



Ce document doit être imprimé en recto-verso.

SOLLIER Noëlle

Date 07/02/2008

GUIDE

Guide méthodologique pour la mise en oeuvre de la démarche d'optimisation de la radioprotection au poste de travail : cas de l'exposition externe corps entier

D4507080221

Indice : 0

113 pages

dont

6 annexe(s)

Propriétaire : Service d'Ingénierie Spécialisée

Nature : GUI

Thème : RADIOPROTECTION

Document prescriptif (DI001) Oui Non

Si OUI Classe produit :

Si OUI Produit type :

Applicabilité Parc :

Documents associés : CCTG RP pour les opérations de maintenance nationale - D4507050828
NTD Guide pratique AD2R - D4507070077
PROQ Maitrise de la dimension radioprotection - D4507000723

Résumé : Ce guide, issu d'une réflexion commune EDF (UTO et CIPN) et CEPN en collaboration avec des entreprises prestataires, fournit d'une part des éléments méthodologiques pour la mise en oeuvre et la démonstration de l'optimisation de la radioprotection lors de la phase de conception d'une opération de maintenance ou de modification nationale, et d'autre part des fiches techniques qui permettent d'aider à la réflexion sur les actions de réduction des doses à mettre en oeuvre.

Annule et remplace : /

Dossier d'affaire : /

Accessibilité : Libre EDF Restreinte Confidentielle



Guide méthodologique pour la mise en oeuvre de la démarche
d'optimisation de la radioprotection au poste de travail :
cas de l'exposition externe corps entier

Page : 2 / 113

Réf. : D4507080221

Indice : 0

Classe du document : IPS QS NQS IPD

Rédacteur(s)			Contrôleur(s)			Approbateur		
Nom	Date	Visa	Nom	Date	Visa	Nom	Date	Visa
N. SOLLIER	07/03/08		P. LEGENTI P. RIDOUX (CIPN)	07/04/08 7/3/08		R. VIERNE	7-4-8	
Contrôle de niveau 2 de l'activité : Oui <input type="checkbox"/> Non <input checked="" type="checkbox"/>			Contrôleur			Date		

ARCHIVAGE

Documentation Métier (Archivage à charge du propriétaire) :

Documentation de Référence : UTO RP

Durée de conservation : LONG

DIFFUSION

Interne à U.T.O.			Externe à U.T.O.		
Destinataire(s)	Service	Nb	Destinataire(s)	Service	Nb
COL-DIR	DIR	1	DD RP DPN : Y. Garcier	DPN	1
Chargés d'affaires	CPC -TRP - GVD	1	Délégué EM RP : G. Cordier	DPN	1
Ingénieurs du GRP	SIS	6	Chefs de projet RP DPN :	DPN	2
Rédacteurs - Contributeurs	Page 3	5	B. Jeannin - H. Delabre		
			Chef du GPRE : J.L. Trombini	UNIE / GPRE	1
			Chef de branche : L. Millet	UNIE / GPRE	1
			Cadres ED en charge de la RP	CNPE	19
			Chefs de Service SPR	CNPE	19
			Cadres ED en charge de la RP	DIN (page 3)	7
			Entreprises prestataires	Page 3	20
			Rédacteurs - Contributeurs	Page 3	18
			E.M DPR : J.P Richard	CIPN / DPR	1
			Chef de Service : M.A. Biette	CIPN / DE / MM	1
			Chef de groupe RP	CIPN / DE / MM/RP	1
			A. Cochard	GIE INTRA	1
			PRISME		1

HISTORIQUE

Date applicabilité	Ind.	Paragraphe	Modification
07/04/08			Emission initiale

DIFFUSION

Cadres ED en charge de la RP DIN

- DIN : Gonzague ABELA
- SEPTEN : François KAPPLER
- CNEPE : Jean-Claude LEYRIS
- CEIDRE : Bernard LE-GUEN
- CIDEN : Jean-Luc EYRAUD
- CNEN : René GARRIGUE
- CIPN : Jean-Paul RICHARD

Entreprises prestataires

- AREVA NP (Lyon)
- AREVA NP (Châlon/saône)
- CTE Nordtest
- INTERCONTROLE
- AREVA JSPM
- CERAP
- ENDEL
- BEA
- KAEFER WANNER
- COMEX NUCLEAIRE
- GIE HORUS
- CEGELEC
- PONTICELLI FRERES
- CEP Industrie
- STMI
- FIVES NORDON
- SPIE NUCLEAIRE
- SRA SAVAC
- BABCOCK
- WESTINGHOUSE Service nucléaire
- TUNZINI Maintenance nucléaire
- SGS Qualitest Industrie
- TECHMAN INDUSTRIE
- ONECTRA

Rédacteurs et contributeurs

Remerciements à Caroline Schieber et Céline Bataille du CEPN, ainsi qu'aux rédacteurs et aux contributeurs à la rédaction du guide méthodologique pour la mise en oeuvre de la démarche d'optimisation de la radioprotection au poste de travail.

Rédacteurs

EDF UTO

- Noëlle Sollier
- Alain Quiot
- Pascal Le-genti
- Julie Ammoun
- Pierre Peuteuil

EDF CIPN

- Philippe Ridoux
- Patrick Bugeon

CEPN

- Céline Bataille
- Caroline Schieber
- Alix Boucher

Institut de soudure

- Claude Fognini

Contributeurs

EDF CNPE

- Cattenom : Jean-Paul Duthilleul

EDF CIDEN

- Long Phan-Hoang
- Sophie Chollat
- Bertrand Nohl

EDF CIPN

- Xavier Michou
- Yves Manelli
- Géraldine Guilhaume
- Cécile Benkovic

EDF DPN

- Bernard Jeannin

Entreprises prestataires

- JSPM : JC Sotiaux
- WESTINGHOUSE : JL Baron
- KAEFER WANNER : F. Renou

SOMMAIRE

SYNTHESE	7
INTRODUCTION	11
PARTIE I. METHODOLOGIE :	
LA DEMARCHE D'OPTIMISATION DE LA RADIOPROTECTION DANS LE CAS DE L'EXPOSITION EXTERNE CORPS ENTIER	13
A. DESCRIPTION DE L'OPERATION	15
B. REVUE DES DONNEES D'ENTRÉE NECESSAIRES AU CALCUL DES EVALUATIONS DOSIMETRIQUES PREVISIONNELLES	17
B.1. Le contexte radiologique	18
B.2. Le volume de travail exposé	19
B.3. Le coefficient d'exposition	20
B.4. Autres données sur les conditions de travail	21
C. CALCUL DE L'ÉVALUATION DOSIMETRIQUE PREVISIONNELLE INITIALE ET DETERMINATION DU NIVEAU D'ENJEU RADIOLOGIQUE	23
D. IDENTIFICATION DES COMPOSANTES MAJORITAIRES DE LA DOSE	29
E. IDENTIFICATION DES ACTIONS DE REDUCTION DES DOSES	31
F. EVALUATION DE L'IMPACT DES ACTIONS	35
G. SELECTION DES ACTIONS	37
H. ANALYSE DE SENSIBILITE ET DISCUSSION	41
I. SYNTHESE DE L'ANALYSE D'OPTIMISATION	43
PARTIE II.	
FICHES TECHNIQUES SUR LES ACTIONS DE REDUCTION DES DOSES	47
1. PRESENTATION ET STRUCTURE DES FICHES	49
2. TABLEAU DE SYNTHESE POUR L'IDENTIFICATION DES ACTIONS DE RÉDUCTION DES DOSES	51
3. FICHE DED 1. MISE EN EAU DES CIRCUITS	53
4. FICHE DED 2. RINCAGE DES CIRCUITS ET CHASSE DES POINTS CHAUDS	57
5. FICHE DED 3. DECONTAMINATION DE SOURCE D'IRRADIATION	59
6. FICHE DED 4. MISE EN PLACE DE PROTECTIONS BIOLOGIQUES	63
7. FICHE DED 5. ENLEVEMENT/DEPOSE D'UN ELEMENT IRRADIANT	69
8. FICHE VTE 1. AUTOMATISATION ET ROBOTISATION	71



9. FICHE VTE 2. PREPARATION DU MATERIEL ET DU TERRAIN	75
10. FICHE VTE 3. PREPARATION DES HOMMES	77
11. FICHE K1. TELEDOSIMETRIE	79
ANNEXE 1 - EXEMPLES D' ELEMENTS DE SORTIE	81
ANNEXE 2 - OBJECTIFS DE DOSE COLLECTIVE OU INDIVIDUELLE	99
ANNEXE 3 - RECHERCHE DE L'ORIGINE DES DEBITS D'ÉQUIVALENT DE DOSE	101
ANNEXE 4 - ANALYSE TECHNICO-ECONOMIQUE	105
ANNEXE 5 - GLOSSAIRE	107
ANNEXE 6 - REFERENCES	113

SYNTHESE

Ce guide méthodologique a pour objectif d'aider les chargés d'affaires, les responsables de conception, les radioprotectionnistes des ingénieries nationales et des entreprises prestataires à **structurer** et à **formaliser la démarche d'optimisation de la radioprotection au cours de la conception des opérations de maintenance et de modification nationales**.

La démarche d'optimisation de la radioprotection est une **démarche prévisionnelle** qui consiste à déterminer à l'avance :

- **Les doses associées à l'opération**, grâce à l'élaboration d'un modèle dosimétrique,
- **Les actions qui vont permettre de réduire ces doses aussi bas que raisonnablement possible.**

La première partie du guide présente les différentes étapes de la démarche d'optimisation de la radioprotection et apporte des éléments de méthode pour démontrer sa mise en oeuvre. Il est à souligner que cette démarche se doit d'être itérative et que les étapes présentées sont à répéter tout au long de la conception de l'opération, de la revue de la demande à l'élaboration et la validation du document d'intervention.

La deuxième partie du guide propose des fiches techniques relatives à l'étude et à la mise en oeuvre de certaines actions de réduction des doses.

Structure de la démarche d'optimisation

1. Il est tout d'abord nécessaire d'étudier finement l'opération à optimiser. Cet examen est un pré-requis fondamental dont dépendra la qualité des décisions de radioprotection qui suivront. Il consiste à déterminer de façon prévisionnelle :
 - Le découpage de l'opération en tâches élémentaires,
 - Les données d'entrée nécessaires au calcul des doses collectives et individuelles, à savoir les débits d'équivalent de dose (DED), les volumes de travail exposé (VTE), les coefficients d'exposition (K), et les conditions d'intervention associés à chaque tâche élémentaire.
 - Les plages de doses collectives et individuelles (calcul des évaluations dosimétriques prévisionnelles initiales) à partir de la formule suivante (modèle dosimétrique) :
$$\text{Dose (H.mSv)} = \text{DED (mSv/h)} \times \text{VTE (H.h)} \times \text{K}$$
2. L'analyse d'optimisation consiste ensuite à :
 - Identifier les composantes majoritaires des doses collectives et individuelles,
 - Déterminer, hiérarchiser et sélectionner les actions de réduction des doses les plus pertinentes.
 - Recalculer les évaluations dosimétriques prévisionnelles (dites optimisées).
3. Elle est enfin soldée par la conception du suivi de l'opération et la définition des points de collecte et de suivi qui permettront de vérifier que le niveau d'optimisation, défini en phase de conception, est bien atteint en phase de réalisation.

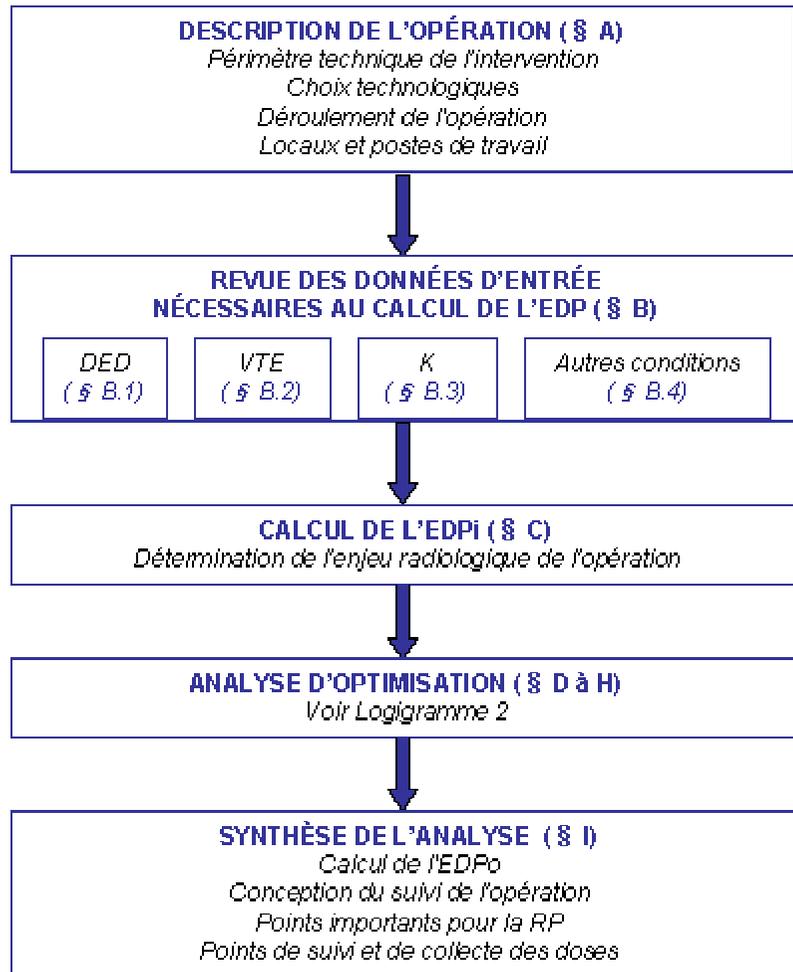
Ce cheminement est illustré par le Logigramme 1. Les étapes de l'analyse d'optimisation sont précisées dans le Logigramme 2.

Fiches techniques : actions de réduction des doses

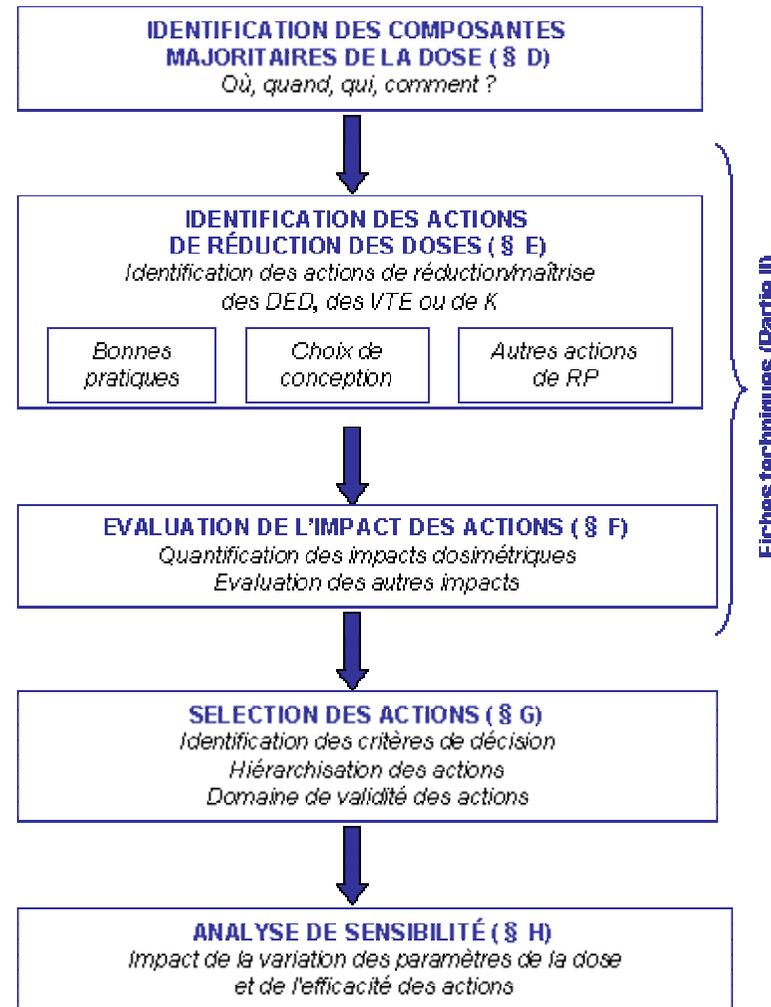
Les actions de réduction des doses présentées dans la partie II du guide sont les suivantes :

- Mise en eau des circuits
- Rinçage des circuits et chasse des points chauds
- Décontamination de source d'irradiation
- Mise en place de protections biologiques
- Enlèvement/dépose d'un élément irradiant
- Automatisation et robotisation
- Préparation du matériel et du terrain
- Préparation des hommes
- Télédosimétrie

Logigramme 1. Les différentes étapes de la démarche d'optimisation



Logigramme 2. Les étapes de l'analyse d'optimisation





Démonstration de l'optimisation de la radioprotection d'une opération

L'optimisation de la radioprotection lors de la phase de conception d'une opération pourra être démontrée si la démarche inclut :

- La présentation d'une succession de décisions prises tout au long de la phase de conception relatives à la radioprotection.
- Un modèle dosimétrique permettant le calcul des évaluations dosimétriques prévisionnelles initiales et optimisées, suivant le découpage de l'opération en tâches élémentaires. Le degré de détail du découpage de l'opération doit être adapté à la complexité de l'opération et permettre une mise à jour du prévisionnel dosimétrique en fonction des données réelles lors de la réalisation de l'opération.
- Des actions de réduction/maîtrise des doses (incluant bonnes pratiques et choix de conception) dont la mise en oeuvre est justifiée par leur efficacité et/ou d'autres critères de choix explicites. Une identification des domaines de validité de ces actions.
- La définition des modalités de suivi de l'opération à travers la définition des points importants pour la radioprotection et des points de collecte nécessaires au suivi dosimétrique et à l'établissement du retour d'expérience de l'opération.

La démarche d'optimisation de la radioprotection doit ensuite se poursuivre en phase de réalisation de l'opération où un suivi approprié doit être réalisé afin de capitaliser un retour d'expérience pertinent qui permettra une amélioration continue de l'opération.

La démonstration de l'optimisation de la radioprotection d'une opération passe ainsi par une traçabilité de l'ensemble des décisions favorables à la radioprotection qui auront été prises au cours de la vie de l'opération (phases de conception, de suivi et de retour d'expérience).

INTRODUCTION

Contexte

L'entreprise EDF et ses prestataires ont l'ambition commune de chercher à réduire l'exposition collective et individuelle des personnels aux rayonnements ionisants par une démarche d'optimisation de la radioprotection (ou démarche ALARA). Cette démarche concerne essentiellement les risques d'exposition externe corps entier puisque EDF privilégie une gestion du risque de contamination interne consistant à s'en prémunir intégralement.

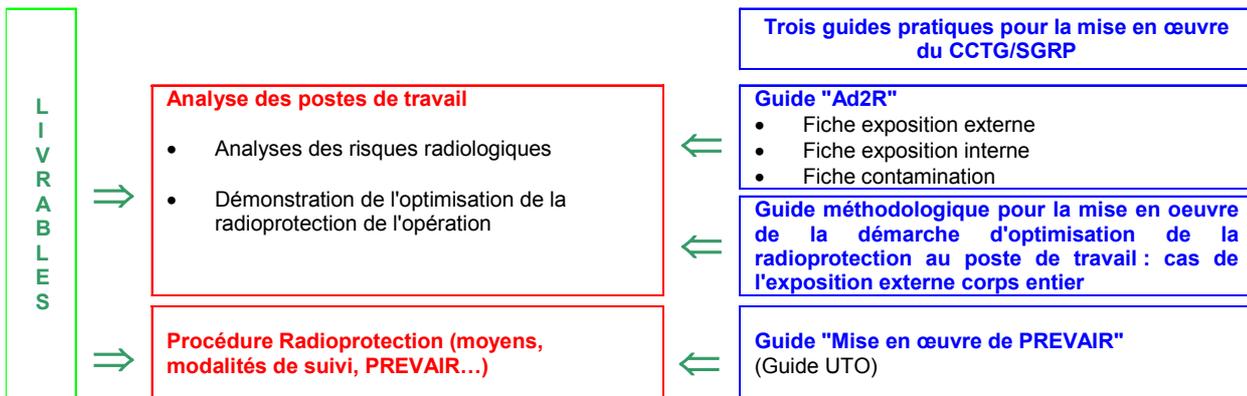
Les ingénieries nationales, en particulier l'UTO et le CIPN, demandent ainsi à leurs prestataires de démontrer l'optimisation de la radioprotection lors de la conception et de la réalisation des opérations de maintenance et de modification nationales dans les CNPE. Cette exigence est exprimée dans les documents qui régissent leurs relations avec les prestataires : le Cahier des Clauses Techniques Générales de Radioprotection (CCTG, document UTO) et les Clauses de Spécification Générales en Radioprotection (SGRP, document CIPN) [1]. Il est ainsi demandé aux prestataires de fournir une analyse des postes de travail composée :

- d'une analyse des risques radiologiques,
- d'une démonstration de l'optimisation de la radioprotection lors de l'opération.

Le présent "**Guide méthodologique pour la mise en oeuvre de la démarche d'optimisation de la radioprotection au poste de travail : cas de l'exposition externe corps entier**" a été conçu pour aider à répondre à la seconde partie de cette analyse des postes de travail. Il est complémentaire des deux guides élaborés pour l'application du CCTG et/ou du SGRP :

- le "Guide Pratique d'Analyse de Risque Radiologique" (guide "Ad2R"), dont il complète la fiche "exposition externe" qui rappelle les parades génériques pour ce type de risque (actions sur les sources, temps, écrans, distance) [2],
- le Guide "Mise en oeuvre de PREVAIR pour les chantiers de maintenance nationale" [3].

Illustration. Place des différents guides dans les processus liés au CCTG/SGRP [2]



Objectif

Ce guide a pour objectif d'aider les chargés d'affaires, les responsables de conception, les radioprotectionnistes des ingénieries nationales et des entreprises prestataires à **structurer** et à **formaliser la démarche d'optimisation de la radioprotection au cours de la conception des opérations**. Il décrit les différentes étapes de cette démarche et apporte des éléments de méthode pour démontrer sa mise en oeuvre. Les étapes présentées sont à réitérer tout au long de la phase de conception, de la revue de la demande à l'élaboration et la validation du document d'intervention.



Structure

Le guide est constitué de deux parties qui allient aspects théoriques et pratiques.

1. La **première partie fournit des éléments méthodologiques pour la mise en oeuvre et la démonstration de l'optimisation de la radioprotection** lors de la phase de conception d'une opération de maintenance ou de modification. Pour chaque étape de la démarche d'optimisation, le guide présente ses objectifs, ses particularités ("**Focus**" et "**Point de vigilance**"), propose des recommandations pour renforcer la démarche ("**Pour aller plus loin**") et dresse une liste des **éléments de sortie associés** (✍).
2. La **seconde partie se présente sous la forme de fiches techniques** qui aident à la réflexion sur l'étude et la mise en oeuvre de certaines **actions de réduction des doses**. Après une identification de l'objectif de l'action, chaque fiche propose un questionnement de premier niveau qui permet de déterminer si l'étude de l'action présente un intérêt. Elle est ensuite complétée par une description de l'action et des contraintes associées ainsi que par des éléments de méthode pour réaliser l'analyse d'optimisation dans le cas où l'action est à étudier.

Un exemple d'utilisation du guide est présenté en Annexe 1. Il illustre quelques-uns des éléments de sortie attendus lors de l'analyse d'optimisation. Cet exemple a été élaboré à partir de données réelles issues du retour d'expérience d'UTO. Elles ont été adaptées par mesure de simplification, mais un niveau important de réalisme a été conservé.

Un **glossaire** est fourni en fin de document.

