes :	
Mots clés des composants :	
Mots clés des mesures de radioprotection :	

**D. Description complète (peut être rédigée dans votre langue)**

Références aux rapports :	



*Annexe 3*

**EXEMPLE DE CHECK-LIST ALARA AVANT TRAVAUX**

**CHECK-LIST ALARA AVANT TRAVAUX**

	<b>Oui</b>	<b>Non</b>	<b>À étudier</b>
Y a-t-il une expérience antérieure d'opérations similaires ? A t-elle été prise en compte ?			
<b>I. Actions sur les sources</b>			
Avant l'arrêt : filtration chimique ? Décontamination ? Est-il possible de conserver l'eau dans les circuits ? Elimination de matière hautement radioactive ? Autres ?			
<b>II. Protection</b>			
Protection biologique : est-elle fixe, mobile, intégrée aux machines ? Contre la contamination : y a-t-il une boîte à gants disponible ? Protection biologique ? La protection biologique est-elle intégrée aux outils ? Confinement statique ? Confinement dynamique ? Aspersion et drainage ? Protection individuelle adaptée ?			
<b>III. Volume de travail dans des conditions d'exposition</b>			
Est-ce une tâche essentielle ? La procédure est-elle optimale ? La tâche est-elle correctement planifiée ? Doit-elle être entièrement exécutée dans une zone d'irradiation ? Certains intervenants peuvent-ils être éloignés ? Le nombre d'intervenants est-il justifié ? La répartition des travaux est-elle optimisée ? Les doses peuvent-elles être réparties entre les intervenants ? Y a-t-il des outils spéciaux pour réduire les doses ? Y a-t-il une possibilité de téléopération ou de robotique ? Les vêtements peuvent-ils être modifiés pour faciliter le travail ? Y a-t-il une possibilité d'améliorer les conditions ambiantes (température, éclairage) ? Y a-t-il une possibilité de communication radio ? Y a-t-il une possibilité de surveillance télévisuelle ? Y a-t-il une possibilité d'accès plus facile ? Y a-t-il des équipements de manutention disponibles ? Y a-t-il des superstructures adéquates ? (échafaudages, ....) Y a-t-il des zones de secours et d'approvisionnement ? Y a-t-il des procédures pour l'emballage des équipements et des déchets ? Y a-t-il des procédures pour l'évacuation des matières ? .....			

Référence : (AIEA, 2002)



**Annexe 4**

**EXEMPLES DE FORMULAIRES D'ANALYSE APRÈS TRAVAUX**

*Exemple de formulaire d'analyse ALARA après travaux (AEN, 1997)*

Formulaire d'analyse ALARA après travaux						
Doc. d'autorisation :		RWP (permis de travail sous rayonnements) :				
Emplacement						
Description du travail						
Hommes- heures estimées	Hommes- heures réelles	Différence %	H.Sv estimées (H.rem)	H.Sv réel (H.rem)	Différence %	Débit d'équivalent de dose réel
Cochez les éléments (un ou plus) listés ci-dessous qui pourraient avoir contribué à un cumul H.heures/H.Sv (H.rem) supérieur à ce qui était prévu.						
<input type="checkbox"/>	1. Étendue des travaux modifiée ou augmentée					
<input type="checkbox"/>	2. Conditions radiologiques du lieu de travail modifiées					
<input type="checkbox"/>	3. Problèmes de coordination et/ou programmation des travaux rencontrés					
<input type="checkbox"/>	4. Travail prolongé à cause d'une défaillance des outils/équipements					
<input type="checkbox"/>	5. Travail prolongé à cause d'équipements/outils/pièces mauvais ou indisponibles					
<input type="checkbox"/>	6. Travail prolongé à cause de besoins de préparation du lieu de travail non prévus					
<input type="checkbox"/>	7. Travail prolongé à cause d'interruption/gêne causée par d'autres activités de travail					
<input type="checkbox"/>	8. Non-conformité aux contrôles radiologiques					
<input type="checkbox"/>	9. Non-respect des bonnes pratiques ALARA					
<input type="checkbox"/>	10. Inadéquation des permis de travail radiologiques					
<input type="checkbox"/>	11. Protection radiologique inadéquate					
Commentaires :						
Suggestions d'amélioration futures – leçons tirées :						
Ingénieur ALARA :				Date :		

*Exemple de grille d'analyse des incidents (AEN, 1997)*

Grille d'analyse des incidents			
Identification du travail			
Zone :		Matériau :	
<b>1. Analyse des incidents</b>			
Description des incidents :			
Y a-t-il des conséquences pour la radioprotection ?		Immédiates	<input type="checkbox"/>
		Probables dans le futur	<input type="checkbox"/>
Y a-t-il des modifications des conditions de travail (contamination,...) ?		Oui	<input type="checkbox"/>
		Non	<input type="checkbox"/>

**Grille d'analyse des incidents (Suite)**

**Si oui :**

Impact sur la protection individuelle :

Impact sur le temps de travail :

Phases du travail affectées par les précédentes modifications :

Modification d'un ou de plusieurs débits de dose :

Débit de dose	Zone	Débit de dose	Zone

Phases du travail concernées par ces débits de dose :

Estimation de l'impact des incidents sur le niveau d'exposition :

Impact réel des incidents sur le niveau d'exposition :