Domaine d'application et limites

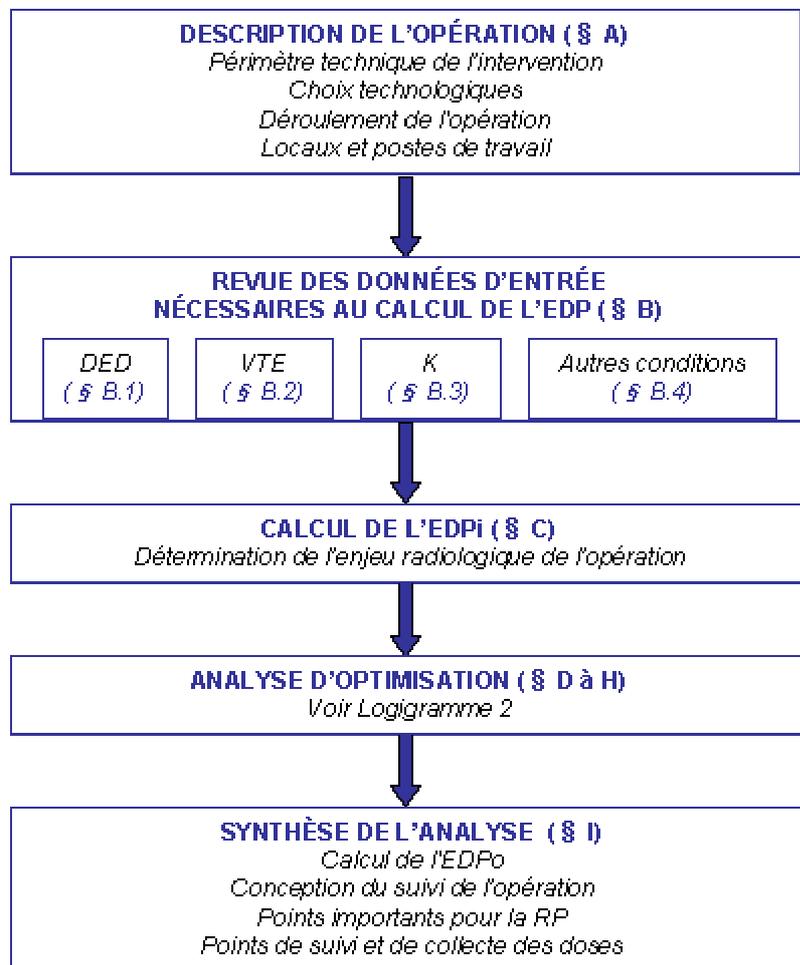
Ce guide s'applique directement à la phase de conception des dossiers de maintenance et de modification nationale. Il pourra servir de support pour la phase de réalisation (notamment pour l'adaptation des dossiers aux spécificités locales) mais un autre guide sera prochainement élaboré, sur ce sujet, par EDF.

Le guide ne précise pas les acteurs participant à l'élaboration des différentes étapes d'optimisation de la radioprotection. Pour obtenir ces informations, il est nécessaire de se référer aux documents existants [4, 5]. Il convient néanmoins de souligner que l'optimisation de la radioprotection d'une opération est sous la co-responsabilité d'EDF et de ses prestataires et qu'elle doit résulter de dialogues et d'échanges entre les différents acteurs.

Enfin, selon l'enjeu radiologique d'une opération, la formalisation de la démarche d'optimisation de la radioprotection se doit d'être plus ou moins détaillée. Ce guide s'applique plus particulièrement aux opérations dont l'enjeu radiologique est fort (niveau 3), voire significatif (niveau 2).

PARTIE I. METHODOLOGIE : LA DEMARCHE D'OPTIMISATION DE LA RADIOPROTECTION DANS LE CAS DE L'EXPOSITION EXTERNE CORPS ENTIER

Logigramme 1. Les différentes étapes de la démarche d'optimisation



A. DESCRIPTION DE L'OPÉRATION

Objectifs

- **Identifier le périmètre technique de l'opération et les activités connexes.**
- **Identifier les choix technologiques effectués.**
- **Fournir une description du déroulement de l'opération :**
 - **Identifier les différentes étapes de l'opération : effectuer un premier découpage en tâches élémentaires.**
 - **Identifier les locaux et les postes de travail.**

Description générale de l'intervention - identification de l'opération

Usuellement, toute intervention peut être fractionnée en plusieurs opérations dont la conception (puis la réalisation) est confiée à différents acteurs qu'il convient d'identifier :

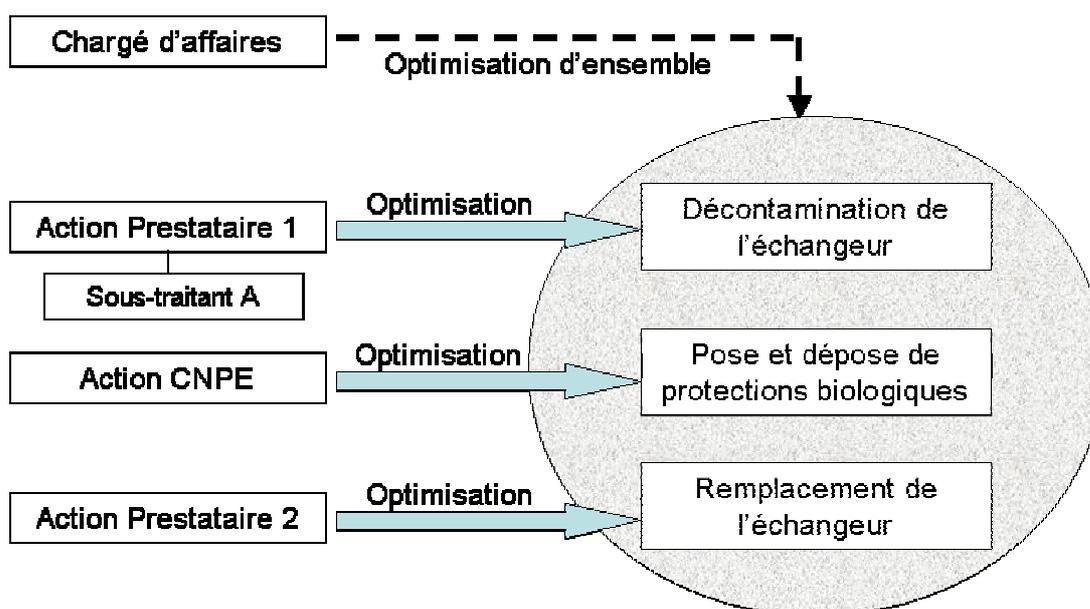
- Le chargé d'affaires ou le responsable de conception : il a la responsabilité de l'ensemble de l'intervention et doit s'assurer qu'elle est optimisée dans son intégralité (échange des données radiologiques, cohérence des hypothèses et des moyens mis en œuvre, non transfert de dose).
- Le prestataire d'une opération : il doit appliquer la démarche d'optimisation de la radioprotection à l'intérieur du périmètre qui lui incombe en tenant compte toutefois des interactions avec les autres opérations. Le prestataire peut aussi travailler avec des sous-traitants : dans ce cas, il est responsable de l'optimisation globale des différentes tâches sous-traitées.

NB : La configuration qui semble optimale, à tout point de vue, est celle d'une Prestation Intégrée, réduisant les opérations connexes (servitudes) confiées aux CNPE, et dans laquelle l'optimisation de la radioprotection de l'opération en phase de conception est confiée à un unique responsable.

Tout dossier présentant la démarche d'optimisation d'une opération doit donc débiter par une description générale de l'intervention dans laquelle s'inscrit cette opération en identifiant, si nécessaire, les autres opérations qui contribuent à l'intervention ainsi que les interactions avec d'autres acteurs.

Illustration. Optimisation de la radioprotection du remplacement d'échangeurs RCV

Dans cet exemple, l'intervention est composée de trois opérations : "remplacement de l'échangeur", "pose et dépose de protections biologiques" et "décontamination de l'échangeur". Chaque opération fait l'objet d'une optimisation propre. Le chargé d'affaires est ensuite responsable de l'optimisation de l'ensemble.



Le périmètre technique de l'opération

Après la description de l'opération pour laquelle la démarche d'optimisation va être appliquée, il convient d'identifier clairement le périmètre technique de cette opération et de fournir, à l'intérieur de ce périmètre, les informations (contenu et interactions avec les autres opérations) nécessaires au déroulement de la démarche.

Le périmètre technique peut s'étendre à un **choix technologique (ou organisationnel)** fait en amont de la conception de l'opération (exemples : réalisation de soudages automatiques imposée par une politique industrielle, réalisation d'une intervention robotisée, recours à un plongeur...). Dès cette étape, il est donc important d'**identifier et de justifier ces choix** qui peuvent conditionner la démarche d'optimisation qui suit. Il convient d'**indiquer si ces choix sont favorables ou non à la radioprotection**. Ces choix peuvent être faits par le chargé d'affaires ou bien par le prestataire.

Description de l'opération

La description de l'opération inclut le séquençage des tâches et leur nature, l'affectation des ressources sollicitées et les locaux concernés. Un premier découpage de l'opération en tâches élémentaires peut être proposé ainsi qu'une identification des postes de travail.

Les conditions générales d'intervention doivent également être décrites, en précisant par exemple **les hypothèses qui déterminent l'enjeu radiologique** (si celui-ci est connu dès cette phase de description de l'opération).

Il convient de noter ici que, dans certains cas, les opérations sont conçues pour être réalisées dans des conditions qui déterminent leur classement à un niveau d'enjeu radiologique plus faible que si ces conditions n'étaient pas remplies (exemple : circuits secondaires du générateur de vapeur en eau recouvrant le chignon lors d'une intervention au niveau des J tubes côté secondaire). Il est alors essentiel de le préciser dans la description de l'opération, afin de délimiter le domaine de validité de l'analyse d'optimisation qui suivra. Il sera également nécessaire de prévoir un contrôle des conditions réelles de l'opération (voir I.).

Il est parfois possible que différents scénarios permettent d'effectuer l'opération demandée. Dans ce cas, les scénarios doivent être pesés du point de vue de la radioprotection avant d'initier la démarche d'optimisation pour celui retenu.

△ Point de vigilance Prestations optionnelles

Si la prestation prévoit différentes options (en fonction des conditions rencontrées sur site), chaque prestation optionnelle doit faire l'objet d'une analyse d'optimisation.

⇒ Pour aller plus loin Prise en compte de la programmation des opérations sur le parc

Lorsque l'opération doit être reconduite plusieurs fois sur le parc, à une cadence annuelle qui peut être élevée, il peut être utile de le mentionner ici. Cette information peut en effet intervenir dans la justification d'actions de réduction des doses ou pour la prise en compte des spécialités sollicitées.

✍ Éléments de sortie pour la description de l'opération

- Description générale de l'intervention dans laquelle s'inscrit l'opération qui sera optimisée et des activités connexes.
- Identification et justification des choix technologiques effectués lors de la conception de l'opération.
- Découpage chronologique de l'opération :
 - Premier découpage en tâches élémentaires.
 - Identification des lieux (locaux) de l'opération.
 - Description des postes de travail.

B. REVUE DES DONNEES D'ENTRÉE NECESSAIRES AU CALCUL DES EVALUATIONS DOSIMETRIQUES PREVISIONNELLES

Objectifs

- Identifier les données de retour d'expérience disponibles (opérations et technologies similaires) pouvant être utilisées dans le modèle dosimétrique.
- Détailler les données nécessaires au calcul de la dose collective et individuelle pour chaque tâche élémentaire de l'opération (voir B.1 à B.4).

Selon les opérations, les données d'entrée (contexte radiologique, volume de travail exposé...) peuvent avoir des origines diverses. Dans tous les cas, **il est essentiel de tracer les hypothèses retenues, les sources documentaires utilisées et de préciser, si possible, le degré d'incertitude des paramètres.**

Selon le retour d'expérience disponible, deux grandes familles d'opérations peuvent être distinguées :

- Les nouvelles opérations

Ces opérations ne bénéficient pas de données de retour d'expérience. Il faudra donc dresser des hypothèses précises (débits d'équivalent de dose, volumes de travail exposé,...) en indiquant leur domaine de validité, et être particulièrement attentif à l'analyse de sensibilité (voir H.). Il conviendra en particulier de prévoir une validation/qualification des phases entièrement nouvelles de l'opération.

- Les opérations existantes effectuées dans la continuité technologique

Ces opérations ayant été réalisées plusieurs fois, des données de retour d'expérience sont disponibles. Il est nécessaire de s'appuyer sur ce retour d'expérience pour démontrer l'application d'une démarche d'amélioration continue permettant d'optimiser la radioprotection.

Les deux "familles d'opérations" citées ci-dessus constituent des cas "extrêmes". La plupart des opérations sont des cas intermédiaires pour lesquels il peut exister un retour d'expérience partiel qui permet de renforcer la démonstration de l'optimisation de la radioprotection.

Pour les opérations existantes, la revue des données d'entrée qui permettront de réaliser le modèle dosimétrique est le plus souvent réalisée **à partir du retour d'expérience** provenant d'opérations similaires ou utilisant des technologies similaires. Dans ce cadre, il est ainsi possible, dès cette étape, d'identifier les actions de réduction des doses qui sont habituellement mises en oeuvre (elles seront alors reprises lors de l'analyse d'optimisation de la radioprotection de l'opération – voir D à H). Par ailleurs, si les données sont disponibles, **les incertitudes et les possibilités de variations des débits d'équivalent de dose ou des volumes de travail exposé** peuvent aussi être indiquées (par exemple, sous la forme de valeurs basse, type et haute).

Pour les nouvelles opérations, la revue des données d'entrée doit suivre les étapes suivantes :

- Découper l'opération en grandes phases.
- Faire des hypothèses sur les volumes de travail exposé, en faisant appel, si cela se révèle pertinent pour certaines phases de l'opération, au retour d'expérience de situations comparables.
- Recourir soit à la modélisation, soit au retour d'expérience de situations comparables pour les débits d'équivalent de dose.
- Identifier le degré d'incertitude des paramètres retenus.

Focus

Précision et réitération de la revue des données d'entrée

Lorsque le **niveau d'enjeu radiologique de l'opération est inconnu** au début de l'analyse d'optimisation (il sera déduit de la première évaluation dosimétrique prévisionnelle initiale), la première revue des données d'entrée peut être relativement succincte. Elle sera ensuite approfondie si le niveau d'enjeu radiologique se révèle être significatif ou fort.

Par ailleurs, **dans le cas d'une nouvelle opération**, la revue des données d'entrée sera tout d'abord réalisée pour les grandes phases de l'opération. Au fur et à mesure de l'avancée de la connaissance de l'opération, un découpage plus fin devra être adopté et la revue des données devra être réitérée. Dans ce cas, il est important de bien tracer les différentes étapes de l'évaluation (indiciage du modèle dosimétrique).

Focus

Qualification pour les nouvelles opérations

Pour les nouvelles opérations (ou nouveaux procédés), il peut être nécessaire de valider les hypothèses de conception via une phase de qualification et un passage sur maquette (cela peut être réalisé au CETIC - Centre d'Expérimentation et de validation des Techniques d'Intervention sur Chaudières - ou chez les prestataires). Certaines nouvelles opérations, classées Notable ou Notable Important (selon les règles de surveillance en exploitation des matériels mécaniques des îlots nucléaires REP), sont, en particulier, soumises à une qualification sous surveillance de l'ASN (décision DGSNR 2003-191).

Cette étape de qualification permet de confirmer les données relatives à la radioprotection : elle peut permettre de répéter certaines opérations délicates d'un dossier, vérifier les volumes de travail exposé qui ont été proposés (temps de jump, temps de montage et de démontage d'outillages...), la position des opérateurs, l'efficacité et les conditions de mise en œuvre de certaines actions de réduction des doses... Les prévisionnels dosimétriques peuvent ainsi être testés et adaptés.

Nota : Si la phase de qualification ne peut pas avoir lieu avant les premières réalisations sur site, la TTS ou la MSI constituent directement la phase de qualification de l'opération.

Pour aller plus loin
Identification des aléas

Il est possible, dès cette étape (REX, analyse de risques...), d'identifier les aléas potentiels et les solutions de repli envisagées.

Exemples : défaut de soudure nécessitant des travaux supplémentaires, dégradation des conditions radiologiques d'intervention...

B.1. Le contexte radiologique

Objectifs

- Identifier les valeurs des débits d'équivalent de dose aux différents postes de travail, ainsi que leur domaine de variabilité.

Le débit d'équivalent de dose (DED) est défini en mSv/heure.

Plusieurs possibilités existent pour obtenir les débits d'équivalent de dose prévisionnels aux postes de travail identifiés précédemment (A. Description de l'opération). Ces différentes méthodes peuvent être combinées.

- Avoir recours à des **bases de données** telles que SYGMA ® ou CARTORAD ®.
- Analyser les **retours d'expérience** d'opérations similaires.
- Faire une **enquête préalable** sur des tranches représentatives de la variabilité du parc nucléaire ou sur la tranche concernée par l'opération.
- Réaliser une **simulation numérique** avec des codes dosimétriques tels que PANTHERE ® (notamment pour des situations non accessibles à la mesure ou non disponibles aux positions souhaitées) [6].

Il est important d'obtenir des débits d'équivalent de dose représentatifs des postes de travail (positionnement, conditions opératoires...). Il est **essentiel de tracer la (les) méthode(s) utilisée(s) et les conditions dans lesquelles les valeurs des débits d'équivalent de dose utilisées pour l'opération ont été obtenues.**

Pour aller plus loin
Cas des activités de calorifugeage

Les activités de calorifugeage peuvent nécessiter de travailler sur des tronçons de 2 ou 3 mètres de tuyauterie. Dans ce cas, des valeurs moyennes de DED dans la zone d'intervention peuvent être retenues et utilisées dans le modèle dosimétrique.

📌 Focus

Gammes de mesures des débits d'équivalent de dose

A ce stade, il est possible d'établir des gammes de mesures qui permettront de s'assurer que les débits d'équivalent de dose utilisés en phase de réalisation correspondent à ceux considérés en phase de conception. Ces dispositions spécifient la localisation des points de mesure (distance à la source) ainsi que les conditions de mesure (configuration des circuits ou des matériels : avec ou sans protections biologiques, avec ou sans calorifuges...).

La connaissance de l'évolution dans le temps des débits d'équivalent de dose est une exigence pour les opérations classées en enjeu radiologique fort. Ces variations peuvent être directement liées à l'opération ou à son environnement proche (évolution des niveaux d'eau lors des remplacements de GV, dépose d'éléments irradiants, entreposage de déchets...).

📌 Focus

Domaine de variabilité du contexte radiologique

Il est nécessaire de déterminer l'origine de la variabilité du contexte radiologique (variation du débit d'équivalent de dose liée à une source unique, variation de la contribution des différentes sources dans un environnement multi-sources...).

Dans la mesure des données disponibles, et si cela est pertinent, il est utile de fournir une estimation de la variabilité du contexte radiologique en précisant les valeurs basse, type et haute des débits d'équivalent de doses pouvant être rencontrées.

Pour les opérations dont on connaît par expérience les valeurs de débits d'équivalent de dose les plus fréquemment rencontrées, il peut être décidé de borner volontairement le domaine de variabilité des débits d'équivalent de dose, en ne considérant pas les cas extrêmes (valeurs basses et hautes). Si des cas extrêmes sont rencontrés, il conviendra alors de le notifier en indiquant qu'une étude spécifique sera réalisée pour ces circonstances (réitération de la démarche d'optimisation).

⚠ Point de vigilance

En cas d'incertitudes sur le contexte radiologique

Dans certains cas, des incertitudes importantes peuvent subsister concernant la variabilité du contexte radiologique. Il conviendra alors de renforcer les modalités du suivi et de surveillance de l'opération.

⇒ Pour aller plus loin

Analyse de l'état radiologique du parc

Si l'analyse de l'état radiologique du parc montre que le contexte radiologique de l'opération peut être significativement différent d'un palier à l'autre, voire d'un site à l'autre, il est recommandé de constituer différents dossiers. Chaque dossier présentera alors une démarche d'optimisation différente.

B.2. Le volume de travail exposé

Objectifs

- Réaliser un découpage chronologique de l'opération en tâches élémentaires adapté à la complexité de l'opération.
- Déterminer le nombre d'intervenants par spécialité et les temps d'exposition pour les différentes tâches élémentaires de l'opération.

Le volume de travail exposé est défini en Homme.heures par :

$$\text{VTE} = (\text{nombre d'intervenants}) \times (\text{nombre d'heures})$$

Itération du découpage en tâches élémentaires

Un découpage chronologique de l'opération en tâches élémentaires à un niveau de détail adapté à la complexité de l'opération et au stade de la conception permet de définir les volumes de travail exposé associés à la réalisation de ces tâches. Lors des premières ébauches de conception, il est usuel de travailler sur de grandes phases pour ensuite affiner au fur et à mesure.

On peut considérer que le bon niveau de découpage est atteint lorsque, pour deux tâches élémentaires consécutives, au moins l'une des conditions suivantes est remplie :

- Les débits d'équivalent de dose sont différents (changement de poste de travail, évolution dans le temps des débits d'équivalent de dose à un même poste de travail...).
- Les conditions d'intervention (port des équipements de protection individuelle...) sont différentes.
- Les spécialités (voire les sous-ensembles d'une même spécialité) qui interviennent sont différentes.

△ Point de vigilance
Découpage en tâches élémentaires

Afin d'être en mesure de réaliser l'analyse d'optimisation ultérieure, il est important de connaître, pour chaque tâche élémentaire, le local dans lequel elle se déroule, éventuellement le poste de travail s'il en existe plusieurs dans un même local, ainsi que les conditions de travail associées.

Détermination des VTE associés

Il est conseillé de **se rapprocher des "métiers" ou des "spécialités"** qui seront sollicités. Il est important de **préciser le degré de sensibilité des VTE**. Certains VTE peuvent être assez robustes tandis que d'autres peuvent être plus "souples" et nécessiteront une validation.

Pour des opérations existantes, le VTE est généralement déterminé à partir des données issues du retour d'expérience.

△ Point de vigilance
Volume de travail exposé vs durée totale de travail

Il est important de ne pas confondre le volume de travail exposé et la durée totale de travail nécessaire à l'opération. Lors de la revue des données d'entrée et du calcul de l'évaluation prévisionnelle dosimétrique, seuls les volumes de travail exposé au poste de travail sont à prendre en compte.

△ Point de vigilance
Exposition lors des trajets

Dans certains cas, les temps de trajets sont significatifs et conduisent à des volumes de travail exposé non négligeables. Dans ce cas, il est nécessaire de les évaluer et de les prendre en compte dans l'évaluation dosimétrique prévisionnelle.
Exemple : examen télévisuel des puits de fond de cuve.

B.3. Le coefficient d'exposition

Objectif

- **Pondérer les débits d'équivalent de dose choisis en fonction de la position supposée des intervenants.**

Le coefficient d'exposition, K, permet de **caractériser la mobilité des intervenants par rapport aux sources d'irradiation, leur comportement et l'ergonomie de la zone**. Il permet ainsi de pondérer les débits d'équivalent de dose choisis et utilisés dans le modèle dosimétrique en fonction de la position supposée des intervenants par rapport à la source considérée et du volume de travail exposé. Ce coefficient n'est pas mesurable ; cependant, pour des opérations existantes bénéficiant de données de retour d'expérience, il peut être déduit des doses, débits d'équivalent de dose et volumes de travail exposé qui ont été observés.

Le coefficient d'exposition est généralement compris entre 0,3 et 1 avec une valeur usuelle de référence de 0,7 pour des postes de travail situé à 50 cm de l'organe. S'il est inférieur à 0,3, il est nécessaire de s'interroger sur le découpage de l'opération en plusieurs opérations élémentaires pour dissocier les différents postes de travail. Il est, de plus, impossible d'envisager un coefficient d'exposition supérieur à 1. Si ce cas est observé à partir des données de retour d'expérience, il est nécessaire de revoir la modélisation en prenant en compte un autre débit d'équivalent de dose ou volume de travail exposé au poste de travail dans le calcul de la dose.

✦ Focus

Valeur de K lors de la pose/dépose de protections biologiques

Lors de la pose/dépose de protections biologiques, le coefficient d'exposition considéré est généralement de 0,5. Cette valeur permet de prendre en compte l'atténuation du débit d'équivalent de dose au poste de travail des poseurs du fait de la protection partielle assurée par les protections biologiques au cours de la pose/dépose (voir fiche DED 4).

B.4. Autres données sur les conditions de travail

Objectif

- **Identifier si des conditions de travail particulières peuvent avoir une influence sur le temps d'exposition.**

Lors de l'analyse de risque effectuée en amont de l'analyse d'optimisation de la radioprotection, **des conditions de travail particulières peuvent avoir été identifiées**, notamment sur la base du retour d'expérience. Lors de la revue des données d'entrée, il est nécessaire de prendre en compte ces conditions dans la mesure où **elles peuvent avoir une influence sur les temps d'exposition**.

Ces conditions de travail peuvent être, par exemple :

- l'absence d'éclairage,
- la température,
- l'exiguïté de la zone,
- le port d'équipements de protection individuelle (identifié dans l'analyse de risque),
- la présence de protections collectives,
- le travail en hauteur (ou la possibilité d'être exposé à différents risques conventionnels),
- ...

✍ Éléments de sortie pour la revue des données d'entrée

- **Découpage de l'opération en tâches élémentaires (plus ou moins détaillé selon le retour d'expérience disponible, le stade de conception et le niveau d'enjeu radiologique).**
- **Schéma des locaux et des zones de travail.**
- **Estimation du contexte radiologique, des volumes de travail exposé et des coefficients d'exposition.**
- **Données jugées pertinentes sur les conditions de travail.**
- **Aléas potentiels et solutions de repli envisagées.**

C. CALCUL DE L'ÉVALUATION DOSIMÉTRIQUE PRÉVISIONNELLE INITIALE ET DETERMINATION DU NIVEAU D'ENJEU RADIOLOGIQUE

Objectifs

- Fournir une évaluation de la dose collective et de la dose individuelle moyenne (par spécialité par exemple) pour les tâches élémentaires de l'opération et pour sa totalité.
- Déterminer le niveau d'enjeu radiologique sur la base de la première évaluation dosimétrique prévisionnelle initiale.

Calcul de l'évaluation dosimétrique prévisionnelle initiale

Le **modèle dosimétrique** suivant doit être utilisé pour calculer l'évaluation dosimétrique prévisionnelle initiale (EDPi) **pour chaque tâche élémentaire** et pour **l'ensemble de l'opération**.

$$\text{EDPi}_{\text{tâche élémentaire}} \text{ (en H.mSv)} = \text{DED} \times \text{VTE} \times \text{K}$$

$$\text{EDPi}_{\text{opération}} = \sum \text{EDPi}_{\text{tâche élémentaire}}$$

Où

DED est le débit d'équivalent de dose attendu au niveau de la tâche élémentaire en mSv/heure,

VTE est le volume de travail exposé estimé en Homme.heures,

K est le coefficient d'exposition.

La dose moyenne individuelle par spécialité est également un indicateur intéressant au regard de la faisabilité technique de l'opération, que ce soit au niveau de la tâche élémentaire (celle-ci étant généralement réalisée par une seule spécialité) ou pour l'ensemble de l'opération. Dans ce dernier cas, il est nécessaire d'estimer le nombre minimum d'intervenants d'une spécialité donnée pour pouvoir réaliser l'ensemble de l'opération. La dose moyenne par spécialité pour l'opération est alors obtenue en divisant la dose prévisionnelle collective de l'opération par le nombre minimum d'intervenants de la spécialité concernée.

△ Point de vigilance

Pertinence de l'utilisation de la dose individuelle moyenne par spécialité

En phase de conception, cette valeur n'est qu'un indicateur, supposant une répartition des doses uniforme, et doit donc être utilisée avec précaution. Elle ne doit pas masquer d'éventuelles disparités de dose au sein d'une même spécialité provenant de l'organisation et de l'affectation des ressources. Si ce cas est rencontré, il est recommandé de définir des populations à l'intérieur des spécialités.

‡ Focus

Évaluation des doses liées aux opérations connexes

Les doses liées aux opérations connexes (pose d'échafaudages...) sont à intégrer dans l'évaluation dosimétrique prévisionnelle initiale dès lors qu'elles relèvent d'actions de réduction des doses. Ces données peuvent être obtenues auprès des CNPE et/ou des métiers concernés.

⇒ Pour aller plus loin

Évaluation des doses liées aux activités de surveillance

Les données de retour d'expérience montrent que les activités de surveillance (activités liées à l'application de l'arrêté qualité du 10 août 1984), les activités de suivi dosimétrique, la réalisation de cartographies, réalisées par EDF et par le prestataire, représentent usuellement de l'ordre de 7% des doses reçues lors d'une opération (avec une répartition égale entre EDF et le prestataire). Cet indicateur peut notamment être utilisé lors du calcul du premier EDPi d'une opération nouvelle pour laquelle seules les grandes phases de l'opération ont été identifiées.

✂ Focus

Variabilité du contexte radiologique et du prévisionnel dosimétrique

Dans le cas où un domaine de variabilité du contexte radiologique a été identifié pour l'opération (voir B.1.), plusieurs évaluations dosimétriques doivent être élaborées en fonction de la variabilité du contexte. L'évaluation dosimétrique prévisionnelle initiale pour l'ensemble de l'opération pourra donc être présentée avec une valeur-type, ainsi qu'un intervalle [valeur basse, valeur haute].

⇒ Pour aller plus loin

Cas où le volume de travail et les procédés utilisés sont choisis au moment de l'opération

Quand le volume de travail ne peut être déterminé qu'au moment de l'intervention sur site (exemple : nombre de bouchons à poser dans un GV), il est recommandé d'établir une EDP type pour un volume de travail moyen, puis de la réactualiser ensuite sur site (en traçant alors les hypothèses qui permettent d'établir le VTE).

Quand différents procédés sont envisageables pour une opération et que le choix ne peut se faire qu'au moment de l'intervention (exemples : réparation de la plaque de partition du GV, remplacement des vis des équipements internes inférieurs de la cuve), différentes EDP doivent être établies, en particulier si les volumes de travail exposés sont significativement différents d'un procédé à l'autre. Les critères de choix entre les différents procédés peuvent également être mentionnés.

⇒ Pour aller plus loin

La notion d'objectif de dose

Si, au début de la phase de conception, les parties prenantes se sont accordées sur la définition d'un objectif de dose collectif (ou individuel) pour l'opération (annexe 2), il est important, à ce stade, d'effectuer une première comparaison de l'EDPi de l'opération avec ces valeurs.

- Pour des opérations répétitives, l'objectif de dose peut être indiqué dès la revue des données d'entrée à partir du retour d'expérience.
- Pour des nouvelles opérations, l'objectif de dose est déterminé à partir de la première évaluation prévisionnelle dosimétrique initiale. Sa valeur est alors inférieure à l'EDPi et traduit l'efficacité attendue de la démarche d'optimisation.

Évaluation de l'enjeu radiologique

A partir de l'évaluation dosimétrique prévisionnelle initiale, le niveau d'enjeu radiologique de l'opération peut être déterminé (les critères sont précisés dans le glossaire). Il est à noter que le niveau d'enjeu est **basé sur un EDP "type"** (contexte radiologique type et périmètre standard de l'opération sans aléa).

✂ Focus

Cas d'une nouvelle opération

Lors de la conception d'une nouvelle opération, la première évaluation dosimétrique prévisionnelle est généralement réalisée sur la base des grandes phases de l'opération et des premiers choix de techniques ou de procédés. Si le niveau d'enjeu radiologique estimé s'avère significatif ou fort, il convient de réitérer et d'affiner la revue des données d'entrée afin de recalculer l'EDPi avec une identification plus précise des tâches élémentaires et des conditions radiologiques associées. La précision de l'EDPi permettra ensuite la détermination des actions de réduction des doses les plus adaptées. Il est nécessaire d'indiquer les différentes EDPi.

△ Point de vigilance

Identification des critères prépondérants dans le niveau d'enjeu radiologique

Le niveau d'enjeu radiologique peut être conditionné plus particulièrement par de forts débits d'équivalent de dose et/ou par des volumes de travail exposés importants. Dans les deux cas, la revue des données d'entrée et l'analyse d'optimisation devront s'articuler principalement autour du (des) critère(s) qui ont conduit au classement de l'opération.



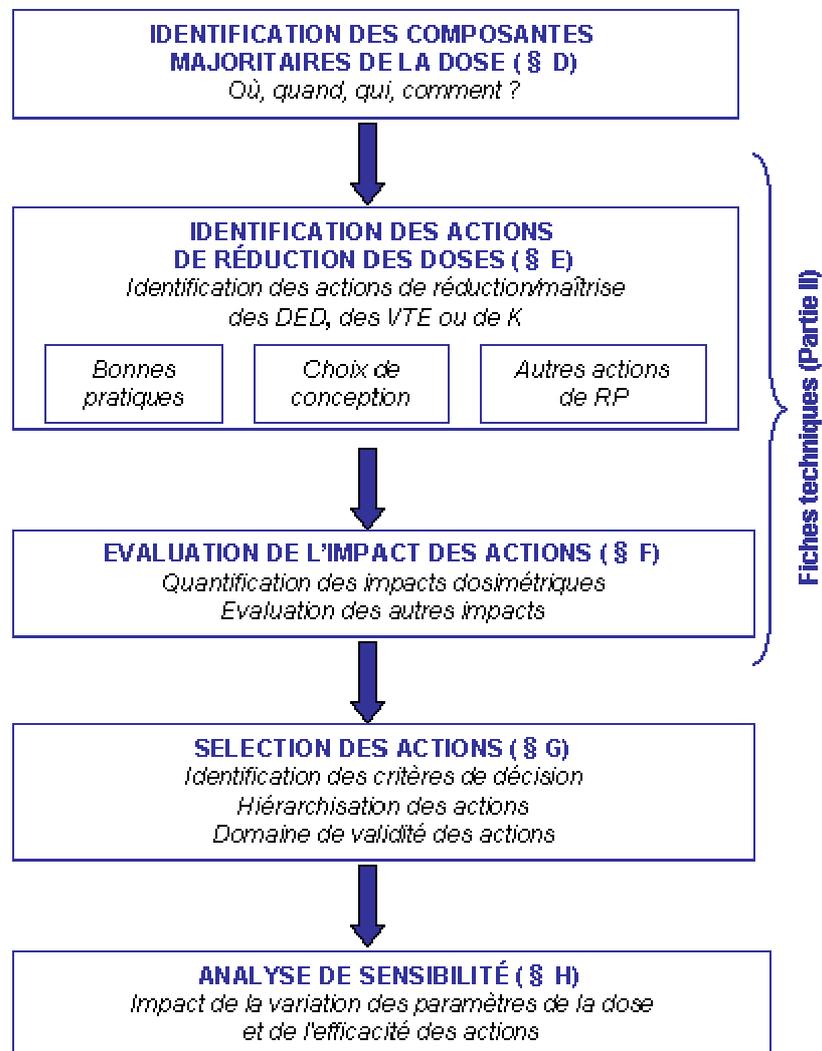
✍ Éléments de sortie pour le calcul de l'EDPi

- **Modèle dosimétrique comprenant les hypothèses de calcul et les formules mathématiques utilisées.**
- **Tableau Excel présentant le détail des calculs.**
- **Tableau de synthèse regroupant toutes les données (EDPi par tâche élémentaire, doses collectives et doses individuelles par spécialité, si nécessaire).**
- **Le cas échéant, comparaison de l'EDPi avec les objectifs de dose.**
- **Le cas échéant, intervalle de variabilité de l'EDPi.**
- **Impact dosimétrique et EDPi des aléas potentiels et des solutions de repli envisagées.**
- **Détermination de l'enjeu radiologique de l'opération et identification, si nécessaire, des critères qui conditionnent cet enjeu.**

L'ANALYSE D'OPTIMISATION

Les points D. à H. détaillés ci-après constituent la partie "analyse" de la démarche d'optimisation dont le déroulement est rappelé dans le schéma ci-dessous.

Logigramme 2. Les étapes de l'analyse d'optimisation



D. IDENTIFICATION DES COMPOSANTES MAJORITAIRES DE LA DOSE

Objectifs

- Identifier les tâches élémentaires du découpage, les locaux et les spécialités qui devront être concernés en priorité par les actions de réduction des doses.

Cette étape doit permettre d'agrèger les doses suivant différents critères (tâches élémentaires, locaux, spécialités...) et d'identifier les paramètres sur lesquels il est possible d'agir pour diminuer ces doses. Elle peut être structurée autour des questions suivantes :

- Quand les doses sont-elles intégrées ?
- Où les doses sont-elles intégrées ?
- A qui les doses sont-elles attribuées ?
- Comment les doses sont-elles prises ?

La démarche à suivre est présentée ci-après. Les différentes questions ne sont pas exclusives : elles se complètent et s'enrichissent mutuellement.

Quand les doses sont-elles intégrées ?

Il s'agit d'examiner l'EDPi suivant les tâches élémentaires ou suivant des agrégations de ces tâches en phases ou sous-phases de l'opération ou selon des paramètres d'ordre chronologique.

Cette approche permet d'identifier les tâches les plus dosantes et de déterminer s'il est possible d'agir sur un procédé technique en particulier (correspondant par exemple à une phase opératoire), ou sur une période de l'opération plus sensible (on pourra, dans ce cas, agir éventuellement sur l'état des circuits, la présence ou non de sources irradiantes...).

Où les doses sont-elles intégrées ?

Il s'agit de déterminer si certains locaux ou zones géographiques sont plus dosants.

Le cas échéant, les points suivants peuvent être examinés pour réduire les niveaux d'exposition.

- Est-il possible d'intervenir ailleurs en changeant les choix techniques ?
- Y a-t-il une manière particulière d'aménager la zone ou d'agencer les travaux ?

Les postes de travail les plus dosants peuvent aussi être identifiés. Pour ces derniers, il sera nécessaire d'étudier des actions de réduction des doses permettant de diminuer le débit d'équivalent de dose associé ou de limiter le volume de travail exposé (voir E).

Focus

Lien débit d'équivalent de dose/dose

Ce questionnement peut aussi permettre d'identifier la contribution des différents débits d'équivalent de dose à la dose collective totale. Si un débit d'équivalent de dose significatif conduit à une dose relativement faible, il est nécessaire de s'assurer de la robustesse des hypothèses sur le VTE par des moyens de contrôle particuliers (qualification, retour d'expérience) et la mise en place de dispositifs opérationnels assurant la protection individuelle lors de la réalisation (alarme en dose sur le dosimètre opérationnel).

A qui les doses sont-elles attribuées ?

Il s'agit ici d'identifier les spécialités qui sont les plus exposées (en termes de dose individuelle moyenne ou de dose collective), ainsi que les transferts de dose potentiels entre spécialités (par exemple, baisse de la dosimétrie des soudeurs qui demande une exposition des tuyauteurs).

Si une contrainte de dose individuelle par spécialité a été fixée, elle doit être comparée à la dose individuelle moyenne par spécialité calculée pour l'ensemble de l'opération (voir Point de vigilance p. 23).

△ Point de vigilance

A qui les doses sont-elles attribuées ?

Lorsqu'une opération concerne la totalité du parc nucléaire, il est important de vérifier la compatibilité entre les doses prévues pour certaines catégories de métiers "sensibles" et les contraintes de dose individuelle. Cela peut avoir un impact sur la faisabilité de l'opération et sur la planification des activités sur l'année.

△ Point de vigilance

Respect de la contrainte de dose individuelle

Quand une contrainte de dose individuelle est fixée par le prestataire, une augmentation des effectifs peut parfois être envisagée pour respecter cette contrainte s'il a été démontré qu'aucune autre action de réduction des doses ne permet de la satisfaire. Si l'augmentation des effectifs conduit à une hausse de la dose collective (due à la multiplication des trajets, à la reprise d'un travail débuté par une autre équipe, ...), l'organisation définie par le prestataire doit alors permettre de maîtriser cette dosimétrie collective tout en respectant les contraintes de dose individuelle.

Comment les doses sont-elles prises ?

Pour savoir comment les doses sont prises, il faut déterminer **les différentes caractéristiques des conditions de travail et les paramètres qui influencent le volume de travail exposé**. On peut alors quantifier l'incidence des paramètres sur la dosimétrie de l'opération. Les paramètres suivants peuvent être pris en compte [7] :

- Ambiance lumineuse,
- Liaison phonie,
- Étroitesse ou encombrement de l'espace de travail,
- Ambiance thermique ou sonore,
- Impact de travail posté,
- Port d'EPI (exemple : port de protection respiratoire),
- ...

✍ Éléments de sortie pour l'identification des composantes majoritaires de la dose

- **Tableau/graphique de répartition des doses par tâche élémentaire ou par phase.**
- **Tableau/graphique de répartition des doses par local ou par débit d'équivalent de dose.**
- **Tableau/graphique de répartition des doses par spécialité.**
- **Identification de conditions de travail et/ou de paramètres influençant le volume de travail exposé.**

E. IDENTIFICATION DES ACTIONS DE REDUCTION DES DOSES

Objectifs

- Identifier les actions à étudier susceptibles de réduire ou de maîtriser chacune des composantes de la dose.

Les actions de réduction des doses peuvent être classées en trois grandes catégories :

- Les actions visant à **réduire/maîtriser le débit d'équivalent de dose au poste de travail**.
- Les actions visant à **réduire/maîtriser le volume de travail exposé** (temps de travail exposé multiplié par le nombre d'intervenants).
- Les actions visant à **réduire/maîtriser le coefficient d'exposition** (position des intervenants par rapport aux sources).

Le tableau proposé en partie II (p. 51) permet d'aider à l'identification de certaines actions de réduction des doses.

Il est important de souligner que ce ne sont pas les niveaux respectifs des débits d'équivalent de dose ou des volumes de travail exposé qui fixent la composante sur laquelle il faut travailler mais la nature et la faisabilité des actions pouvant être mises en oeuvre pour les réduire (il peut être plus pertinent d'agir sur une source générant quelques dixièmes de mSv/h que sur de multiples tâches représentant plusieurs milliers d'homme.heures)

⇒ Pour aller plus loin La planification du travail

Le bon séquençage des tâches élémentaires d'une opération peut aussi permettre de réduire les doses engagées (par exemple, lors de la découpe d'une tuyauterie, prévoir d'éliminer en premier la partie de cette tuyauterie comportant des points chauds).

Les actions visant à réduire/maîtriser le débit d'équivalent de dose au poste de travail

1. Identification des sources prépondérantes

La première étape consiste à identifier les sources à l'origine des débits d'équivalent de dose. Il est donc nécessaire d'aller au-delà de l'identification du local (voir D) et d'**identifier la contribution des différentes sources** au débit d'équivalent de dose au poste de travail. Cette étape est détaillée en annexe 3.

⇒ Pour aller plus loin Variabilité du contexte radiologique

La variation du contexte radiologique peut entraîner une variation de la contribution des différentes sources et influencer le choix des actions de réduction des doses.

2. Actions permettant de limiter l'impact des sources

Selon les sources et les modes de contamination identifiés (annexe 3), différentes actions peuvent permettre de réduire ou de maîtriser le débit d'équivalent de dose au poste de travail.

Dans la partie II de ce document, cinq actions permettant de réduire/maîtriser le débit d'équivalent de dose en agissant directement sur les sources sont présentées :

- **Mise en eau des circuits** (fiche DED 1, p. 53),
- **Rinçage des circuits et chasse de points chauds** (fiche DED 2, p. 57),
- **Décontamination de source d'irradiation** (fiche DED 3, p. 59),
- **Protections biologiques** (fiche DED 4, p. 63),
- **Enlèvement/dépose d'un élément irradiant** (fiche DED 5, p. 69)

Il est également possible d'envisager des actions de **modification des scénarios d'intervention** pour éloigner l'opérateur de la source : par exemple grâce à l'utilisation de pinces ou en envisageant de réaliser une partie de l'opération dans un local moins dosant ou à proximité de sources moins irradiantes (y compris de déchets).

Focus

**Niveau d'analyse associé
aux actions de réduction/maîtrise des débits d'équivalent de dose**

Ces différentes actions peuvent être étudiées successivement et ne nécessitent pas le même investissement quant à l'approfondissement de la méthode d'optimisation.

- L'analyse peut commencer par l'étude de la mise en eau éventuelle des circuits. Cette étude demande un travail de coordination avec les services Conduite et Planification des CNPE. La mise en eau des circuits n'est pas toujours faisable : elle dépend de la configuration et du lignage des circuits.
- La réalisation d'un rinçage ou d'une chasse peut ensuite être envisagée. Là encore, l'analyse d'optimisation résulte d'un travail en commun avec le CNPE. Elle est basée sur le retour d'expérience disponible (les conditions d'efficacité du rinçage des circuits étant mal connues).
- La mise en oeuvre d'une décontamination ou de protections biologiques peut ensuite être étudiée. Ces actions nécessitent une analyse approfondie (sollicitation d'un métier spécifique à la RP, faisabilité, performance attendue, coût etc..).
- L'enlèvement/la dépose d'un élément irradiant fixe nécessite souvent une étude plus complexe.

Les actions visant à réduire/maîtriser le volume de travail exposé

Ces actions peuvent être **de nature technique ou organisationnelle**.

Parmi les actions techniques, citons **l'automatisation** ou la **robotisation** d'une tâche (fiche VTE 1, p. 71) ou les **opérations de préfabrication** réalisées hors zone irradiante ou en zone faiblement irradiante. Elles permettent généralement une diminution sensible des volumes de travail exposé.

Focus

Opérations de préfabrication

Aujourd'hui, les opérations de préfabrication sont mises en oeuvre dès que possible et relèvent de la bonne pratique (ou d'un choix de conception). Lorsqu'elles ne sont pas réalisées, il est nécessaire d'expliquer pourquoi (faisabilité...). Si le gain dosimétrique attendu est très important, il est nécessaire de le prendre en compte dans l'analyse d'optimisation.

Les opérations de préfabrication doivent être préférentiellement réalisées hors zone irradiante ou en zone faiblement irradiante. Si elles entraînent un coût dosimétrique, il est nécessaire de l'intégrer dans le prévisionnel.

Les actions organisationnelles consistent en la préparation de l'intervention : elles sont des outils de maîtrise des volumes de travail exposé et permettent d'éviter les aléas. Elles sont à mettre en oeuvre quelle que soit la nature de l'opération, mais sont à renforcer lors de la conception d'opérations pour lesquelles les leviers techniques sont limités (exemple : opération de décalorifugeage). La préparation de l'intervention peut se faire selon trois niveaux :

- **Préparation du matériel** (fiche VTE 2, p. 75),
- **Préparation du terrain** (fiche VTE 2, p. 75),
- **Préparation des hommes** (fiche VTE 3, p. 77).

Il est aussi possible de diminuer les VTE en **améliorant les conditions de travail**, par exemple, en supprimant le port des équipements de protection individuelle (exemple : suppression des équipements de protection respiratoire suite à une décontamination).

Les actions visant à réduire/maîtriser le coefficient d'exposition

Dans certains cas, il est possible d'agir sur le coefficient d'exposition en modifiant la position des intervenants par rapport aux sources d'irradiation et en optimisant leurs conditions de travail.

Le recours à la **télédosimétrie** (fiche K 1, p. 79) est, par exemple, un outil de maîtrise du coefficient d'exposition.

Nature des actions de réduction des doses

Les actions visant à réduire/maîtriser les débits d'équivalent de dose, le volume de travail exposé ou le coefficient d'exposition peuvent être de différents types :

Type A : Les bonnes pratiques : actions qui relèvent du bon sens.

Elles doivent être listées et mises en œuvre si elles sont applicables. Elles ne nécessitent pas toujours de quantification pour être sélectionnées et appliquées.

Par exemple : éclairage adapté, échafaudage adapté...

Type B : Les choix de conception impactant (ou liés à) la radioprotection.

Deux types peuvent être distingués :

- Certains choix peuvent **impacter la nature de l'intervention et modifier, de façon significative, les débits d'équivalent de dose ou les volumes de travail exposé**. C'est le cas lorsqu'il est décidé de changer de local d'intervention ou de trajet pour éviter des zones fortement irradiantes. Dans ce cas, l'analyse d'optimisation doit être effectuée en tenant compte des nouvelles conditions radiologiques.
- D'autres rentrent dans le cadre d'une **amélioration continue et sont favorables à la radioprotection** (exemple : choix de robotiser ou d'automatiser une tâche dans la version initiale de l'opération, sans étudier une version "en manuel"). Une quantification (analyse coût-bénéfice) de leur impact n'est pas toujours nécessaire, mais il convient, dans tous les cas, de notifier leur intérêt pour la radioprotection.

Type C : Les autres actions de radioprotection.

La plupart de ces actions sont présentées dans la partie II de ce guide (protections biologiques, décontamination...).