**2. Analyse des causes d'incidents pour l'analyse apres travaux et le retour d'expérience**

**1. Procédures inadéquates**

Procédés généraux

Procédures pour amener les outils dans la zone

Procédures de conditionnement

Procédures pour le retrait des outils

Procédures pour l'évacuation des déchets

Procédures de protection

Protection individuelle

Protection collective

Procédure RP d'intervention

Installation d'air/eau de service

Autres

**2. Information, communication, formation**

Mauvaise formation ou formation insuffisante des intervenants

Programmes de formation inadéquats ou inadaptés :

Programme technique

Programme ALARA

Formation sur Non prévue

maquette : Inadéquate

Mauvaise communication

Mauvaise information verbale ou méprise

Informations techniques erronées ou partielles

Cartographies erronées

Autres

**3. Organisation du travail**

Mauvaise analyse avant travaux

Mauvaise répartition des tâches entre les intervenants

Mauvaise planification avant travaux

Pas de suivi de la planification des travaux

Mauvaise coordination : entre les intervenants

entre les équipes

entre les entreprises

Disponibilité intervenants

insuffisante des : outils

machines

Outils inadaptés

Autres

**4. Préparation de la zone de travail et conditions de travail**

Mauvaise disposition de la zone de travail

Propreté insuffisante et mauvaise disposition de la zone de travail

Mauvaise visibilité/audition

Échafaudages insuffisants ou inadaptés

Contraintes de travail : position de travail

éclairage

chaleur

Autres

**5. Incidents dus aux outils**

Défaillance des outils

Manque d'air/eau de service

Défaillance du contrôle des outils

Défaillance du matériel de communication

Autres

**6. Incidents dus aux facteurs humains**

Erreur due au non-respect des règles ou procédures

Erreur de diagnostic

Réaction inadaptée

Temps de réaction trop lent

Défaillance physique

Autres

Retour d'expérience de la discussion avec l'équipe pour identifier et classer les causes qui sont à l'origine de l'incident

Exemple de check-list de réunion après travaux (AEN, 1997)

Check-list de réunion après travaux		
À discuter avec le chef d'équipe		
Identification du chantier:		
Zone :	Matériel :	
Description du chantier :		
Participants à la réunion :		
	Oui	Non
1 Les outils et le matériel nécessaires étaient-ils disponibles au bon moment ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2 La zone était-elle prête pour votre tâche à votre arrivée ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3 Les mesures de protection convenaient-elles pour le chantier effectué dans cette zone ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4 Combien de temps avez-vous eu pour préparer le chantier ? Était-il suffisant ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5 D'autres travaux ont-ils perturbé vos tâches ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6 Le lieu de travail était-il propre et en ordre pour vous faciliter le travail ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7 Les membres de l'équipe connaissaient-ils le niveau d'exposition ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8 Avez-vous insisté sur le fait que cette exposition devait être réduite au maximum ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9 L'équipe connaissait-elle les objectifs de doses pour le chantier ? L'équipe était-elle motivée ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10 Avez-vous eu des problèmes de coordination avec d'autres équipes, d'autres départements ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Quels problèmes rencontrés pourraient avoir été à l'origine de doses supérieures ?		
11 Avez-vous eu des difficultés à mettre en œuvre les solutions à vos problèmes ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12 Avez-vous eu des problèmes administratifs ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
13 Y a-t-il eu un événement spécifique qui vous a permis de réduire les expositions ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
14 Exécutez-vous votre tâche de la même manière la prochaine fois ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
15 Pensez-vous que la procédure devrait être modifiée ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Décrivez les réponses positives ici :		



*Annexe 5*

**EXEMPLE DE FORMULAIRE DE SUGGESTION  
D'AMÉLIORATIONS EN RADIOPROTECTION**

<b>Formulaire de suggestion d'amélioration en radioprotection</b>				
<b>Section 1 – Émetteur</b>				
Nom :	Dépt :	Ext :	Mail :	Date :
Zone ou procédure concernée par cette suggestion :				
Description de la suggestion :				
Motif de la suggestion :				
<b>Section 2 – Évaluation de la suggestion</b>				
<i>Cochez une des cases :</i>				
Amélioration radioprotection <input type="checkbox"/>				
Amélioration ALARA <input type="checkbox"/> (si la suggestion est une amélioration ALARA, joignez une analyse coûts-bénéfice)				
Quel est le coût estimé de l'amélioration suggérée ?				
La suggestion permettra-t-elle une réduction des expositions ?				
Quels sont les avantages estimés de l'amélioration suggérée ? (Joignez des informations supplémentaires, si nécessaire)				
La suggestion n'est pas justifiable du point de vue coût mais devrait être mise en œuvre <input type="checkbox"/>				
La suggestion ne devrait pas être mise en œuvre <input type="checkbox"/>				
Pièce jointe <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non		La suggestion est justifiable du point de vue coût et devrait être mise en œuvre <input type="checkbox"/>		
Recommander l'affectation à :				
Commentaires				
S-RE :			Date :	
<b>Section 3 – Examen final/approbation</b>				
La suggestion est APPROUVÉE <input type="checkbox"/>		La suggestion n'est PAS APPROUVÉE <input type="checkbox"/>		CCT <input type="checkbox"/>
Directeur du département chargé de la mise en œuvre :			Date :	
Personne désignée pour la mise en œuvre :				
D-PRP :			Date :	

Référence : (AEN, 1997)

LES ÉDITIONS DE L'OCDE, 2, rue André-Pascal, 75775 PARIS CEDEX 16  
IMPRIMÉ EN FRANCE