✍ **Éléments de sortie pour l'identification des actions de réduction des doses**

- **Liste des actions envisagées (en précisant s'il s'agit de bonnes pratiques, de choix de conception ou d'autres actions de radioprotection) :**
 - **visant à réduire/maîtriser les débits d'équivalent de dose.**
 - **visant à réduire/maîtriser le volume de travail exposé.**
 - **visant à réduire/maîtriser le coefficient d'exposition.**

F. EVALUATION DE L'IMPACT DES ACTIONS

Objectifs

➤ Pour chaque action envisagée :

- Évaluer, dans la mesure du possible, les débits d'équivalent de dose, volumes de travail exposé, coefficients d'exposition modifiés et quantifier les impacts en termes de dose collective et de dose individuelle moyenne sur les tâches élémentaires de l'opération concernées, ainsi que sur l'ensemble de l'opération.
- Évaluer, si possible, la variation de ces impacts selon le contexte radiologique rencontré.
- Si nécessaire et pertinent, évaluer le coût dosimétrique de sa mise en œuvre.
- Si nécessaire et pertinent, évaluer son coût financier et ses autres impacts en termes de modification de planning, des volumes de déchets...

Les paragraphes 4 des différentes fiches présentées en partie II proposent des éléments de méthode pour répondre à ces objectifs.

Remarque : l'évaluation des différents impacts (dosimétrique, financier...) d'une action de réduction des doses peut parfois nécessiter une collaboration avec les CNPE et/ou les métiers concernés.

Évaluation de l'impact dosimétrique des actions de réduction des doses

Dans la mesure du possible, il convient, pour chaque action envisagée, de recalculer l'évaluation dosimétrique prévisionnelle en tenant compte de la modification des paramètres engendrée par la mise en oeuvre de l'action. Il s'agit notamment de quantifier :

- **L'impact en termes de débit d'équivalent de dose** (exemple, diminution de 50% du débit d'équivalent de dose au poste de travail pour des protections biologiques),
- **L'impact en termes de volume de travail exposé** (exemple, volume de travail supplémentaire pour la pose de protections biologiques, volume de travail diminué par la mise en oeuvre d'une robotisation).
- **L'impact en termes de coefficient d'exposition** (exemple, maîtrise du coefficient d'exposition d'un plongeur grâce à la télédosimétrie).
- **Les variations des différents impacts en fonction du contexte radiologique rencontré.**

Le calcul est ensuite réalisé pour chaque tâche élémentaire ainsi que pour la totalité de l'opération suivant la formule suivante :

$$EDP_{action \text{ tâche élémentaire}} \text{ (en H.mSv)} = DED_{action} \times VTE_{action} \times K_{action}$$

$$EDP_{action \text{ opération}} = \sum EDP_{action \text{ tâche élémentaire}}$$

Où :

DED_{action} est le débit d'équivalent de dose attendu au niveau de la tâche élémentaire en mSv/heure après la mise en oeuvre de l'action de réduction des doses,

VTE_{action} est le volume de travail exposé estimé en hommes.heures après la mise en oeuvre de l'action de réduction des doses,

K_{action} est le coefficient d'exposition après la mise en oeuvre de l'action de réduction des doses.

Le **gain dosimétrique** associé à chaque action envisagée peut alors être calculé. Ce gain doit être exprimé en dose (G, H.mSv évité) **ET** en pourcentage (G%).

$$G = EDP_i - (EDP_{action} + D_{RP}) \text{ et } G\% = \frac{EDP_i - (EDP_{action} + D_{RP})}{EDP_i} \cdot 100$$

Où :

EDP_i : dose au poste de travail sans action de réduction des doses,

D_{RP} : coût dosimétrique éventuel de la mise en œuvre de l'action de réduction des doses,

EDP_{action} : dose au poste de travail après la mise en œuvre de l'action de réduction des doses.

✂ Focus

Coût dosimétrique de mise en oeuvre des actions de réduction des doses

Pour chaque action de réduction/maîtrise de dose identifiée, il est important de déterminer si sa mise en oeuvre va générer un coût dosimétrique (exemple : coût de pose et de dépose des protections biologiques). Ce calcul est obligatoire contractuellement dans le cas des opérations à fort enjeu radiologique.

De plus, si ces actions de réduction/maîtrise des doses demandent des opérations connexes (exemple : décalorifugeage avant la pose de protections biologiques), celles-ci doivent être mentionnées et prises en compte dans le calcul des coûts dosimétriques.

Dans la mesure du possible, le coût dosimétrique de l'action de réduction des doses doit être minimisé et faire l'objet d'une démarche d'optimisation (exemple : optimisation de la pose de protections biologiques pour limiter l'exposition des poseurs).

△ Point de vigilance

Efficacité intrinsèque / Facteur de réduction du débit d'équivalent de dose

L'efficacité intrinsèque d'une action de réduction du débit d'équivalent de dose correspond à son efficacité théorique attendue, elle est uniquement liée à l'action considérée et non à l'environnement dans lequel elle est mise en place. Elle est obtenue à partir de données de retour d'expérience (exemples : facteur d'efficacité pour la mise en oeuvre d'une décontamination ou facteur d'atténuation résultant de la mise en oeuvre de protections biologiques).

Le facteur de réduction du débit d'équivalent de dose (FRDD) prend en compte l'environnement de mise en oeuvre de l'action et traduit la diminution attendue du débit d'équivalent de dose total au poste de travail concerné. Il est obtenu par des modélisations ou par le retour d'expérience.

Les deux valeurs sont à distinguer notamment lorsque le débit d'équivalent de dose au poste de travail n'est pas lié à une source unique dans le local.

Autres impacts des actions de réduction des doses

D'autres impacts en termes de modifications du planning, de la durée de l'opération puis de l'arrêt de tranche, de volumes de déchets générés... peuvent également être mentionnés (en particulier, lorsque l'opération doit bénéficier de certaines dispositions : niveau d'eau...). Ces indications seront utiles pour la phase de sélection des actions si celle-ci est basée sur une analyse multi-critères (voir G.).

Par ailleurs, la quantification des coûts de certaines actions de réduction des doses est parfois souhaitable, notamment si elles demandent des investissements importants ou si elles impactent fortement les plannings.

⇒ Pour aller plus loin

Ordres de grandeur des coûts financiers de différentes actions (euros 2007)

- Mise en eau des circuits et rinçage/chasse : coût « marginal »
- Pose de protections biologiques standards : coût « marginal » (10 à 15 k€)
- Décontamination simple (furetage, gel) : 25 k€
- Entraînement sur maquette : 25 k€
- Décontamination par chimie douce :
 - Opération existante (décontamination échangeur RCV) : 200 k€
 - Nouvelle opération nécessitant un développement (décontamination d'un tronçon de branche LEP) : 150 k€
- Conception de protections biologiques spécifiques : 50 à 100 k€
- Automatisation d'un soudage :
 - Procédé existant : 250 k€
 - Procédé nécessitant un développement et une qualification : 1 M€

✍ Éléments de sortie pour l'évaluation de l'impact des actions

- **Évaluation de l'impact des différentes actions par rapport à la situation initiale (débits d'équivalent de dose, VTE, K doses collectives et individuelles, coût et autres impacts si pertinent).**
- **Variation de ces impacts selon le contexte radiologique rencontré.**

G. SELECTION DES ACTIONS

Objectifs

- Sélectionner les actions de réduction des doses qui seront mises en oeuvre.
- Identifier les variantes selon le contexte radiologique rencontré.

La sélection des actions qui seront mises en oeuvre pour l'opération s'effectue en deux étapes :

1. Dans un premier temps, la décision de mettre en oeuvre ou non une action est réalisée **pour chaque action envisagée, indépendamment des autres actions**. Cette décision est prise en fonction de critères de choix qui doivent être explicités (voir processus de décision ci-dessous).
2. Dans un deuxième temps, il convient **de regrouper et éventuellement d'ordonner (hiérarchiser) l'ensemble des actions sélectionnées**, puis d'évaluer leur impact total sur la radioprotection de l'opération (à noter que l'on peut également, à ce stade, envisager de combiner entre elles certaines actions). Le processus de décision pour sélectionner les regroupements d'actions est alors le même que dans le cas d'une action isolée.

△Point de vigilance

Prise en compte de la diversité des contextes radiologiques du parc

Rappelons que la démarche d'optimisation de la radioprotection doit **prendre en compte la diversité des contextes radiologiques** des installations sur lesquelles l'opération est susceptible d'être réalisée. Une même action de radioprotection peut ne pas être optimale pour l'ensemble des débits d'équivalent de dose qui caractérisent un contexte. Plusieurs actions peuvent donc être proposées (variantes), et pour chacune d'entre elles, peut être précisé son domaine de validité, c'est-à-dire les limites du contexte radiologique dans lequel elle peut raisonnablement être mise en oeuvre. Il peut ainsi être décidé, selon le contexte rencontré, de renforcer une action particulière, d'agir sur une autre source d'irradiation...

Processus et critères de décision

Les Bonnes Pratiques (actions de type A qui n'engendrent en général aucun coût dosimétrique ou financier direct) doivent être **mises en oeuvre systématiquement, sauf si des contraintes de faisabilité apparaissent**. Le cas échéant, il est essentiel de justifier la non mise en oeuvre de la bonne pratique. Si les données sont disponibles, l'impact de la mise en oeuvre des bonnes pratiques sur la dosimétrie de l'opération doit être indiqué.

Pour les autres actions de radioprotection envisagées (de type B : choix de conception, de type C : actions de réduction/maîtrise des débits d'équivalent de dose, des volumes de travail exposé ou du coefficient d'exposition), **les critères de sélection doivent être explicités** :

1. Dans la plupart des cas, la sélection peut être réalisée simplement sur des critères **d'efficacité** et de **faisabilité**. Le calcul du gain dosimétrique total doit permettre de démontrer que, même si l'action engendre un coût dosimétrique pour sa mise en oeuvre, elle permet de gagner en dose collective sur l'ensemble de l'opération.
2. Lorsque **d'autres critères** (dose individuelle moyenne par spécialité, durée de l'opération, impact sur le chemin critique de l'arrêt de tranche...) apparaissent importants pour le choix d'une (ou de plusieurs) action de radioprotection, il est nécessaire de **les lister et de décrire et d'évaluer l'impact de l'action sur ces critères** (voir ci-dessous Focus : analyse multi-critères). Cette analyse permet alors de **justifier la sélection ou le rejet** de l'action.

Dans la deuxième phase de sélection comportant un ensemble de plusieurs actions pouvant être retenues, l'analyse multi-critères permet d'obtenir une hiérarchisation des actions et de définir des priorités dans leur mise en oeuvre.

Focus
Analyses multi-critères

D'autres critères de sélection que la seule efficacité en termes de réduction dosimétrique doivent parfois être pris en compte. Dans ce cas, il est nécessaire de réaliser une analyse multi-critères de l'ensemble des actions de réduction des doses envisagées. Pour chaque action, les différents critères [8,9] sont évalués de manière qualitative et regroupés dans un tableau. Ces critères doivent être issus d'une réflexion commune entre UTO ou CIPN, prestataires et CNPE. Ils permettent notamment de traduire les orientations et les priorités de la politique radioprotection en cours.

Critères	Impact de l'action considérée
Dosimétrie collective de l'opération	L'impact d'une action sur un critère peut être indiqué de la manière suivante : Impact négatif : - Impact nul : 0 Impact positif : +
Dosimétrie individuelle moyenne par spécialité/populations sensibles	
Durée de l'opération	
Durée de l'arrêt/disponibilité	
Volumes de déchets et d'effluents	
Faisabilité	
Coût financier	
Propreté radiologique	
Développement de procédés techniques	
Sûreté de l'installation	
Sécurité (manutention, évacuation, accessibilité, encombrement,...)	
Impact sur des opérations ultérieures	
....	

Si on applique ce type d'analyse à une seule action de radioprotection, il convient de vérifier que l'action comporte plus d'impacts positifs ou nuls que d'impacts négatifs.

Pour la sélection entre plusieurs actions de radioprotection, ces tableaux peuvent constituer une aide à la décision. Dans une étape ultérieure, il pourrait être envisagé de noter chaque critère (par exemple, note entre 1 et 5 pour chaque critère).

Il est à souligner que le respect de certains critères conditionne la réalisation d'actions. Par exemple, toute action entraînant une dégradation de la sûreté sera éliminée.

Les fiches présentées en partie II proposent des critères à prendre en compte pour les actions étudiées.

3. Dans le cas où le coût financier d'une action est un critère de choix important, l'utilisation de la valeur monétaire de l'homme.sievert évité peut être une méthode efficace d'aide à la décision (annexe 4). Une valorisation dans le temps de l'action de radioprotection, des calculs d'amortissement ou une extension aux autres opérations du local peuvent également permettre un choix.

⇒ Pour aller plus loin
Prise en compte du nombre d'opérations
dans l'analyse technico-économique

Lors de la réalisation d'analyses technico-économiques, il peut être nécessaire de prendre en compte le nombre total de réalisations de l'opération sur le parc. Le coût d'une action nécessitant un seul investissement, et pouvant être utilisée plusieurs fois, pourra ainsi être amorti sur l'ensemble des opérations.
Par ailleurs, si une action permet d'épargner des doses sur des spécialités dont les ressources sont rares, on pourra déduire de son coût le coût évité de formation des nouveaux intervenants.

⇒ *Pour aller plus loin*

Nécessité d'une approche zonale (ou géographique)

Lorsqu'il est délicat de déterminer si une action de réduction des doses doit, ou non, être mise en œuvre, il est possible de déterminer son impact sur les opérations connexes, voire sur d'autres chantiers qui auraient lieu au même moment dans le même local, ou sur des chantiers limitrophes. Ceci peut notamment être mis en œuvre lors de l'étude d'actions visant à réduire les débits d'équivalent de dose.

✍ Éléments de sortie pour la sélection des actions

- **Pour les actions ayant bénéficié d'une quantification des critères de choix :**
 - **Bilan des analyses dosimétriques,**
 - **Bilan des analyses multi-critères (si cela est pertinent),**
 - **Bilan des analyses technico-économiques (si cela est pertinent).**
- **Tableau de synthèse qui identifie pour chaque action de réduction des doses envisagée (y compris les actions dont l'efficacité n'a pas été quantifiée), si elle est retenue ou non, ainsi que les critères décisionnels ayant donné lieu à cette sélection. Le domaine de validité des actions retenues doit également être précisé.**

H. ANALYSE DE SENSIBILITE ET DISCUSSION

Objectifs

- **Consolider l'analyse d'optimisation.**
- **Réévaluer l'impact des différentes actions de réduction des doses retenues en faisant varier les valeurs des paramètres sensibles.**

L'analyse d'optimisation peut être complétée par une **analyse de sensibilité des différents paramètres** intervenant dans l'évaluation dosimétrique prévisionnelle. Cette analyse consiste à **vérifier si la modification des hypothèses de base impacte le choix des actions de réduction des doses optimales**. Elle permet de **tester la robustesse de l'évaluation**.

D'une manière générale, elle peut être envisagée sur l'ensemble des données qui ont été utilisées pour quantifier les critères de dose (contexte radiologique, volumes de travail exposé...). **Cette analyse est fortement recommandée pour une nouvelle opération** lorsque les incertitudes sur les paramètres de la dose et l'efficacité des actions de réduction des doses sont importantes. Elle peut permettre **d'identifier les paramètres les plus sensibles, qui seront alors à suivre particulièrement lors de la phase de réalisation**.

Par exemple, supposons qu'une action consiste à réaliser une décontamination d'une partie d'un circuit ou d'un système. Lors de la quantification du gain en dose, des hypothèses ont été faites quant aux facteurs de réduction du débit d'équivalent de dose procurés par cette décontamination. Ces hypothèses s'appuient sur des données de retour d'expérience, où l'on observe des facteurs de réduction de débit d'équivalent de dose très variables. L'analyse de sensibilité consiste, dans ce cas, à faire varier le facteur de réduction du débit d'équivalent de dose, et à tester si l'action reste justifiée avec un facteur de réduction de débit d'équivalent de dose inférieur ou supérieur à celui initialement retenu. **Si l'analyse de sensibilité montre que l'action retenue initialement n'est pas robuste, une discussion est alors nécessaire. Une modification des actions optimales retenues peut être envisagée.**

Éléments de sortie pour l'analyse de sensibilité

- **Tableau de synthèse regroupant les différents types d'actions de réduction des doses et mettant en évidence les actions optimales en fonction du paramètre de variation (domaine de validité des différentes actions).**
- **Conclusions quant aux actions finalement retenues en justifiant les cas où leur robustesse n'a pas été démontrée et qui devront faire l'objet d'un suivi particulier lors de la réalisation (ce suivi peut être temporaire ou allégé suivant la robustesse obtenue après l'étude des premiers retours d'expérience).**

I. SYNTHÈSE DE L'ANALYSE D'OPTIMISATION

Objectifs

- Synthétiser l'analyse d'optimisation menée.
- Calculer l'évaluation dosimétrique prévisionnelle optimisée (EDPo).

Synthèse de l'analyse d'optimisation

Il est important de rappeler :

- Les actions de réduction des doses retenues et leur domaine de validité,
- Leur impact en termes de réduction de la dose collective et, si pertinent, de la dose individuelle moyenne par spécialité.

Il est aussi possible ici d'établir une hiérarchisation des actions de réduction des doses retenues et de définir celles qui devront faire l'objet d'un suivi particulier.

La synthèse de l'analyse d'optimisation doit être rédigée de façon à être aisément compréhensible par les acteurs participant à la phase de réalisation de l'opération sur site et pour faciliter, si nécessaire, l'adaptation de l'opération aux spécificités locales.

△ Point de vigilance Optimisation au-delà du périmètre d'intervention

Il est nécessaire, à ce stade, de s'assurer de la cohérence de l'ensemble des analyses d'optimisation menées par les différents prestataires sur les opérations constituant l'intervention globale. Il est notamment recommandé de déterminer les interactions et les interfaces entre les différentes opérations. Les actions de réduction des doses doivent être coordonnées afin d'éviter, par exemple, de multiples poses et déposes de protections biologiques à des endroits similaires à des phases différentes de l'intervention.

△ Point de vigilance Optimisation globale

L'optimisation de la radioprotection d'une opération ne se limite pas à la prise en compte du risque d'exposition externe corps entier (sujet du guide). Elle doit notamment être complétée par une analyse des risques d'exposition externe des extrémités et du risque d'exposition interne.

Calcul de l'évaluation dosimétrique prévisionnelle optimisée

Le calcul de l'évaluation dosimétrique prévisionnelle optimisée doit intégrer l'impact de l'ensemble des actions de réduction des doses retenues et se faire à différents niveaux :

- EDPo collectives pour chaque tâche élémentaire de l'opération ainsi que pour sa totalité,
- EDPo individuelles moyennes par spécialité, si pertinent.

Dans le cas où un domaine de variabilité du contexte radiologique a été identifié pour l'opération, plusieurs évaluations dosimétriques optimisées doivent être élaborées en fonction des valeurs basse, type et haute du domaine. Tout comme l'EDPi, l'EDPo devra donc être présentée avec une valeur-type, ainsi qu'un intervalle [valeur basse, valeur haute].

L'EDPo associée aux aléas envisagés (voir B et C) peut aussi être calculée.

⇒ *Pour aller plus loin*

Comparaison avec les objectifs de dose

A ce stade, il est à nouveau nécessaire de comparer l'EDPo aux objectifs de dose collectif et individuel.

Si l'EDPo est inférieur aux objectifs de dose, l'opération est validée.

Si l'EDPo est supérieur aux objectifs de dose, la démarche d'optimisation doit être reprise s'il est estimé que les objectifs pourront être atteints de manière raisonnable. Sinon, de nouveaux objectifs de doses plus réalistes doivent être fixés.

Il est essentiel de noter, qu'en phase de réalisation, le dépassement d'un objectif de dose ne constitue pas un écart. Il devra cependant conduire à en analyser précisément les causes.

✦ *Focus*

Conception du suivi de l'opération

Les modalités de suivi de l'opération doivent être définies dès la phase de conception. Il est en effet important de prendre en compte les limites de la phase de conception et d'associer à la démarche d'optimisation de la radioprotection des boucles de contrôle pour démontrer que le niveau d'optimisation défini lors de la phase de conception est bien atteint lors de la réalisation des travaux sur les CNPE. Ces différentes dispositions doivent être indiquées dans la Procédure Radioprotection (document opérationnel) [1] : elles portent sur la vérification des hypothèses de conception de l'optimisation (efficacité des actions sur les grandeurs physiques : DED, VTE... ; répartition des doses suivant les tâches élémentaires ou des regroupements pertinents conforme à la prévision) et sur la détection des dérives possibles lors de la réalisation compte tenu de l'évolution des conditions de travail (aléas).

Il s'agit par exemple de définir les points importants pour la radioprotection qui sont des **points nécessitant un contrôle et une surveillance renforcée**. Ces points seront aussi insérés dans le Dossier de Suivi d'Intervention (DSI) pour s'assurer que les actions de réduction des doses essentielles pour la performance dosimétrique de l'opération seront mises en place (ex: vérification de l'efficacité d'actions de décontamination, de la pose de protections biologiques...).

En outre, dès la phase de conception, les **points de collecte de données** (niveau et fréquence de collecte de la dose, suivi de l'intervention, identification des dérives) doivent également être indiqués de manière à assurer la maîtrise de l'opération lors de sa réalisation et construire un retour d'expérience pertinent.

La conception du suivi de l'opération se poursuit ensuite en phase de réalisation.

Cette phase de conception du suivi de l'opération est partiellement traitée dans la partie 5 des fiches proposées en partie II.

⇒ *Pour aller plus loin*

Qualification des nouvelles opérations

La phase de qualification des nouvelles opérations ou de nouveaux procédés peut permettre d'**identifier les phases sensibles de l'opération et de déterminer les actions qui devront particulièrement être suivies** lors des premières réalisations sur site (en TTS ou en MSI). Dans le cas des opérations répétitives, les premières réalisations permettront aussi de finaliser les modalités de suivi.

Nota : Si la phase de qualification ne peut pas avoir lieu avant les premières réalisations sur site, la TTS ou la MSI constituent directement la phase de qualification de l'opération.



✍ Éléments de sortie pour la synthèse de l'analyse d'optimisation

- Rappel des actions de réduction des doses retenues et de leur domaine de validité.
- Rappel de l'impact de chacune de ces actions.
- Calcul des évaluations dosimétriques prévisionnelles optimisées.
- Définition partielle des modalités de suivi de l'opération :
 - Liste des points importants pour la radioprotection,
 - Liste des points de collecte de données pour le suivi dosimétrique et l'établissement du retour d'expérience des opérations.



**PARTIE II.
FICHES TECHNIQUES SUR LES ACTIONS DE REDUCTION DES DOSES**

1. PRESENTATION ET STRUCTURE DES FICHES

Dans la suite, les fiches présentant les actions de réduction/maîtrise des doses sont classées en trois grandes catégories :

- Les actions visant à **réduire/maîtriser le débit d'équivalent de dose au poste de travail**.
- Les actions visant à **réduire/maîtriser le volume de travail exposé**.
- Les actions visant à **réduire/maîtriser le coefficient d'exposition**.

Cinq fiches (fiches DED) concernent la réduction/maîtrise des débits d'équivalent de dose :

- Fiche DED 1 : **Mise en eau des circuits** (p.53)
- Fiche DED 2 : **Rinçage des circuits et chasse des points chauds** (p.57)
- Fiche DED 3 : **Décontamination de source d'irradiation** (p.59)
- Fiche DED 4 : **Mise en place de protections biologiques** (p.63)
- Fiche DED 5 : **Enlèvement/dépose d'un élément irradiant** (p.69)

Trois fiches (fiches VTE) concernent la réduction/maîtrise des volumes de travail exposé :

- Fiche VTE 1 : **Automatisation et robotisation** (p.71)
- Fiche VTE 2 : **Préparation du matériel et du terrain** (p.75)
- Fiche VTE 3 : **Préparation des hommes** (p.77)

Une fiche (fiche K) concerne la réduction/maîtrise du coefficient d'exposition :

- Fiche K 1 : **Télédosimétrie** (p.79)

Toutes ces actions n'ont pas la même portée. Si certaines contribuent directement à réduire les débits d'équivalent de dose au poste de travail (décontamination) ou les volumes de travail exposé (automatisation), d'autres sont davantage des outils permettant de maîtriser les doses engagées et d'éviter les aléas (préparation du matériel et du terrain, télédosimétrie).

Les fiches proposées sont structurées selon les items suivants.

1. **Objectif de l'action.**
2. **Questionnement de "premier niveau"** (voir partie I - § E) : ce questionnement permet de déterminer si l'étude de l'action considérée présente un intérêt pour l'opération. Les principales situations "d'intérêt" sont listées : elles ne sont pas exhaustives.
Le tableau de synthèse (p.51) reprend l'ensemble des questionnements de premier niveau présentés dans les fiches.
3. **Description de l'action et des contraintes associées.**
4. **Éléments de méthode pour réaliser l'analyse d'optimisation** (voir partie I - § F, G) : ce paragraphe décrit les éléments à prendre en compte lorsqu'il est décidé d'étudier l'impact de l'action sur la dosimétrie de l'opération. Dans la mesure du possible, ce paragraphe propose également des critères de décision permettant de conclure quant à la sélection de l'action.
5. **Éléments de suivi sur site et identification des points importants pour la radioprotection** : ce paragraphe permet d'initier la conception du suivi de l'opération.
6. **Références** : une bibliographie spécifique à l'action étudiée est fournie.

△ Point de vigilance

Optimisation de l'action de réduction des doses

Dans la mesure du possible, si la mise en œuvre de l'action de réduction des doses engendre un coût dosimétrique, celui-ci doit faire l'objet d'une analyse d'optimisation

Remarque : l'évaluation des différents impacts (dosimétrique, financier...) d'une action de réduction des doses peut parfois nécessiter une collaboration avec les CNPE et/ou les métiers concernés.

2. TABLEAU DE SYNTHÈSE POUR L'IDENTIFICATION DES ACTIONS DE RÉDUCTION DES DOSES

Le tableau suivant reprend l'ensemble des questionnements de premier niveau présentés dans les fiches.

Mode d'emploi du tableau :

- Pour une opération donnée, balayer les questions relatives à chaque action de réduction des doses.
- Par action, répondre aux questions posées :
 - La réponse est négative à toutes les questions : à priori, l'étude de l'action ne présente pas d'intérêt particulier.
 - La réponse à l'une des questions posées est positive : il apparaît pertinent d'étudier l'action. Se reporter alors à la fiche correspondante.

Action de réduction des doses	Identification des situations pertinentes
DED 1. Mise en eau des circuits (p.53)	<ul style="list-style-type: none"> - Les données de retour d'expérience font-elles apparaître la mise en eau des circuits dans le local ? - L'opération a-t-elle lieu sur un tronçon isolable ? - Le poste de travail est-il à proximité de tuyauteries de diamètre supérieur à 6 pouces ? - Le poste de travail est-il à proximité d'échangeurs (RCV, RRA, GV, PZR) ou de capacités (bâches PTR, volutes GMPP) ?
DED 2. Rinçage des circuits et chasse des points chauds (p.57)	<ul style="list-style-type: none"> - Les données de retour d'expérience font-elles apparaître la mise en œuvre d'un rinçage des circuits présents dans le local ? - Un point chaud générant un débit d'équivalent de dose élevé est-il présent au poste de travail et sa présence aléatoire est-elle reconnue ?
DED 3. Décontamination de source d'irradiation (p.59)	<ul style="list-style-type: none"> - Les données de retour d'expérience font-elles apparaître la mise en œuvre d'une décontamination efficace dans le local ? - L'opération à optimiser est-elle classée à enjeu radiologique fort (niveau 3) ? - Le poste de travail est-il à proximité de tuyauteries de diamètre supérieur à 6 pouces, ou encore de matériels de grande contenance (échangeurs, vannes...) ? - L'opération doit-elle être réalisée sur ou à proximité d'une tuyauterie, organe, matériel... dont le débit d'équivalent de dose au contact est supérieur à 2 mSv/h ?
DED 4. Mise en place de protections biologiques (p.63)	<ul style="list-style-type: none"> - Les données de retour d'expérience font-elles apparaître l'efficacité de la mise en œuvre de protections biologiques dans le local ? - L'opération se déroule-t-elle en zone jaune ou orange ? - L'opération est-elle classée à enjeu radiologique significatif (niveau 2) ou fort (niveau 3) sur la base de critères de débit d'équivalent de dose au poste de travail ? - Pour accéder au poste de travail, l'opérateur doit-il systématiquement passer à proximité d'une source irradiante ?
DED 5. Enlèvement/dépose d'un élément irradiant (p.69)	<ul style="list-style-type: none"> - Les données de retour d'expérience font-elles apparaître la mise en œuvre de cette action lors d'opérations similaires ? - Les autres actions visant à réduire les débits d'équivalent de dose (mise en eau, rinçage/chasse, décontamination, mise en œuvre des protections biologiques) n'ont-elles pas permis de respecter le domaine de validité du contexte radiologique de l'opération ?

Action de réduction des doses	Identification des situations pertinentes
<p>VTE 1. Automatisation et robotisation (p.71)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Les données de retour d'expérience font-elles apparaître la mise en œuvre de cette action lors d'opérations similaires ? - Le lieu est-il d'accessibilité restreinte pour l'opérateur : encombrement, accès difficile (exemple : inspection télévisuelle des branches chaudes et froides du circuit primaire), intervention en eau (exemple : remplacement de broches des guides de grappes) ? - Le procédé nécessaire à l'opération doit-il être précis et répétitif (exemple : réparation de piquages) ? - Le débit d'équivalent de dose (même faible) est-il associé à un temps d'intervention long (exemple : ajourage des jupes GV dont la durée d'intervention est d'environ 1 h) ? - L'opération est-elle répétitive ? - L'opération se situe-t-elle en zone orange ou rouge (exemple : réparation provisoire des pénétrations de fond de cuve) ? - L'opération en mode manuel demande-t-elle l'intervention de spécialités dites sensibles ?
<p>VTE 2. Préparation du matériel et du terrain (p.75)</p>	<p>Ces deux actions doivent être étudiées pour toute opération. Une attention particulière doit leur être portée quand les leviers techniques sont faibles et que l'optimisation de la radioprotection repose sur l'application de bonnes pratiques.</p>
<p>VTE 3. Préparation des hommes (p.77)</p>	
<p>K 1. Télédosimétrie (p.79)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Les données de retour d'expérience font-elles apparaître la mise en œuvre de cette action lors d'opérations similaires ? - L'opération se déroule-t-elle dans un environnement multi-sources et nécessite-t-elle une importante technicité de la part des opérateurs du fait de la complexité des tâches à réaliser ? - L'opération doit-elle se faire en zone orange avec un débit d'équivalent de dose pouvant fortement évoluer dans la durée (entre 2 et 100 mSv/h) ? - Les opérateurs doivent-ils intervenir dans une situation incidentelle ou d'urgence radiologique, où les débits d'équivalent de dose sont inconnus ?

3. FICHE DED 1. MISE EN EAU DES CIRCUITS

1.1. Objectif de la mise en eau des circuits

L'objectif est d'utiliser l'eau des circuits comme un écran et de diminuer ainsi les débits d'équivalent de dose au poste de travail.

✦ Focus

Cas de la variation des niveaux d'eau piscine

Lorsque des opérations de maintenance concernent des éléments issus de la cuve (interne inférieure ou interne supérieure), elles sont réalisées dans la piscine, l'eau jouant le rôle de protection biologique. Cette fiche s'applique également dans ces différents cas.

1.2. Questionnement de premier niveau

L'étude d'une mise en eau des circuits présente un intérêt si au moins l'une des situations suivantes est rencontrée :

- Les données de retour d'expérience font apparaître la mise en eau des circuits dans le local.
- L'opération a lieu sur un tronçon isolable.
- Le poste de travail est à proximité de tuyauteries de diamètre supérieur à 6 pouces.
- Le poste de travail est à proximité d'échangeurs (RCV, RRA, GV, PZR) ou de capacités (bâches PTR, volutes GMPP).

△ Point de vigilance Activité de l'eau

Cette action ne doit être étudiée que dans certains cas. Il est en effet possible que l'eau soit contaminée : elle devient alors une source d'irradiation et conduit à une augmentation des débits d'équivalent de dose dans le local [a]. Usuellement, à partir d'une contamination de l'eau supérieure à 150 MBq/tonne dans le circuit primaire, il n'est pas pertinent de considérer une mise en eau des circuits.

1.3. Description de la mise en eau des circuits et des contraintes associées

Si cette action est étudiée, elle doit faire l'objet d'un travail en commun avec le CNPE, notamment avec les services Conduite et Planification. Deux cas peuvent se présenter :

- **La planification de l'opération permet de bénéficier des mouvements d'eau prévus lors de l'arrêt : aucune modification de planning est nécessaire.** Il n'est pas demandé de réaliser une analyse d'optimisation poussée pour justifier la mise en oeuvre de l'action (c'est une bonne pratique). Il convient seulement d'identifier cette mise en eau comme une caractéristique de l'opération favorable à la radioprotection et de tenir compte de la diminution du débit d'équivalent de dose lors des évaluations dosimétriques prévisionnelles.
- **La planification de l'opération ne permet pas de bénéficier des mouvements d'eau prévus lors de l'arrêt : des modifications de planning sont nécessaires.** Il est alors demandé de réaliser une analyse d'optimisation complète. Elle comprend des discussions approfondies avec les services du CNPE afin d'identifier la possibilité de modifier la planification de l'opération et de pouvoir bénéficier des mouvements d'eau.

1.4. Éléments de méthode pour réaliser l'analyse d'optimisation

Dans le cas où le questionnement de premier niveau a permis de conclure qu'une mise en eau des circuits est à étudier et demande des modifications de planning, une analyse d'optimisation est nécessaire. Quelques éléments de méthode sont présentés ci-dessous.

Evaluation de l'impact de la mise en eau des circuits

La mise en eau des circuits ne génère pas de dose supplémentaire (coût dosimétrique nul).

Le gain dosimétrique associé à cette action est donc directement lié à la réduction des débits d'équivalent de dose au poste de travail. Celle-ci peut être quantifiée au travers de calculs ou de mesures. Le débit d'équivalent de dose final, DED_f, lorsque la mise en eau des circuits a été effectuée, est calculé pour les tâches élémentaires impactées par la mise en eau, à partir du facteur de réduction du débit d'équivalent de dose associé à la mise en eau, F_{RDD}, appliqué au débit d'équivalent de dose initial (DED_i) :

$$DED_f = F_{RDD} \times DED_i$$

Focus

Exemples de réduction des débits d'équivalent de dose suite à la mise en eau de circuits

Dans le cas de l'épreuve hydraulique du CPP, palier 900 MWe du CPY tranche impaire [b]:

- Le passage du circuit primaire de l'état vide à plein engendre une diminution des débits d'équivalent de dose (DED) au poste de travail au plancher 4 m d'environ 15%. Les sources les plus irradiantes sont alors la branche en U, la ligne RIS BP et la branche froide.
- Le passage du circuit primaire de l'état vide à plein engendre une diminution des DED au poste de travail au plancher 8 m d'environ 30%.

Dans le cas de l'épreuve hydraulique du CPP, palier 1300 MWe du P'4 boucle 1 [c]:

- Le passage des circuits pleins à vides engendre une augmentation des DED au poste de travail de 33% en moyenne au plancher 07, de 35% au plancher 08 et 27% au plancher 09.

Critères de décision

Le choix de la mise en eau ou non des circuits repose, par exemple, sur les critères suivants :

- Faisabilité,
- Impact sur la durée et le planning de l'arrêt de tranche,
- Interférences avec les autres opérations,
- Impact sur les populations sensibles,
- Gestion des effluents générés,
- Gain dosimétrique,
- ...

Critère spécifique

- Impact de la modification des mouvements d'eau prévus lors de l'arrêt.

⇒ Pour aller plus loin

Remise en cause de la planification de l'arrêt

Si une opération spécifique demande des mouvements d'eau différents de ceux prévus lors de l'arrêt, il convient de se rapprocher de la Mission Nationale des Arrêts (MNA – Service de l'UTO) qui est responsable des planifications des arrêts de tranche. Une analyse d'impact doit alors être réalisée.

Points-clefs de l'analyse d'optimisation de l'action

- Travailler en commun avec les services Conduite et Planification des CNPE, voire avec la Mission Nationale des Arrêts.
- Identifier les contraintes de mise en eau des circuits (par exemple, lors des réunions d'enclenchement).

1.5. Éléments de suivi sur site et identification des points importants pour la radioprotection

- Collecter les données permettant d'alimenter le retour d'expérience (faisabilité et efficacité).

La mise en eau des circuits peut constituer un point important pour la radioprotection nécessitant un contrôle et une surveillance renforcée.

△ Point de vigilance
Exigence conception

Pour certains dossiers, la mise en eau des circuits peut devenir une exigence de conception, notamment quand la présence d'eau permet de modifier le zonage radiologique du local (mise en eau du circuit secondaire lors des travaux sur le chignon du GV).

1.6. Références

- [a] J. Vigier, Maintenance des vannes du carré d'as – palier 900 MWe CPY – Optimisation de la radioprotection, D4507021695.
- [b] Contexte Radiologique : Epreuve hydraulique du CPP – palier 900 MWe CPY Tranche impaire, D4507040910.
- [c] Contexte Radiologique : Epreuve hydraulique du CPP – palier 1300 MWe P'4 Boucle 1, D4507041017.

4. FICHE DED 2. RINCAGE DES CIRCUITS ET CHASSE DES POINTS CHAUDS

2.1. Objectif de la mise en œuvre d'un rinçage ou d'une chasse

L'objectif d'un rinçage des circuits ou d'une chasse des points chauds est de **déloger la contamination labile vers des points bas du circuit ou vers des zones de rétention** pour la diriger vers des filtres, des fonds de cuve ou d'autres locaux. Cette action permet généralement de rendre faisable une opération qui n'a pas été conçue pour les débits d'équivalent de dose rencontrés sur site.

2.2. Questionnement de premier niveau

L'étude de la mise en œuvre d'un rinçage des circuits dans un local donné peut présenter un intérêt si au moins l'une des situations suivantes est rencontrée :

- Les données de retour d'expérience font apparaître la mise en œuvre d'un rinçage des circuits présents dans le local.
- Un point chaud générant un débit d'équivalent de dose élevé – c'est-à-dire dont l'impact est apparent sur la dose intégrée – est présent au poste de travail et sa présence aléatoire est reconnue.

2.3. Description de la mise en œuvre d'un rinçage et des contraintes associées

Le rinçage des circuits ou la chasse de points chauds sont **des actions réalisées par le CNPE** (services Conduite et Logistique pour la mise en place de système de piégeage des particules tels que des filtres pré-confinés). Si elles sont nécessaires, une étude conjointe CNPE et prestataire, avec l'appui de l'UTO ou du CIPN, doit être réalisée au plus tôt avant le début de l'arrêt de tranche afin de déterminer les impacts éventuels sur la sûreté et les conditions de mise en œuvre

2.4. Éléments de méthode pour réaliser l'analyse d'optimisation

Dans le cas où le questionnement de premier niveau a permis de conclure que la mise en œuvre d'un rinçage des circuits est à étudier, une analyse d'optimisation est nécessaire. Quelques éléments de méthode sont présentés ci-dessous.

Coût dosimétrique de la mise en œuvre d'un rinçage

Généralement, le rinçage d'un circuit ne génère pas de coût dosimétrique. Cependant, certaines actions associées au rinçage peuvent conduire à une exposition.

△ Point de vigilance

Coût dosimétrique lorsqu'un circuit doit être ligné manuellement

Pour effectuer un rinçage ou une chasse, il est parfois nécessaire de ligner manuellement un circuit avec un autre. A cette tâche peut être associée une dose qui est à prendre en compte lors du calcul du gain lié au rinçage ou à la chasse.

△ Point de vigilance

Coût dosimétrique de la gestion des déchets générés

La gestion des déchets produits (fûts, coques) suite aux actions de rinçage ou de chasse peut aussi conduire à un coût dosimétrique.

Calcul de la dose générée par la source étudiée lorsque le rinçage a eu lieu

D'une manière générale, **l'efficacité d'une chasse ou d'un rinçage n'est pas garantie et ses conditions de réussite sont inconnues**. Cette action de radioprotection n'est pas réellement quantifiable, mais, dans certains cas, elle peut entraîner un gain dosimétrique important, comme le montrent les exemples suivants.

Retour d'expérience du site de Blayais [a]

Assainissement et chasses réalisées lors de l'arrêt de tranche 4 (2003) sur le site de Blayais

Type de chasse	DED estimé avant la chasse	Efficacité attendue Baisse du DED ambiant	Efficacité obtenue (en moyenne)
Chasse RIS HP	1 mSv/h d'ambiance (à 50 cm)	50%	45%
Chasse sur vidange piscine par PTR 144 VB	De 0,4 à 1,5 mSv/h avec des points chauds à 700 mSv/h	50%	90%
Déconcentration des branches en "U"	0,4 mSv/h d'ambiance	50%	55%
Chasses collecteur(s) en U RPE	De 0,1 à 0,4 mSv/h d'ambiance	50%	/
Chasses bols des échangeurs RRA	De 0,4 à 1,5 mSv/h d'ambiance	70%	60%
Purge aval RIS 06 VP/RIS 04 VP	De 0,4 à 1,5 mSv/h d'ambiance	30%	75%
Chasse RIS MP	De 0,4 à 1,5 mSv/h d'ambiance	70%	60%
Chasse RIS BP	1 mSv/h d'ambiance (à 50 cm)	50%	/
Chasse des grattons sur mesure débit GV	De 2 à 20 mSv/h au contact	30%	/

Chasses – Lignes RPE [b]

Le circuit RPE peut être rincé au moyen d'un "furet" qui chasse les dépôts à l'intérieur de la tuyauterie par une pression d'eau à 500 bar vers le puisard. Cette méthode élimine 90 à 100% des points chauds de la ligne.

Critères de décision

Le choix de la mise en œuvre ou non d'un rinçage ou d'une chasse est généralement effectué à partir des critères suivants :

- Faisabilité,
- Impact sur la durée et le planning de l'arrêt de tranche,
- Interférences avec les autres opérations,
- Impact sur les populations sensibles,
- Gestion des effluents générés,
- Gain dosimétrique,
- ...

2.5. Éléments de suivi sur site et identification des points importants pour la radioprotection

Dans le cas où ces actions sont mises en œuvre, il est primordial de recueillir les données (procédures de chasse et de lignage des circuits) qui permettront de capitaliser un retour d'expérience pertinent et, par exemple, de mettre en œuvre une chasse similaire sur les sites qui suivront.

2.6. Références

[a] Assainissement et chasses réalisées lors de l'arrêt de tranche 4 (2003) sur le site de Blayais, D5154NPR (Projet).

[b] A. Rocher, Affaire « Points Chauds » - Projet ALARA, Recueil de fiches d'actions curatives, D4006-52/97-010RDP, indice 1, 1997.

[c] L. David, Rapport d'activité : Opération d'assainissement du podium PTR du BK 2, D.5170/SPR/RAC/07.005, indice 0, 2007.

5. FICHE DED 3. DECONTAMINATION DE SOURCE D'IRRADIATION

3.1. Objectif de la mise en œuvre d'une décontamination

L'objectif de la décontamination est l'**amélioration des conditions de travail via une diminution du débit d'équivalent de dose au poste de travail**.

Dans certains cas, une décontamination peut également permettre de **rendre une opération faisable, en passant, par exemple, d'un local en zone rouge à un local en zone orange**.

△ Point de vigilance
Phénomène d'activation

La contamination doit être différenciée du phénomène d'activation qui concerne les structures exposées à un flux neutronique, pour lesquelles les procédés de décontamination sont inopérants.

3.2. Questionnement de premier niveau

L'étude de la mise en œuvre d'une décontamination peut présenter un intérêt si au moins l'une des situations suivantes est rencontrée :

- Les données de retour d'expérience font apparaître la mise en œuvre d'une décontamination efficace dans le local.
- L'opération à optimiser est classée à enjeu radiologique fort (niveau 3).
- Le poste de travail est à proximité de tuyauteries de diamètre supérieur à 6 pouces, ou encore de matériels de grande contenance (échangeurs, vannes...).
- L'opération doit être réalisée sur ou à proximité d'une tuyauterie, organe, matériel... dont le débit d'équivalent de dose au contact est supérieur à 2 mSv/h.

3.3. Description des procédés de décontamination et des contraintes associées

Les procédés de décontamination peuvent être regroupés en trois familles [a] :

- Les procédés mécaniques,
- Les procédés chimiques,
- Les procédés chimiques-mécaniques dits mixtes.

Les procédés mécaniques font appel à un traitement mécanique de la surface à traiter. Les principales techniques employées classées par ordre croissant d'efficacité sont :

- L'aspiration, pour une contamination très faiblement fixée,
- La peinture pelable,
- Le frottis ou le brossage,
- Les ultrasons,
- Le jet de basse à très haute pression d'eau, de vapeur, de glace,
- L'abrasion qui va du grenailage humide au sablage sec, mais qui a l'inconvénient, dans certains cas, d'entraîner une perte de matière.

Ces procédés sont généralement d'une mise en œuvre simple et présentent une bonne efficacité vis-à-vis de la **contamination labile ou fixée à froid**. Ce sont donc les procédés qui seront les plus usuellement employés.

Les procédés chimiques ont pour but la dissociation de la liaison surface-agent contaminant (le plus souvent des oxydes). Ils reposent principalement sur les mécanismes suivants :

- Mise en solution de la peau du matériau contaminé (oxydes métalliques),
- Formation en surface du matériau d'un composé, puis solubilisation de celui-ci,
- Formation de complexes avec les radioéléments.

Ces procédés s'emploient souvent dans le cadre de la **décontamination de matériaux contaminés à chaud**. Ils seront d'utilisation moins courante. Leur efficacité peut être augmentée en jouant sur des variables mécaniques telles que la température ou la vitesse de circulation.

Les procédés chimiques les plus souvent utilisés et les plus efficaces sont :

- Pour les procédés en circulation liquide :
 - o EMMAC,
 - o EMMAC POA,
 - o EMMAG (pour l'Argent 110).
- Pour les procédés en application locale :
 - o Des mousses ou des gels à base de Ce IV.

Les procédés chimiques-mécaniques allient un effet mécanique à un effet chimique, tels ultrasons et solution chimique. L'électro-décontamination, qui entre dans cette catégorie, présente l'avantage, outre un bon facteur de décontamination, d'améliorer l'état de surface du matériau traité et donc de diminuer sa susceptibilité à la "recontamination".

3.4. Éléments de méthode pour réaliser l'analyse d'optimisation

Dans le cas où le questionnement de premier niveau a permis de conclure qu'une action de décontamination est à étudier, une analyse d'optimisation est nécessaire. Quelques éléments de méthode sont présentés ci-dessous.

Particularités des procédés de décontamination

Pour chaque procédé de décontamination, les déclinaisons peuvent être multiples tant en termes de portion de circuit à décontaminer qu'en nombre de cycles de décontamination. Lors de l'étude d'un procédé de décontamination, il est donc nécessaire de **déterminer la portion optimale de circuit à décontaminer ainsi que le nombre optimal de cycles de décontamination**. Pour cela, une simulation est possible : différents scénarii de décontamination peuvent être envisagés pour obtenir des doses en fonction des portions de circuits décontaminées et du nombre de cycles. La solution optimale doit être recherchée.

La mise en œuvre d'un procédé de décontamination est associée à un coût dosimétrique. Ce coût doit être calculé pour toutes les combinaisons envisageables de portions de circuit et de nombre de cycles.

🔦 Focus

Débit d'équivalent de dose au poste de travail de décontamination

Le poste de travail pour la mise en œuvre de la décontamination est souvent différent du poste de travail pour l'opération. Lors du calcul du coût dosimétrique de l'action, il faut donc prendre en compte le débit d'équivalent de dose au poste de travail de décontamination.

⚠ Point de vigilance

Optimisation du coût dosimétrique de l'action de décontamination

La mise en œuvre du procédé de décontamination peut faire l'objet d'une analyse d'optimisation. Le coût dosimétrique de la décontamination doit notamment être mis en balance avec le gain obtenu.

Calcul de la dose générée par la source étudiée lorsqu'une décontamination a été mise en œuvre

Le débit d'équivalent de dose final, DED_f, lorsque la décontamination a été effectuée, est calculé pour les tâches élémentaires impactées par la décontamination, à partir du facteur de réduction du débit d'équivalent de dose associé au procédé de décontamination envisagé, F_{RDD}, appliqué au débit d'équivalent de dose initial, DED_i :

$$DED_f = F_{RDD} \times DED_i$$

Pour de nouvelles opérations, ce facteur est généralement calculé par un code de calcul dosimétrique. Cela permet de prendre en compte l'influence du spectre d'activité rencontré et l'atténuation précise liée à la technique de décontamination utilisée.

A titre indicatif, les valeurs suivantes illustrent de possibles F_{RDD} :

- F_{RDD} de 0,9 pour la décontamination d'une tuyauterie de 2 pouces,
- F_{RDD} de 0,8 pour la décontamination d'une tuyauterie de 4 pouces.

Autres exemples :

Le retour d'expérience de décontamination par procédé EMMAG (1 cycle) montre par exemple un F_{RDD} moyen de 0,3 sur l'ensemble des locaux RRA [b].

Le retour d'expérience de décontamination mécanique (furetage et lançage HP) puis chimique (dégraissage et mousses oxydantes) des bâches RPE montre un F_{RDD} moyen de 0,15 dans les locaux traités [e].

Dans les cas où des données de retour d'expériences sont disponibles, il n'est pas toujours nécessaire de calculer ce facteur de réduction du débit d'équivalent de dose. Les débits d'équivalent de dose finaux obtenus lors d'opérations précédentes peuvent être utilisés directement et considérés comme les valeurs à atteindre.

La dose générée au poste de travail est à calculer pour chaque technique de décontamination, en déclinant toutes les combinaisons envisageables de portions de circuit et de nombre de cycles.

Calcul du gain dosimétrique

Le gain est à calculer pour chaque technique de décontamination, en déclinant toutes les combinaisons envisageables de portions de circuit et de nombre de cycles.

⇒ Pour aller plus loin Calcul des bénéfices futurs

Pour valoriser une décontamination, il peut parfois être utile de prendre en compte d'autres opérations qui vont se dérouler dans le même local. Pour cela, il est nécessaire de calculer un facteur de recontamination des circuits au fur et à mesure des années et d'en déduire, de manière approximative, la diminution du débit d'équivalent de dose aux postes de travail futurs.

Par exemple, après une décontamination par chimie douce d'une tuyauterie du circuit RRA comportant un ratio standard $^{58}\text{Co}/^{60}\text{Co}$, les F_{RDD} successifs sont :

- Année n : F_{RDD} de 45% au poste de travail
- Année n+1 : F_{RDD} de 22,5% au poste de travail
- Année n+2 : F_{RDD} de 20% au poste de travail

△ Point de vigilance Impact potentiel de la décontamination sur les VTE

Dans certains cas, la mise en oeuvre d'une décontamination permet d'éviter le port d'équipement de protection individuelle dans la suite de l'opération. Ceci a pour conséquence de réduire le volume de travail exposé pour les phases considérées. Il convient alors d'en tenir compte dans le modèle dosimétrique.

Critères de décision

Le choix de la solution optimale (technique de décontamination, portion de circuit à décontaminer, nombre de cycles) dépend de différents critères, par exemple :

- Faisabilité,
- Impact sur la durée et le planning de l'arrêt de tranche,
- Interférences avec les autres opérations,
- Impact sur les populations sensibles,
- Gestion des effluents générés,
- Gain dosimétrique,
- ...

⚡ Focus Faisabilité industrielle de la décontamination

Dans certains cas, la décontamination n'est pas faisable industriellement du fait, par exemple, de la géométrie des zones à décontaminer. Il conviendra alors de justifier la non mise en oeuvre de cette action.

Critères spécifiques

- Coût financier si pertinent (prise en compte de la valeur monétaire de l'homme.sievert évité – annexe 4),
- Innocuité du procédé de décontamination [g] : il est nécessaire de vérifier l'innocuité du procédé de décontamination vis-à-vis des circuits à décontaminer et des exigences de sûreté.

Focus

Prise en compte de l'aspect financier

D'après le retour d'expérience des marchés passés, les valeurs suivantes sont des ordres de grandeur des coûts rencontrés (euros 2007) :

- Décontamination simple (par gel, furetage) : 25 k€
- Décontamination par chimie douce :
 - Opération existante (décontamination échangeur RCV) : 200 k€
 - Nouvelle opération nécessitant un développement (décontamination d'un tronçon de branche LEP) : 150 k€

Points-clefs de l'analyse d'optimisation de l'action

- Définir le domaine de validité de mise en oeuvre du procédé de décontamination retenu.
- Définir les critères qui conditionnent le nombre de cycles de décontamination.
- Définir les gammes de mesure.
- Prendre en compte les effluents générés et les traiter.
- Vérifier l'impact sur le planning de l'opération/de l'arrêt.

3.5. Éléments de suivi sur site et identification des points importants pour la radioprotection

- Mesurer l'efficacité du procédé de décontamination (facteur de décontamination et facteur de réduction du débit d'équivalent de dose) : cette action constitue le plus souvent un point important pour la radioprotection.
- Vérifier la conformité des mesures avec les résultats attendus.

3.6. Références

- [a] P. Gosset, Guide de la décontamination pour les centrales en exploitation, D5710/IMC/2001/012843/00, Edition 2002.
- [b] B. Nohl, REX technique de décontamination sur FLA 1 : lot 1 – RRA- VP15 – 2006 – Opérations réalisées par Tecnubel – ingénierie d'assainissement, ELI DC/ 06 01440, 2007.
- [c] B. Nohl, REX technique de décontamination sur FLA 1 : lot 2 – RPE BR – VP 15 – 2006– Opérations réalisées par STMI – ingénierie d'assainissement.
- [d] B. Nohl, REX technique de décontamination sur FLA 1 : lot 3 – Piscines BR et BK – VP15 – 2006 – Opérations réalisées par Techman – ingénierie d'assainissement, ELI DC/ 06 00985, 2007.
- [e] B. Nohl, REX technique de décontamination sur FLA 1 : lot 4 – RPE BAN BK – décembre 2006 – Opérations réalisées par STMI – ingénierie d'assainissement, ELI DC/ 07 00030, 2007.
- [f] B. Nohl, Résultats et REX des opérations de décontamination réalisées en VP 2007 sur Gravelines 3 – Lots 1 et 2 – ingénierie d'assainissement, E265/077081/EINGREGL, 2007.
- [g] V. Brunet, Etude d'opportunité sur la décontamination des boîtes à eau des générateurs de vapeur, D4507051436, indice 1, 2005.
- [h] P. Fromont, Rapport d'activité : Assainissement Chinon B2, D5170/SPR/RAC/04.004, indice 0, 2004.
- [i] C. Ledig, Mise à jour du retour d'expérience du programme d'assainissement de Chinon B2 mis en oeuvre en 2004, ELI DC/05 00 991, 2006.

6. FICHE DED 4. MISE EN PLACE DE PROTECTIONS BIOLOGIQUES

4.1. Objectif de la mise en œuvre de protections biologiques

Suivant le contexte de l'opération, les protections biologiques peuvent avoir des objectifs différents :

- Protéger un poste de travail dans le cadre d'une opération,
- Protéger une zone de passage,
- Limiter l'impact d'une source secondaire (une vanne déposée, par exemple) qui augmente le débit d'équivalent de dose ambiant au poste de travail et/ou influence le zonage d'un local.

4.2. Questionnement de premier niveau

L'étude de la mise en œuvre de protections biologiques peut présenter un intérêt si au moins l'une des situations suivantes est rencontrée :

- Les données de retour d'expérience font apparaître l'efficacité de la mise en œuvre de protections biologiques dans le local.
- L'opération se déroule en zone jaune ou orange.
- L'opération est classée à enjeu radiologique significatif (niveau 2) ou fort (niveau 3) sur la base de critères de débit d'équivalent de dose au poste de travail.
- Pour accéder au poste de travail, l'opérateur doit systématiquement passer à proximité d'une source irradiante (par exemple, les clapets RCP et la Branche Chaude pour accéder aux générateurs de vapeur sur le palier 900 MWe).

⇒ Pour aller plus loin Cas d'un local en zone rouge

Dans le cas où une opération doit être effectuée en zone rouge, il est préférable de privilégier des actions concernant la réduction du volume de travail exposé des opérateurs. En effet, il n'est généralement pas recommandé de poser des protections biologiques dans ce type de local, cela conduit à exposer des personnes supplémentaires de façon significative.

Par ailleurs, dans les cas où une zone serait susceptible d'évoluer en zone rouge, la mise en œuvre de protections biologiques de façon déportée ou avec une télé-opération peut être envisagée.

4.3. Description des protections biologiques et des contraintes associées

Différents types de protections biologiques sont envisageables :

- **Protections biologiques standards** : matelas de plomb sur catalogue, briques de plomb, paravent...
- **Protections biologiques spécifiques** nécessitant une conception et une mise en œuvre spécifiques : coquilles...
- **Protections biologiques intégrées aux matériels**

✂ Focus

Autres protections biologiques que le plomb

D'autres matériaux peuvent constituer des protections biologiques efficaces (exemple : béton boré).

L'eau peut aussi être un bon écran. Par exemple, lors du remplacement des broches des tubes guides de grappes, il est préférable de laisser le matériel en eau et d'intervenir avec un plongeur et un robot, plutôt que de travailler sur le plancher piscine.

△ Point de vigilance

Utilisation de protections biologiques adaptées

Pour protéger efficacement des circuits, des vannes ou des tuyauteries, il est généralement nécessaire de recourir à des matelas spéciaux adaptés (taille, ergonomie...). Les matelas standards ne permettent pas d'obtenir une couverture optimale de ces sources.

De même, les matelas de plomb doivent être adaptés à la taille des tuyauteries à protéger (éviter de poser de lourds matelas de plomb sur de petites tuyauteries).

Protections biologiques disponibles dans les catalogues des fournisseurs EDF :

Désignation	Dimensions (mm)	Épaisseur (mm éq. Pb)	Masse (kg)
Matelas Standard	900 x 500	6	22
Matelas Standard	600 x 300	6	17
Matelas Ignifugé	900 x 500	6	22
Matelas Standard auto adhésif	900 x 500	6	22
Matelas Spécial Tuyauterie	1500 x 300	6	33
Matelas Spécial Tuyauterie	1500 x 100	6	11
Matelas Spécial Tuyauterie	2400 x 200	6	44
Matelas Spécial Vannes 150	-	6	14
Matelas Spécial Vannes 300	-	6	30
Matelas Spécial Coudes 1201	1200 x 200	6	18
Matelas Spécial Coudes 2001	2400 x 200	6	40
Matelas Spécial	400 x 400	12	22

4.4. **Éléments de méthode pour réaliser l'analyse d'optimisation**

Dans le cas où le questionnement de premier niveau a permis de conclure que la mise en œuvre de protections biologiques est à étudier, une analyse d'optimisation est nécessaire. Celle-ci peut être plus ou moins détaillée selon les protections biologiques considérées.

La mise en œuvre de protections biologiques standards résulte le plus souvent du bon sens et de l'application des bonnes pratiques (exemple : pose de matelas de plomb sur une vanne déposée ou sur de l'outillage).

Pour des cas plus complexes, quelques éléments de méthode sont présentés ci-dessous.

Particularités des protections biologiques

La multiplicité des types de protections biologiques (taille, épaisseur, couverture totale ou partielle de la source...) impose souvent **d'étudier différentes options** avant de décider de la protection optimale.

Par ailleurs, la pose/dépose de protections biologiques présente la particularité d'être **associée à un coût dosimétrique** non négligeable qu'il est nécessaire de calculer.

Coût dosimétrique de la pose/dépose de protections biologiques

Généralement, lors de la pose et de la dépose de protections biologiques, le coefficient d'exposition **K utilisé est égal à 0,5**. Cela permet de prendre en compte (pour un débit d'équivalent de dose non optimisé) l'atténuation due à la protection en cours de pose ou de dépose.

Par ailleurs, il est généralement considéré que le débit d'équivalent de dose au poste de travail de pose/dépose des protections biologiques est similaire au débit d'équivalent de dose au poste de travail "à protéger".

△ Point de vigilance

Calcul du coût dosimétrique de mise en œuvre des protections biologiques

Le coût dosimétrique de mise en œuvre de protections biologiques doit prendre en compte :

- Le coût dosimétrique pour amener des protections dans le local,
- Le coût dosimétrique des actions préparatoires à la pose : décalorifugeage,
- Le coût dosimétrique de pose des protections (incluant la pose des supports),
- Le coût dosimétrique de dépose des protections (incluant la dépose des supports),
- Le coût dosimétrique des actions de re-calorifugeage,
- Le coût dosimétrique pour déplacer les protections du local.

△ Point de vigilance

Optimisation du coût dosimétrique

La mise en œuvre de protections biologiques peut faire l'objet d'une analyse d'optimisation, de manière à réduire l'exposition des poseurs. Le coût dosimétrique doit notamment être mis en balance avec le gain obtenu.

⇒ **Pour aller plus loin**
Cas des protections biologiques fixes

Les protections biologiques fixes (structures permanentes en plomb) sont à valoriser dans le temps. Il est nécessaire d'étaler le coût dosimétrique de leur mise en œuvre sur plusieurs opérations.

Le coût dosimétrique est à calculer pour toutes les combinaisons des différentes techniques et de couverture (totale ou partielle) de la source.

Calcul de la dose générée par la source étudiée lorsque des protections biologiques sont mises en œuvre

Le débit d'équivalent de dose final, DED_f, avec les protections biologiques, est calculé pour les tâches élémentaires impactées par les protections biologiques, à partir du facteur de réduction du débit d'équivalent de dose associé à la protection biologique envisagée, F_{RDD}, appliqué au débit d'équivalent de dose initial, DED_i :

$$DED_f = F_{RDD} \times DED_i$$

Le facteur de réduction du débit d'équivalent de dose est associé à une mise en œuvre de protections biologiques et à un poste de travail : il est en général calculé par un code dosimétrique. Ce calcul permet de prendre en compte l'influence du spectre d'activité rencontré, l'atténuation précise de la protection biologique et sa géométrie par rapport à la source et au poste de travail.

D'une manière générale, il est considéré qu'une protection biologique de 12 mm d'épaisseur de plomb permet de diminuer le débit d'équivalent de dose au poste de travail d'un facteur 2.

Des calculs plus précis permettent d'obtenir les données suivantes. Pour un ratio standard ⁵⁸Co/⁶⁰Co, si la source est couverte de façon globale, les valeurs suivantes de F_{RDD} sont obtenues :

- 0,58 pour des protections biologiques de 6 mm d'épaisseur de plomb,
- 0,38 pour des protections biologiques de 12 mm d'épaisseur de plomb.

Calcul du gain dosimétrique

Généralement, il faut envisager plusieurs protections biologiques différentes. Les paramètres suivants peuvent être modulés pour obtenir la solution optimale :

- Type de solutions techniques (matelas, brique, coque...),
- Épaisseur,
- Géométrie,
- Couverture (totale ou partielle).

Critères de décision

Le choix de la solution optimale dépend de nombreux critères, par exemple :

- Faisabilité,
- Impact sur la durée et le planning de l'arrêt de tranche,
- Interférences avec les autres opérations,
- Impact sur les populations sensibles,
- Gain dosimétrique,
- ...

✂ **Focus**
Faisabilité de la mise en œuvre de protections biologiques

La mise en œuvre de certaines protections biologiques peut entraîner des contraintes relatives à :

- Leur poids et donc à la tenue mécanique des tuyauteries sur lesquelles les protections doivent être posées [b,c],
- La présence de supports fixes,
- La disponibilité en quantité de matelas adaptés aux circuits à protéger,
- Des difficultés d'accès (nécessité d'emprunter des échelles à crinoline avec des matelas...).

⇒ **Pour aller plus loin**
Port de tablier de plomb

L'utilisation de tablier de plomb pour protéger les travailleurs doit faire l'objet d'une analyse spécifique démontrant le bénéfice en matière de dose vis-à-vis de la contrainte physique pour l'opérateur et du faible pouvoir d'atténuation du tablier.

Critères spécifiques

L'aspect financier n'est pas considéré pour une protection biologique standard. Par contre, pour des protections spécifiques (hors matelas ou briques) ou la création de protections intégrées, l'analyse peut prendre en compte la valeur monétaire de l'homme.sievert évité ([annexe 4](#)).

📌 **Focus**
Coût financier des protections biologiques

Lorsque de grandes quantités de protections biologiques sont nécessaires à l'optimisation de la radioprotection au poste de travail, les matelas de plomb peuvent ne pas être présents sur le CNPE. Dans ce cas, il est nécessaire de quantifier leur coût financier. Les valeurs suivantes, issues du retour d'expérience des marchés passés, peuvent servir d'illustrations (euros 2007) :

- Prix du plomb non transformé : 2 €/kg
- Prix du plomb transformé en matelas : 4,5 €/kg
- Prix de la pose et de la dépose : 28 €/heure travaillée
- Développement de protections biologiques spécifiques : 50 à 100 k€

⚠ **Point de vigilance**
Privilégier les protections biologiques avec des épaisseurs élevées

Il convient de privilégier les protections biologiques de grande épaisseur même si leur pose/dépose peut demander plus de temps de travail.

⇒ **Pour aller plus loin**
Prise en compte de différentes opérations dans le même local

Dans le cas où la mise en œuvre de protections biologiques ne s'avère pas directement justifiée par le gain associé à l'opération, une analyse plus complète (zonale) peut être intéressante. Il est alors nécessaire de s'intéresser aux doses prises dans le local lors d'autres opérations et pouvant bénéficier des protections biologiques (et non pas seulement à celle prise lors de l'opération étudiée).

Lorsque la protection biologique estimée comme optimale est justifiée par la dose associée à l'opération, il n'est pas obligatoire d'augmenter la valorisation du gain par la prise en compte des autres opérations dans le local. Il est néanmoins nécessaire d'identifier la mise en œuvre de cette protection biologique comme diminuant la dose des autres opérations afin de ne pas multiplier les poses et déposes de protections biologiques.

⇒ **Pour aller plus loin**
Cas de sources situées sur des points de passage

Dans le cas où l'analyse initiale des composantes de la dose reçue lors de l'opération a fait apparaître qu'une partie importante de celle-ci est intégrée pendant les temps de trajet, il peut être nécessaire d'agir sur les sources situées sur les points de passage. Dans ce cas, on cherche généralement à déterminer le temps de passage minimum à partir duquel un gain dosimétrique est obtenu par la pose de protections biologiques.

Points-clefs de l'analyse d'optimisation de l'action

- Définir le domaine de validité de la protection biologique retenue en termes de débits d'équivalent de dose.
- Planifier les opérations connexes nécessaires à la mise en œuvre de la protection biologique (exemple : décalorifugeage).
- Vérifier les interférences avec d'autres opérations.



4.5. Éléments de suivi sur site et identification des points importants pour la radioprotection

- Vérifier la présence et le bon positionnement des protections biologiques : point important pour la radioprotection.
- Mesurer l'efficacité des protections biologiques (facteur de réduction du débit d'équivalent de dose) : point important pour la radioprotection.

4.6. Références

- [a] Analyse d'Optimisation "Maintenance des vannes du carré d'as" : Optimisation de la radioprotection (Réf 311038-T-03-071).
- [b] Vérification de la tenue mécanique des lignes recouvertes de matelas de plomb – Palier 1300 MWe CPY, D4507070310.
- [c] Synthèse des études réalisées pour la vérification de la tenue mécanique des lignes du palier 900 MWe recouvertes de matelas de plomb, D4507060252.

7. FICHE DED 5. ENLEVEMENT/DEPOSE D'UN ELEMENT IRRADIANT

5.1. Objectif de l'enlèvement/dépose d'un élément irradiant

L'enlèvement/dépose d'un élément irradiant a, généralement, pour objectif de diminuer le débit d'équivalent de dose au poste de travail afin que celui-ci respecte le domaine de validité du contexte radiologique. Cette opération permet donc de **rendre une opération faisable**.

△Point de vigilance
Mise à distance d'opérateurs

Dans cette fiche technique, on ne considère pas l'enlèvement/dépose d'un élément irradiant comme un moyen pour mettre à distance des opérateurs. Cela peut être le cas lorsqu'une opération est réalisée dans un local très irradiant et qu'un élément est retiré pour le traiter en zone verte.

5.2. Questionnement de premier niveau

L'étude de l'enlèvement/dépose d'un élément irradiant peut présenter un intérêt si au moins l'une des situations suivantes est rencontrée :

- Les données de retour d'expérience font apparaître la mise en oeuvre de cette action lors d'opérations similaires.
- Les autres actions visant à réduire les débits d'équivalent de dose (mise en eau, rinçage/chasse, décontamination, mise en oeuvre de protections biologiques) ne permettent pas de respecter le domaine de validité du contexte radiologique de l'opération.

5.3. Description d'une dépose d'élément irradiant et des contraintes associées

Différents niveaux de complexité peuvent être identifiés.

Certains éléments sont aisément manipulables (démontables ou retirables) et faciles à enlever/déposer (exemple : retrait de crépine en fond de piscine). Les gestes associés sont largement optimisés et réalisés via la mise à distance des opérateurs. Leur mise en oeuvre relève de l'application des bonnes pratiques et de la valorisation du retour d'expérience. Leur coût est marginal.

D'autres éléments intégrés aux circuits sont de manipulation plus complexe. C'est le cas, par exemple, des manchettes ou des socket welding. Leur enlèvement/dépose nécessite une analyse d'optimisation. Le coût associé est généralement considéré comme marginal.

Exemple : dépose des pompes RPE lors de la remise en conformité des puisards RPE [a].

Enfin, la manipulation de pièces couvertes par l'arrêté d'exploitation du 10 novembre 1999 [b] est encore plus complexe. Leur enlèvement/dépose nécessite la constitution d'un dossier pour l'Autorité de Sûreté Nucléaire. Une analyse d'optimisation est nécessaire. Un contrôle des soudures par tirs gammagraphiques devra de plus être effectué à la fin de la dépose de l'élément. Le coût d'une telle manipulation est de l'ordre de 300 000 €.

5.4. Éléments de méthode pour réaliser l'analyse d'optimisation

Dans le cas où le questionnement de premier niveau a permis de conclure que l'enlèvement/dépose d'un élément irradiant est à étudier, une analyse d'optimisation est nécessaire.

Il est rappelé que cette action est généralement étudiée en dernier recours lorsque l'analyse a montré que les autres actions visant à réduire les débits d'équivalent de dose (mise en eau, rinçage/chasse, décontamination et mise en oeuvre de protections biologiques) ont échoué à optimiser la radioprotection de l'opération.

Le calcul du coût dosimétrique d'une action de dépose d'un élément irradiant doit prendre en compte les points suivants qui peuvent impacter la radioprotection :

- L'élément déposé représente-t-il une source d'exposition supplémentaire ?
- Le zonage du poste de travail est-il modifié ?
- Le zonage du local dans lequel l'élément est déposé est-il modifié ?
- Des dispositions sont-elles nécessaires pour se protéger de cet élément ?

L'optimisation de la radioprotection repose avant tout sur des modélisations.

⇒ *Pour aller plus loin*

Décontamination de l'élément enlevé/déposé

Il peut être envisagé de compléter l'enlèvement/dépose de l'élément irradiant par sa décontamination. Il peut aussi être nécessaire de protéger l'élément enlevé/déposé par des protections biologiques (matelas). Dans ce cas, ces actions (et leur coût dosimétrique) doivent être intégrées dans l'analyse d'optimisation.

5.5. Éléments de suivi sur site et identification des points importants pour la radioprotection

Les actions suivantes sont des points importants pour la radioprotection.

- Déposer l'élément irradiant.
- Vérifier l'efficacité de l'action via une mesure du débit d'équivalent de dose au poste de travail.
- Vérifier l'impact de l'action sur les zonages du local de l'opération et du local de stockage de l'élément déposé.

5.6. Références

[a] Dossiers CIPN, PTZZ897 et PNXX1447.

[b] Arrêté du 10 novembre 1999 relatif à la surveillance du Circuit Primaire Principal (CPP) et des Circuits Secondaires Principaux (CSP) des réacteurs à eau sous pression (REP).

8. FICHE VTE 1. AUTOMATISATION ET ROBOTISATION

1.1. Objectif de l'automatisation/robotisation

L'automatisation d'une opération de maintenance, ou d'un de ses procédés, peut permettre de réduire le volume de travail exposé.

Cette fiche concerne tous les outillages automatisés permettant d'agir à distance de la zone de travail, sachant que l'automatisation a pour définition l'exécution et le contrôle de tâches techniques par des machines sans qu'il n'y ait d'intervention humaine.

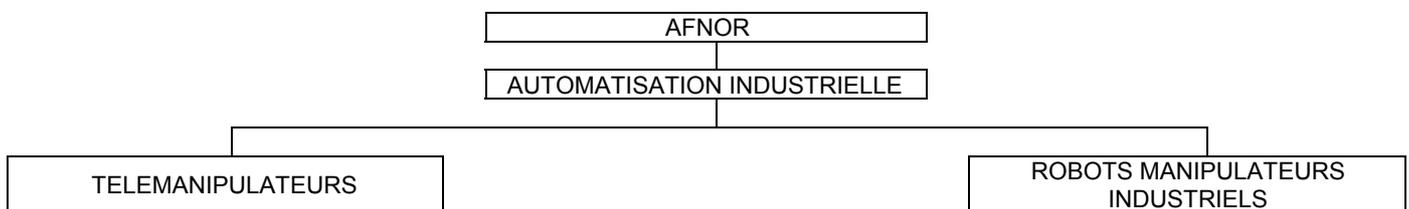
1.2. Questionnement de premier niveau

L'étude de la mise en œuvre d'un système automatisé/robotisé peut présenter un intérêt si au moins l'une des situations suivantes est rencontrée :

- Les données de retour d'expérience font apparaître la mise en œuvre de cette action lors d'opérations similaires.
- Le lieu n'est pas facilement accessible à l'opérateur : encombrement, accès étroit (exemple : inspection télévisuelle des branches chaudes et froides du circuit primaire), intervention en eau (exemple : remplacement de broches des guides de grappes).
- Le procédé nécessaire à l'opération doit être précis et répétitif : le niveau de précision qui peut être obtenu par un système robotisé est supérieur à celui qui peut être obtenu par un opérateur surtout dans les conditions extrêmes [DED, environnement exigü...] (exemple : réparation de piquages).
- Le débit d'équivalent de dose est faible, mais le temps d'intervention est long (exemple : ajourage des jupes GV dont la durée d'intervention est d'environ 1 h).
- Le débit d'équivalent de dose est faible, le temps d'intervention est court, mais l'opération est répétitive.
- L'opération se situe en zone orange ou rouge (exemple : réparation provisoire des pénétrations de fond de cuve).
- L'automatisation/robotisation permet de protéger des populations sensibles.

1.3. Description de l'automatisation/robotisation d'une opération et des contraintes associées

L'arbre synoptique permet de comprendre comment s'organise le domaine robotique selon la normalisation nationale (AFNOR).



L'ensemble des termes présentés ci-dessous a été extrait de normes internationales ISO et nationales AFNOR :

- **Manipulateur : NF ISO 8373 : 199512**
Machine dont le mécanisme est généralement composé d'une série de segments articulés ou coulissants l'un par rapport à l'autre, ayant pour but de saisir et/ou de déplacer des objets (pièces ou outils) suivant plusieurs degrés de liberté. Elle peut être commandée par un ordinateur, un automate programmable, ou tout système logique (par exemple : système à came, logique câblée, etc.).
- **Robot manipulateur industriel : NF ISO 8373 : 199512**
Manipulateur à plusieurs degrés de liberté, à commande automatique, reprogrammable, multi-applications, mobile ou non, destiné à être utilisé dans les applications d'automatisation industrielle.
- **Télemanipulateur : NF ISO 8373 : 199512**
Manipulateur conçu pour effectuer un travail dans un milieu différent et/ou éloigné de celui où se trouve l'opérateur pour commande en temps réel, éventuellement avec l'assistance d'un automatisme. Il se présente généralement sous forme de bras articulé ou télescopique ayant de nombreuses possibilités de mouvements. La commande est effectuée directement ou à distance par l'opérateur agissant par exemple sur une poignée ; elle est assistée ou non par un système à rétroaction mécanique ou électrique pouvant agir en amplificateur de puissance et/ou d'amplitude de mouvements.

Classification succincte des outillages

Il existe trois grandes familles d'outillages [a] :

- **Les porteurs** (contrôles et maintenance) : un porteur est un dispositif permettant le positionnement de plusieurs procédés (exemple : pour la réparation de la plaque de partition, les outils d'affouillement, de rechargement, de broissage et de ressuage sont positionnés au bout d'un bras STAUBLI 6 axes).
- **Les outillages de maintenance** : un outillage de maintenance est un dispositif qui permet de mettre en oeuvre un seul procédé (exemple : la MSDG - Machine de serrage et de desserrage des goujons de cuve ou la machine d'ajourrage des jupes GV).
- **Les outillages de contrôle** (y compris télévisuels) : outil mettant en oeuvre uniquement des procédés d'inspection télévisuelle et d'END (Essais Non Destructifs) (exemple : RITMIC a été développé pour effectuer des END en boîte à eau par courant de Foucault).

1.4. **Éléments de méthode pour réaliser l'analyse d'optimisation**

Dans le cas où le questionnement de premier niveau a permis de conclure que la mise en oeuvre de systèmes automatisés est à étudier, il est nécessaire de prendre en compte les points suivants. Ils permettent de s'assurer que l'utilisation de systèmes automatisés conduira à la maîtrise voire à la réduction des volumes de travail exposé.

Minimisation des volumes de travail exposé

L'outillage doit être conçu pour que son installation sur le lieu de l'opération soit rapide et que le volume de travail exposé de l'opérateur soit limité :

- Si l'outillage ne peut pas être mis en place sur le lieu de l'opération de maintenance par des appareils de levage (exemple : encombrement restreint, passage par des crénelines...), il devra être constitué de plusieurs sous-ensembles démontables, et ayant une charge ainsi que des prises permettant à l'opérateur de les manipuler de façon ergonomique.
- La mise en place des procédés sur des vecteurs de type chars est à privilégier. Exemple : pour l'inspection télévisuelle des parois de la branche chaude du CPP, mise en place d'une caméra sur un char ; possibilité de placer un bras manipulateur sur une base mobile à roue ou à chenille...
- Les systèmes de pilotage et de surveillance doivent être déportés en zone verte. Dans le cas où des réglages de la machine sont nécessaires, il peut notamment être utile de prévoir une maquette de réglage déportée dans un lieu où le débit d'équivalent de dose est faible.

Ainsi, l'opérateur limite son temps de travail exposé, et n'a à se rendre en zone exposée que dans certains cas précis (nécessité d'installer des caméras d'ambiance, mode dégradé non prévu...).

△ Point de vigilance Réduction des pannes du système automatisé

Lors de l'analyse des risques, il est nécessaire de prévoir un maximum de **modes dégradés** liés à l'outillage automatisé et à ses procédés, ainsi que les **parades associées**. Par exemple, dans le cas où une opération de maintenance serait effectuée dans un lieu non accessible à l'homme (dans une tuyauterie, etc.), il faut prévoir une ligne de vie du système. Lors de la conception, il est également nécessaire de prendre en compte la perte d'alimentation en énergie du système qui ne doit pas provoquer l'endommagement de l'installation par l'outillage : il est nécessaire de prévoir un onduleur en cas de panne de courant...

En ce qui concerne l'électronique embarquée, les principales précautions sont :

- Limiter l'électronique embarquée.
- **En zone orange** : les composants électroniques (comme les caméras) ne sont pas nécessairement durcis. Cependant, il faut prévoir une parade permettant de changer le composant défectueux rapidement, en tenant compte du fait que la dosimétrie de l'opérateur ne doit pas augmenter.
- **En zone rouge et temps d'intervention élevé** : les composants électroniques seront de préférence durcis. Toutefois, s'il est décidé d'utiliser du matériel non durci, celui-ci sera testé au préalable dans les conditions d'utilisation pour vérifier sa durée de vie.
- **Intervention en eau** : prévoir du matériel étanche ainsi que des modes de repli adaptés.

Coût dosimétrique lié à la mise en œuvre de systèmes automatisés

Dans certains cas, la décontamination de l'outillage n'est pas simple et entraîne un coût dosimétrique important qu'il est nécessaire de prendre en compte dans l'analyse d'optimisation.

Exemple de gain dosimétrique lié à la mise en œuvre de systèmes automatisés

Sur une même opération de maintenance, le gain dosimétrique varie suivant qu'elle est effectuée de façon totalement manuelle, semi automatisée ou totalement automatisée.

Prenons l'exemple de la réparation provisoire des Pénétrations de Fond de Cuve (PFC) [b] :

- Solution manuelle : la prévision dosimétrique pour la réparation d'une PFC est de **93 H.mSv**.
- Solution avec un bras robotisé (le changement des procédés est fait de façon automatisée) : la prévision dosimétrique pour la réparation d'une PFC est de **21 H.mSv** (N.B : cette estimation ne prend pas en compte l'installation du bras robotisé sous la cuve).
- Solution avec un outillage spécialisé (le changement des procédés est fait de façon manuelle) : la prévision dosimétrique pour la réparation d'une PFC est de **38 H.mSv**.

Critères de choix

Le choix de la mise en œuvre de systèmes automatisés/robotisés repose sur des critères tels que :

- Faisabilité,
- Impact sur la durée et le planning de l'arrêt de tranche,
- Impact sur les populations sensibles (exemple : réalisation d'un soudage automatique pour protéger la population des soudeurs),
- Gain dosimétrique,
- ...

Critères spécifiques

- Répétitivité/volumétrie du chantier,
- Coût financier et amortissement (prise en compte de la valeur monétaire de l'homme.sievert évité – annexe 4).

✦ Focus

Coût financier des systèmes automatisés

Les valeurs suivantes, issues du retour d'expérience des marchés passés, peuvent servir d'illustrations (euros 2007) :

- Outillage non étanche : 50 k€
- Outillage étanche : 200 – 300 k€
- Chariot existant : 50 – 200 k€
- Chariot à développer : 1 M€

1.5. Éléments de suivi sur site et identification des points importants pour la radioprotection

- Vérifier que l'opérateur reste en zone ALARA lors de l'utilisation de systèmes automatisés.
- En fin de manipulation, vérifier, par une mesure de débit d'équivalent de dose, que le robot ne ramène pas d'élément irradiant (exemple : après un affouillement de tuyauteries).
- Le cas échéant, vérifier que l'utilisation de systèmes automatisés ne modifie pas les conditions radiologiques (exemple : contrôle des débits d'équivalent de dose dans les sas lors de la purge des tubes GV).

1.6. Références

- [a] J. Ammoun, Recensement des outillages d'intervention à distance utilisés pour la maintenance des CNPE, D4507060967.
- [b] P. Jumel, Réparation des pénétrations fond de cuve 900 - 1300, D4507040981.

9. FICHE VTE 2. PREPARATION DU MATERIEL ET DU TERRAIN

2.1. Objectif de la préparation du matériel et du terrain

Cette préparation doit permettre aux intervenants de prendre connaissance et de préparer leur environnement de travail. Une préparation minutieuse aura un impact direct sur la réduction des aléas techniques pouvant survenir. Elle permet également, dans certains cas, de prévoir les procédures à suivre si des aléas surviennent.

2.2. Questionnement de premier niveau

Il est nécessaire de considérer cette action quels que soient la nature et l'enjeu radiologique de l'opération.

2.3. Description de la préparation du matériel et du terrain et des contraintes associées

La phase de préparation du matériel passe notamment par :

- Une identification des matériels nécessaires,
- Une identification des aléas potentiels,
- La création d'une check-list qui permettra, au début de l'opération, de vérifier la présence et le bon fonctionnement des différents matériels,
- La définition éventuelle d'une phase de qualification des matériels,
- La prévision des procédures de maintenance des matériels.

La phase de préparation du terrain passe notamment par :

- Une identification des zones de passage et des moyens d'accès aux locaux d'intervention,
- Un repérage des locaux de l'intervention et des éléments concernés par l'opération de maintenance ou de modification (exemple : calorifuge à remplacer),
- Une identification des limites du chantier,
- Une identification de l'éclairage nécessaire,
- Une identification des échafaudages, des moyens de manutention nécessaires.

Ces différents items permettent de préparer au mieux la visite préalable qui aura lieu au tout début de l'opération.

🔦 Focus Préparation des travaux diffus

Dans le cadre de travaux diffus (passage de câbles dans le BR, décalorifugeage) où les interventions ont lieu dans plusieurs locaux, il peut être utile d'associer à la visite préalable des gammes spécifiques (repérage des locaux, points de mesure...) qui seront intégrées dans le dossier de réalisation de l'opération

⚠ Point de vigilance Recours à des actions de décontamination surfacique

Lors du repérage des locaux, il peut être utile d'identifier si des actions de décontamination surfacique peuvent permettre la suppression du port des EPI et donc la diminution des VTE (exemple : nécessité de décontamination surfacique d'un local pour faciliter l'intervention d'un calorifugeur).

2.4. Éléments de méthode pour réaliser l'analyse d'optimisation

✦ Focus

Mise en place d'un éclairage adapté

Les tableaux suivants reprennent les valeurs recommandées d'éclairage en fonction du type de local ou du type de travail à réaliser [a]. Les opérations de maintenance et de modification ont généralement lieu dans des locaux aveugles.

Type de local	Valeur minimale d'éclairage	Type de travail	Valeur minimale d'éclairage
Les voies de circulation intérieure	40 Lux	Mécanique moyenne, dactylographie, bureau	200 Lux
Les escaliers et entrepôts	60 Lux	Travail de petites pièces, mécanographie, dessin	300 Lux
Les locaux de travail, vestiaires et sanitaires	120 Lux	Mécanique fine, gravure, comparaison de couleurs, dessins difficiles, industrie du vêtement	400 Lux
Les locaux aveugles affectés à un travail permanent	200 Lux	Mécanique de précision, électronique fine	600 Lux
Les zones et voies de circulation extérieure	10 Lux	Tâches très difficiles de l'industrie, laboratoires	800 Lux
Les espaces extérieurs où sont effectués des travaux à caractère permanent	40 Lux		

Dès que les travaux demandent de la précision (et donc des temps d'intervention plus longs), il est nécessaire de se déplacer dans des zones faiblement irradiantes (points verts ALARA) et de recourir à des éclairages forts (halogènes).

2.5. Éléments de suivi sur site et identification des points importants pour la radioprotection

- Remplir la check-list "matériels" préparée en amont de l'opération.
- Le cas échéant, suivre les gammes lors de la visite préalable : si la gamme prévoit des points de recevabilité, la réalisation de la visite préalable peut constituer un point important pour la radioprotection.

2.6. Références

[a] www.inrs.fr - fiche "Éclairage des locaux de travail".

10. FICHE VTE 3. PREPARATION DES HOMMES

3.1. Objectif de la préparation des hommes

La préparation des hommes consiste à informer et à former les opérateurs.

L'information préalable des intervenants sur les risques associés à une opération est une obligation réglementaire. Il est cependant possible de moduler le contenu de cette information de façon à renforcer la vigilance des opérateurs en matière de radioprotection.

La formation des opérateurs est un levier qui peut permettre de diminuer directement les volumes de travail exposé, via, par exemple, un entraînement sur maquette.

3.2. Questionnement de premier niveau

Il est nécessaire de considérer cette action quels que soient la nature et l'enjeu radiologique de l'opération.

3.3. Description de la préparation des hommes et des contraintes associées

La formation des intervenants

Plusieurs types de formation peuvent permettre de réduire le volume de travail exposé :

- **La formation de base en radioprotection** (PR1, PR2, QSP) a une influence importante sur le comportement des intervenants en zone irradiante : elle permet notamment de les sensibiliser au concept d'optimisation et aux bonnes pratiques.
- **La formation à la spécialité** : il s'agit ici de renforcer la qualification de spécialités données, notamment celles pour lesquelles il n'existe pas d'école de formation spécifique (robinetiers, décalorifugeurs).
- **La formation à la tâche : l'entraînement des intervenants sur maquette** permet non seulement de sélectionner les intervenants les plus aptes à réaliser la tâche, d'évaluer leur aptitude au travail en milieu hostile (espace restreint, tenues de protection), mais aussi d'améliorer leur rapidité d'exécution. Deux objectifs complémentaires peuvent être mentionnés :
 - Créer un automatisme : dans ce cas, la formation est réalisée au plus près de l'intervention. Exemple : intervention en boîte à eau des GV.
 - Améliorer le geste de l'intervenant via la création de maquette spécifique. Exemple : soudage.

Le niveau d'expérience des intervenants

Celui-ci s'acquiert au fur et à mesure de la réalisation d'opérations similaires. Ce processus peut néanmoins être accéléré par une transmission systématique des expériences acquises par les intervenants lors du passage d'une équipe à une autre ou lors d'entraînements spécifiques aux tâches. Toutefois, quand les intervenants ont atteint un niveau d'expérience important pour une opération donnée, il est nécessaire de maintenir leur motivation pour réduire les expositions, notamment quand les conditions radiologiques évoluent pour une même opération, d'un site à l'autre.

3.4. Éléments de méthode pour faciliter la préparation des hommes

En termes d'information, avant tout début de chantier, un chef d'équipe devrait prévoir les actions suivantes :

- Faire un "briefing" hors zone contrôlée avec toute l'équipe.
- Y décrire le travail à effectuer, l'endroit où va être réalisée l'opération et le meilleur chemin pour y accéder compte tenu des conditions radiologiques.
- Spécifier si nécessaire les contraintes d'environnement susceptibles d'interférer avec l'utilisation de l'outillage et la réalisation de l'opération (espace, éclairage, échafaudage, protections biologiques en place...).
- Présenter :
 - la cartographie prévisionnelle des débits d'équivalent de dose sur le lieu de travail,
 - les doses prévues pour effectuer le travail,
 - les risques de contamination,
 - les protections collectives prévues et leur emplacement,
 - les protections individuelles indispensables,
 - les zones de repli.
- Préciser la place de l'opération sur le planning par rapport aux opérations précédentes et suivantes sur le même lieu.
- Vérifier que le chantier n'interfère pas avec d'autres.

Critères de décision

Les formations de base en radioprotection sont obligatoires. Par contre, pour les formations à la spécialité ou à la tâche, différents critères peuvent être considérés :

- Faisabilité – notamment en termes de contraintes temporelles,
- Impact sur les populations sensibles,
- Gain dosimétrique,
- ...

Critères spécifiques

Le coût de formation à la spécialité ou à la tâche peut ne pas être négligeable. Il peut néanmoins être amorti sur plusieurs années s'il est considéré que la formation des intervenants bénéficiera à un nombre important d'opérations.

✦ Focus

Coût de formation sur maquette

Tous les CNPE possèdent une maquette de GV. Ainsi, le coût de formation aux tâches relatives au GV est uniquement lié à la mobilisation des ressources humaines.
Le développement d'une maquette de clapet coûte par exemple 23 k€ (euros 2007).

3.5. Éléments de suivi sur site et identification des points importants pour la radioprotection

- Prévoir des formations spécifiques.
- Créer les maquettes nécessaires.

3.6. Références

Schieber, Optimisation de la radioprotection et organisation du travail, Rapport CEPN n°227, 1994.

11. FICHE K1. TELEDOSIMETRIE

1.1. Objectif de la télédosimétrie

Le principe de la télédosimétrie est de **réaliser un suivi en déporté et en temps réel de la dose prise par un ou plusieurs opérateurs et du débit d'équivalent de dose des lieux où ils évoluent** (par exemple, un opérateur, placé en haut de la piscine, peut suivre la dosimétrie d'opérateurs évoluant en bas de la piscine). **C'est un outil favorisant la maîtrise du coefficient d'exposition** des opérateurs, en permettant d'optimiser leur position par rapport aux sources d'irradiation.

△ Point de vigilance

Télédosimétrie = ligne de défense supplémentaire

La télédosimétrie est un outil de suivi et de gestion des doses en temps réel. Elle doit être utilisée comme une ligne de défense supplémentaire dans certaines conditions. Sa mise en œuvre ne doit pas se substituer à l'analyse d'optimisation : cartographies, identification des points chauds, évaluations dosimétriques prévisionnelles, et préparation des tâches restent de rigueur et prioritaires.

1.2. Questionnement de premier niveau

L'étude de la mise en œuvre d'une télédosimétrie peut présenter un intérêt si au moins l'une des situations suivantes est rencontrée :

- Les données de retour d'expérience font apparaître la mise en œuvre de cette action lors d'opérations similaires.
- L'opération se déroule dans un environnement multi-sources et nécessite une importante technicité de la part des opérateurs du fait de la complexité des tâches à réaliser.
- L'opération doit se faire en zone orange, le débit d'équivalent de dose peut fortement évoluer dans la durée (entre 2 et 100 mSv/h) et des incertitudes existent quant à la variabilité de cette évolution.
- Les opérateurs doivent intervenir dans une situation incidentelle ou d'urgence radiologique. Il est nécessaire d'intervenir rapidement dans des conditions où le débit d'équivalent de dose n'est pas ou peu maîtrisé.

Exemples d'utilisation :

- Intervention de calorifugeurs sur le couvercle de cuve lors des épreuves hydrauliques du circuit primaire.
- Opérations réalisées par un plongeur dans la piscine du BR.

1.3. Description des contraintes associées à la télédosimétrie

La télédosimétrie doit impérativement être associée à une liaison phonie qui permet un contact entre l'opérateur et la personne qui le suit en déporté.

Annexe 1 - EXEMPLES D' ELEMENTS DE SORTIE

L'exemple étudié est le remplacement des clapets RIS 040VP, 041VP et 042VP sur une tranche impaire d'un réacteur 900 (palier CPY). Les trois clapets sont remplacés lors d'un même arrêt de tranche par les mêmes intervenants.

Les paragraphes suivants illustrent **quelques-uns des éléments de sortie** attendus lors de l'analyse d'optimisation d'une telle opération. **Ils ne prétendent pas être exhaustifs**. La démarche est présentée pour un seul clapet : le RIS 040 VP.

Dans la suite, les éléments de sortie illustrés sont figurés en gras dans les rappels.

Cet exemple présente un cas "d'optimisation globale". En effet, les actions connexes réalisées par le CNPE (pose et dépose d'échafaudages, de sas de confinement, de protections biologiques...) et les doses associées sont prises en compte dans les évaluations dosimétriques prévisionnelles (EDP). Il est considéré que ces EDP sont issues du retour d'expérience disponible.

Cet exemple a été élaboré à partir de données réelles issues du retour d'expérience d'UTO : il a été adapté par mesure de simplification, mais un niveau important de réalisme a été conservé.

A. Illustration d'éléments de sortie à fournir lors de la description de l'opération

Rappel des éléments de sortie pour la description de l'opération

- Description générale de l'intervention dans laquelle s'inscrit l'opération qui sera optimisée et des activités connexes.
- **Identification des choix technologiques effectués lors de la conception de l'opération.**
- **Découpage chronologique de l'opération :**
 - **Premier découpage en tâches élémentaires.**
 - **Identification des lieux (locaux) de l'opération.**
 - Description des postes de travail.

Choix technologiques

Il est décidé de réaliser les soudures de façon manuelle et de recourir à des opérations de préfabrication hors zone irradiante (ce dernier choix est favorable à la radioprotection puisqu'il permet de réduire le temps d'exposition des intervenants).

Description chronologique du déroulement de l'opération et identification des locaux

Pour le clapet RIS 040 VP, l'intervention se déroule dans le local R411 et dans l'espace annulaire (zone de repli).

Opérations réalisées avant l'intervention

- Préfabrication des ensembles RIS et tuyauteries en amont et aval (atelier hors zone irradiante)
- Ressuage en atelier (hors zone irradiante) des embouts de la tuyauterie amont et aval, contrôle CND des soudures, manchettes et clapets
- Visite de chantier au titre du Plan de Prévention

Découpage chronologique de l'intervention

- Opérations connexes : installation du chantier (vinyle, balises, échafaudages, décalorifugeage, ouverture de la vanne...) et montage d'un sas de confinement
- Blocage des lignes et des supports existants
- Prise de cotes et report sur le clapet préfabriqué et tuyauterie amont et aval
- Coupe et dépose des tuyauteries existantes
- Opérations connexes : transfert au niveau 0,00 m BR des éléments déposés pour enfûtage
- Mise en place des supports et éléments préfabriqués
- Réalisation des soudures, ragréages
- Contrôles CND des soudures
- Déblocage des lignes
- Opérations connexes : repli de chantier (cartographie finale...)

B. Illustration d'éléments de sortie à fournir lors de la revue des données d'entrée

Rappel des éléments de sortie pour la revue des données d'entrée

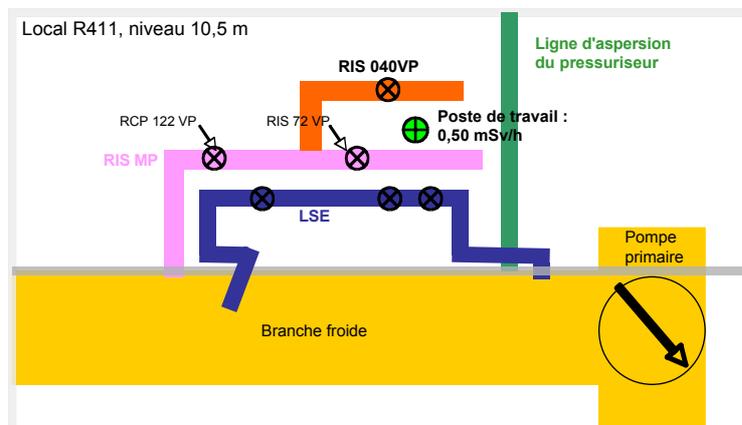
- **Découpage de l'opération en tâches élémentaires** (plus ou moins détaillé selon le retour d'expérience disponible, le stade de conception et le niveau d'enjeu radiologique).
- **Schéma des locaux et des zones de travail.**
- **Estimation du contexte radiologique, des volumes de travail exposé et des coefficients d'exposition.**
- Données jugées pertinentes sur les conditions de travail.
- **Aléas potentiels et solutions de repli envisagées.**

Découpage de l'opération en tâches élémentaires

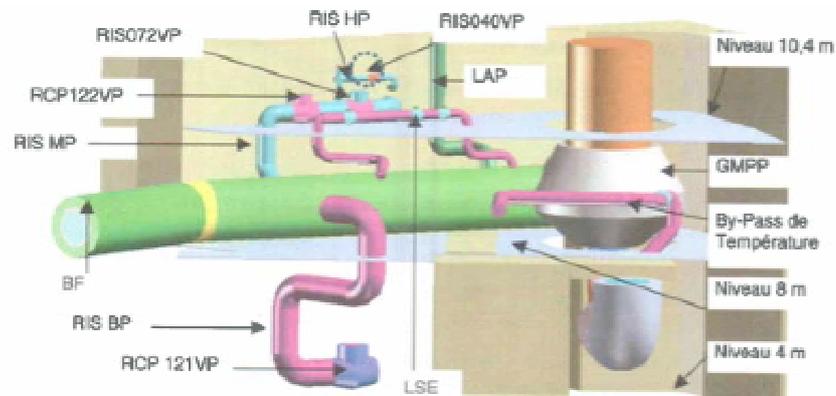
Local	Tâche élémentaire	Spécialité(s)
R 411	Visite de chantier	Chargé de travaux, chargé d'affaires CNPE et SPR CNPE
	Installation du chantier (sas...)	Servitudes CNPE
	Relevé cotes altimétrie/environnement	Chargé de travaux et soudeurs
	Installation du matériel	Tuyauteurs
	Cartographie*	RP
	Prise en charge ligne et calage	Tuyauteurs
	Traçage et coupe	Mécaniciens
	Décontamination des embouts	RP
	Chanfreinage	Tuyauteurs
	Nettoyage du sas	Servitudes CNPE
	Accostage	Tuyauteurs
	Soudage	Soudeurs
	Ressuage	CND
	Gammagraphie	CND
	Retrait du matériel	Tuyauteurs
Repli du chantier (sas...)	Servitudes CNPE	
Espace annulaire	Supervision	Chargé de travaux
	Gammagraphie	CND
	Suivi RP	RP

*Intègre également les cartographies en cours de chantier

Schéma (vue de face) des locaux et des zones de travail intégrant le débit d'équivalent de dose (DED) au poste de travail (source : PANTHERE)



Modélisation du local



Contexte radiologique

Selon les tranches du parc sur lesquelles l'opération est réalisée :

- le débit d'équivalent de dose au poste de travail sans optimisation varie entre 0,15 mSv/h et 1 mSv/h.
- le débit d'équivalent de dose type est de 0,5 mSv/h.
- le débit d'équivalent de dose en espace annulaire est de 0,02 mSv/h.

Estimation des VTE, DED et coefficients d'exposition par tâche élémentaire

Tâche élémentaire	Spécialité	Nb agents	Nb heures indiv. (h)	VTE (H.h)	DED (mSv/h)	K
Visite chantier	Chargé travaux + CA CNPE + SRP CNPE	3	0,25	0,75	0,50	0,50
Installation chantier (sas,...)	Servitudes CNPE	3	0,50	1,50	0,50	0,50
Relevé cotes altimétrie/environnement	Chargé de travaux + soudeurs	3	0,20	0,60	0,50	0,80
Installation matériel	Tuyauteur	2	0,30	0,60	0,50	0,50
Cartographie	RP	1	0,25	0,25	0,50	0,50
Prise en charge ligne + calage	Tuyauteur	2	1,00	2,00	0,50	0,50
Traçage + coupe	Mécanicien	2	1,00	2,00	0,50	0,70
Décontamination embouts	RP	1	0,25	0,25	0,50	0,80
Chanfreinage	Tuyauteur	2	1,50	3,00	0,50	0,70
Nettoyage sas	Servitudes CNPE	3	1,00	3,00	0,50	0,50
Accostage	Tuyauteur	2	1,00	2,00	0,50	0,80
Soudage	Soudeur	2	4,00	8,00	0,50	0,80
Ressuage	CND	2	0,25	0,50	0,50	0,70
Gammagraphie*	CND	2	0,50	1,00	0,50	0,70
Retrait matériel	Tuyauteur	2	0,30	0,60	0,50	0,50
Repli chantier (sas,...)	Servitudes CNPE	3	0,50	1,50	0,50	0,50
Total local R411				27,55		
Supervision	Chargé travaux	1	10,00	10,00	0,02	1,00
Gammagraphie	CND	2	0,25	0,50	0,02	1,00
Suivi RP	RP	1	3,00	3,00	0,02	1,00
Total espace annulaire				13,50		
TOTAL				41,1		

* Dans ce cas, la tâche élémentaire « Gammagraphie » est individualisée de la tâche « Ressuage » étant donné les risques particuliers liés à l'activité de tirs gammagraphiques.

Liste des aléas potentiels

- Des aléas peuvent affecter les volumes de travail exposés. Deux principaux types d'aléas peuvent être potentiellement rencontrés au niveau des soudures :
 - Un défaut localisé (hors racine et passe de soutien). Dans ce cas, il faut effectuer une réparation de la soudure défectueuse avec un affouillement, un soudage, puis effectuer les contrôles non destructifs.
 - Un défaut important (racine et passe de soutien). Dans ce cas, il faut effectuer la coupe de la soudure incriminée ainsi que toutes les autres actions mécaniques qui en découlent (chanfreinage, soudage, contrôles).
- Un autre aléa possible est la présence d'un débit d'équivalent de dose au poste de travail hors contexte radiologique de 1,3 mSv/h.

C. Illustration d'éléments de sortie à fournir pour le calcul de l'EDPi

Rappel des éléments de sortie pour le calcul de l'EDPi

- Modèle dosimétrique comprenant les hypothèses de calcul et les formules mathématiques utilisées.
- Tableau Excel présentant le détail des calculs.
- **Tableau de synthèse regroupant toutes les données (EDPi par tâche élémentaire, doses collective et individuelle par spécialité, si nécessaire).**
- Comparaison, le cas échéant, de l'EDPi avec les objectifs de dose.
- **Le cas échéant, intervalle de variabilité de l'EDPi.**
- **Impact dosimétrique et EDPi des aléas potentiels et des solutions de repli envisagées.**
- **Détermination de l'enjeu radiologique de l'opération et identification, si nécessaire, des critères qui conditionnent cet enjeu.**

Tableau regroupant les VTE, DED, coefficients d'exposition et EDPi par tâche élémentaire

Tâche élémentaire	Spécialité	Nb agents	Nb heures indiv. (h)	VTE (H.h)	DED (mSv/h)	K	EDPi (H.mSv)
Visite chantier	Chargé travaux + CA CNPE + SRP CNPE	3	0,25	0,75	0,50	0,50	0,19
Installation chantier (sas,...)	Servitudes CNPE	3	0,50	1,50	0,50	0,50	0,38
Relevé cotes altimétrie/environnement	Chargé de travaux + soudeurs	3	0,20	0,60	0,50	0,80	0,24
Installation matériel	Tuyauteur	2	0,30	0,60	0,50	0,50	0,15
Cartographie	RP	1	0,25	0,25	0,50	0,50	0,06
Prise en charge ligne + calage	Tuyauteur	2	1,00	2,00	0,50	0,50	0,50
Traçage + coupe	Mécanicien	2	1,00	2,00	0,50	0,70	0,70
Déconta embouts	RP	1	0,25	0,25	0,50	0,80	0,10
Chanfreinage	Tuyauteur	2	1,50	3,00	0,50	0,70	1,05
Nettoyage sas	Servitudes CNPE	3	1,00	3,00	0,50	0,50	0,75
Accostage	Tuyauteur	2	1,00	2,00	0,50	0,80	0,80
Soudage	Soudeur	2	4,00	8,00	0,50	0,80	3,20
Ressuage	CND	2	0,25	0,50	0,50	0,70	0,18
Gammagraphie	CND	2	0,50	1,00	0,50	0,70	0,35
Retrait matériel	Tuyauteur	2	0,30	0,60	0,50	0,50	0,15
Repli chantier (sas,...)	Servitudes CNPE	3	0,50	1,50	0,50	0,50	0,38
Total local R411				27,55			9,17
Supervision	Chargé travaux	1	10,00	10,00	0,02	1,00	0,20
Gammagraphie	CND	2	0,25	0,50	0,02	1,00	0,01
Suivi RP	RP	1	3,00	3,00	0,02	1,00	0,06
Total espace annulaire				13,50			0,27
TOTAL				41,1			9,4

Intervalle de variabilité de l'EDPi

En fonction du contexte radiologique, les valeurs suivantes d'EDPi sont obtenues :

- Valeur basse : 3 H.mSv pour un débit d'équivalent de dose de 0,15 mSv/h.
- Valeur type : 9,4 H.mSv pour un débit d'équivalent de dose de 0,5 mSv/h.
- Valeur haute : 18,6 H.mSv pour un débit d'équivalent de dose de 1 mSv/h.

Détermination de l'enjeu radiologique

Différents critères sont à prendre en compte.

Critère	Valeur	Enjeu radiologique
<i>Dose collective</i>	<i>9,5 H.mSv</i>	<i>Faible (proche de significatif)</i>
<i>DED</i>	<i>0,5 mSv/h</i>	<i>Faible</i>
<i>Niveau de contamination</i>	<i>NC2</i>	<i>Significatif</i>

L'opération est classée à enjeu radiologique significatif pour un seul clapet. En considérant que ce sont trois clapets qui font l'objet d'un remplacement sur ce site et que ce sont les mêmes opérateurs qui interviennent, la dose collective totale de ces remplacements est de l'ordre de 30 H.mSv, ce qui classe l'opération en enjeu fort. Une analyse d'optimisation détaillée est donc tout à fait justifiée.

Impact dosimétrique et EDPi des aléas potentiels et des solutions de repli

Les EDPi des aléas potentiels affectant les volumes de travail exposé sont calculés avec le débit d'équivalent de dose type (0,5 mSv/h).

Réparation dans le cas d'un défaut localisé

Tâche élémentaire	Spécialité	Nombre d'agents	Nb Heures indiv (h)	VTE (H.h)	DED (mSv/h)	Coefficient d'exposition K	EDPi (H.mSv)
<i>Affouillement</i>	<i>Tuyauteur</i>	<i>1</i>	<i>1</i>	<i>1</i>	<i>0,5</i>	<i>0,7</i>	<i>0,35</i>
<i>Soudage</i>	<i>Soudeur</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>2</i>	<i>0,5</i>	<i>0,8</i>	<i>0,8</i>
<i>Ressuage</i>	<i>CND</i>	<i>1</i>	<i>0,5</i>	<i>0,5</i>	<i>0,5</i>	<i>0,7</i>	<i>0,17</i>
<i>Gammagraphie</i>	<i>CND</i>	<i>1</i>	<i>0,15</i>	<i>0,15</i>	<i>0,5</i>	<i>0,7</i>	<i>0,05</i>
Total local R411		<i>/</i>		3,65	<i>/</i>	<i>/</i>	1,38
<i>Gammagraphie</i>	<i>CND</i>	<i>2</i>	<i>0,125</i>	<i>0,25</i>	<i>0,02</i>	<i>1</i>	<i>0,01</i>
<i>Supervision</i>	<i>Chargé de travaux</i>	<i>1</i>	<i>1</i>	<i>1</i>	<i>0,02</i>	<i>1</i>	<i>0,02</i>
<i>Suivi RP</i>	<i>RP</i>	<i>1</i>	<i>1</i>	<i>1</i>	<i>0,02</i>	<i>1</i>	<i>0,02</i>
Total espace annulaire				2,25			0,05
TOTAL				5,9			1,4

Réparation dans le cas d'un défaut important

Il faut généralement reprendre la coupe et la soudure, ce qui conduit à l'EDPi suivante :

<i>Tâche élémentaire</i>	<i>Spécialité</i>	<i>Nb agents</i>	<i>Nb heures indiv. (h)</i>	<i>VTE (H.h)</i>	<i>DED (mSv/h)</i>	<i>K</i>	<i>EDPI (H.mSv)</i>
Prise en charge ligne + calage	<i>Tuyauteur</i>	2	1,00	2,00	0,50	0,50	0,50
Traçage + coupe	<i>Mécanicien</i>	2	1,00	2,00	0,50	0,70	0,70
Déconta embouts	<i>RP</i>	1	0,25	0,25	0,50	0,80	0,10
Chanfreinage	<i>Tuyauteur</i>	2	1,50	3,00	0,50	0,70	1,05
Nettoyage sas	<i>Servitudes CNPE</i>	3	1,00	3,00	0,50	0,50	0,75
Accostage	<i>Tuyauteur</i>	2	1,00	2,00	0,50	0,80	0,80
Soudage	<i>Soudeur</i>	2	4,00	8,00	0,50	0,80	3,20
Ressuage	<i>CND</i>	2	0,25	0,50	0,50	0,70	0,18
Gammagraphie	<i>CND</i>	2	0,50	1,00	0,50	0,70	0,35
Total local R411				21,75			7,63
Supervision	<i>Chargé travaux</i>	1	10,00	10,00	0,02	1,00	0,20
Gammagraphie	<i>CND</i>	2	0,25	0,50	0,02	1,00	0,01
Suivi RP	<i>RP</i>	1	3,00	3,00	0,02	1,00	0,06
Total espace annulaire				13,50			0,27
TOTAL				35,3			7,9

Débit d'équivalent de dose hors contexte radiologique

Un débit d'équivalent de dose au poste de travail hors contexte radiologique de 1,3 mSv/h engendrerait une dose collective prévisionnelle de 24,1 H.mSv.

D. Illustration d'éléments de sortie à fournir pour l'identification des composantes de la dose

Rappel des éléments de sortie pour l'identification des composantes majoritaires de la dose

- **Tableau/graphique de répartition des doses par tâche élémentaire** ou par phase.
- **Tableau/graphique de répartition de doses par local ou par débit d'équivalent de dose.**
- **Tableau/graphique de répartition des doses par spécialité.**
- Identification de conditions de travail et/ou de paramètres influençant le volume de travail exposé.

Tableau de répartition des doses par local et par débit d'équivalent de dose

Pour le remplacement de ce clapet, la situation est simple : seuls deux locaux sont concernés (R411 et espace annulaire). Dans les deux cas, un seul poste de travail est associé au local.

Local	Débit d'équivalent de dose associé	Pourcentage de la dose collective totale
R 411	0,5 mSv/h	97%
Espace annulaire	0,02 mSv/h	3%

Les actions de réduction des doses doivent donc concerner le local R411 et permettre d'agir sur le débit d'équivalent de dose associé de 0,5 mSv/h.

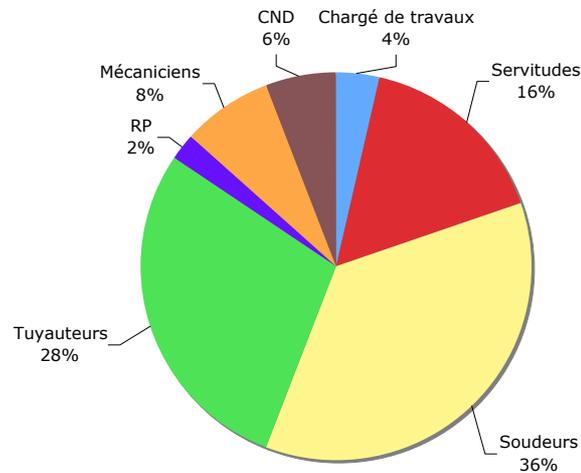
Tableaux de répartition des doses par tâche élémentaire et par spécialité

Tâche élémentaire	EDPi (H.mSv)	Pourcentage du total (%)
Visite chantier	0,19	2,0
Installation chantier	0,38	4,0
Relevé cotes altimétrie/environnement	0,24	2,6
Installation matériel	0,15	1,6
Cartographie	0,06	0,7
Prise en charge ligne + calage	0,50	5,3
Traçage + coupe	0,70	7,4
Déconta embouts	0,10	1,1
Chanfreinage	1,05	11,2
Nettoyage sas	0,75	8,0
Accostage	0,80	8,5
Soudage	3,20	34,0
Ressuage	0,18	1,9
Gammagraphie	0,35	3,7
Retrait matériel	0,15	1,6
Repli chantier	0,38	4,0
Supervision	0,20	2,1
Gammagraphie	0,01	0,1
Suivi RP	0,06	0,6

Spécialité	Dose totale (H.mSv)	Pourcentage du total
Chargé de travaux	0,3	3,7
Servitudes	1,5	16,1
Soudeurs	3,4	36,1
Tuyauteurs	2,7	28,5
RP	0,2	2,4
Mécaniciens	0,7	7,5
CND	0,5	5,7

La phase la plus dosante est celle du soudage. Les spécialités les plus exposées sont les tuyauteurs et les soudeurs.

Graphique de répartition des doses par spécialité



E. Illustration d'éléments de sortie à fournir pour l'identification des actions de réduction de doses

Rappel des éléments de sortie pour l'identification des actions de réduction des doses

- Liste des actions envisagées (en précisant s'il s'agit de bonnes pratiques, de choix de conception ou d'autres actions de radioprotection) :
 - visant à réduire/maîtriser les débits d'équivalent de dose.
 - visant à réduire/maîtriser le volume de travail.
 - visant à réduire/maîtriser le coefficient d'exposition.

Le tableau proposé en partie II du guide peut être utilisé afin d'identifier les actions de réduction de dose à étudier.

Action	Etude de sa mise en œuvre
DED1 – Mise en eau des circuits	Non – Ces travaux sont réalisés en génératrice inférieure. La LSE et la branche froide, qui contribuent le plus au DED, doivent donc rester vides au cours de l'opération
DED2 – Rinçage/chasse	Possible – A travailler avec le CNPE - Ne sera pas étudié dans ce dossier
DED3 – Décontamination	Non
DED4 – Protections biologiques	Oui
DED5 – Enlèvement/dépose d'un élément irradiant	Non
VTE1 – Automatisation	Oui – Opération répétitive, ayant recours à des populations sensibles (soudeurs, gammagraphes)
VTE 2/3 – Préparation matériel, terrain et hommes	Oui – Cette action est à étudier quelle que soit la nature de l'opération
K 1 – Télédosimétrie	Non

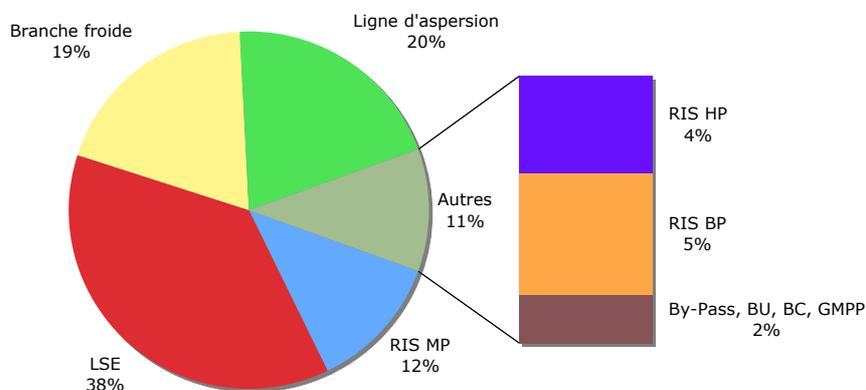
Actions visant à réduire/maîtriser les débits d'équivalent de dose

Il est d'abord nécessaire d'identifier les différentes sources qui contribuent au débit d'équivalent de dose au poste de travail dans le local R411.

1. Contribution des différentes sources au débit d'équivalent de dose au poste de travail

Une modélisation permet d'obtenir la contribution des différentes sources au débit d'équivalent de dose au poste de travail.

La LSE est la source prépondérante.



2. Étude de l'action de pose de protections biologiques

Il est décidé d'étudier la pose de matelas de plomb de 6 mm et de 12 mm sur la ligne de soutirage excédentaire (LSE).

Actions visant à réduire/maîtriser les volumes de travail exposé

Étude de l'amélioration de l'éclairage du local (il s'agit d'une Bonne Pratique : voir Fiche VTE 2)

Étude de l'automatisation : Il est rappelé ici que les soudures sont réalisées en manuel (choix de conception). L'étude de la réalisation des **soudures en mode automatique** peut présenter un intérêt (voir Fiche VTE 1).

F. Illustration d'éléments de sortie à fournir pour l'évaluation de l'impact des actions

Rappel des éléments de sortie pour l'évaluation de l'impact des actions

- **Évaluation de l'impact des différentes actions par rapport à la situation initiale** (débits d'équivalent de dose, VTE, K, doses collectives et individuelles, coût et autres si nécessaire)
- **Variation de ces impacts selon le contexte radiologique rencontré.**

1 - Amélioration de l'éclairage du local

La mise en place d'un bon éclairage est une bonne pratique dont les coûts dosimétrique et financier ne sont pas pris en compte. Son impact n'est pas quantifié. Cette action est retenue sur la base du bon sens.

2 - Mise en place de protections biologiques

Les deux options envisagées (6 mm ou 12 mm) sont étudiées.

Les gains associés sont les suivants.

		Débit d'équivalent de dose au poste de travail (mSv/h)	Gain (%)
<i>Sans protections biologiques</i>		0,5	-
<i>Avec protections biologiques sur la LSE</i>	6 mm	0,42	17%
	12 mm	0,375	25%

Il est décidé de poser des matelas de 12 mm.

Les impacts associés sont les suivants :

- **Impact sur le DED :**
Diminution de 25% du DED au poste de travail dans le local
- **Impact sur le VTE :**
Augmentation de 12 H.h dans l'espace annulaire (préparation des protections biologiques), et de 3 H.h dans le local (temps de pose et de dépose)
- **Impact en termes de coût financier :**
Non pris en compte

Le coefficient d'exposition des poseurs des protections biologiques étant de 0,5 (voir Fiche DED 4), le coût dosimétrique de pose et de dépose des protections biologiques, dans le cas d'un débit d'équivalent de dose type de 0,5 mSv.h⁻¹ dans le local de l'opération, est le suivant.

Coût dosimétrique de mise en œuvre des protections biologiques

Actions	VTE (H.h)	DED (mSv/h)	Coef expo	Dose (H.mSv)
Pose/Dépose pro bio (local R411)	3	0,5	0,5	0,75
Préparation pro bio (espace annulaire)	12	0,02	1	0,24
Total	15	/	/	1

La pose/dépose des protections biologiques sera réalisée par le CNPE, mais l'EDP associée est prise en compte dans l'EDP globale de l'opération de remplacement du clapet.

Remarque : dans le présent exemple, par souci de simplification, il est considéré que la pose de protections biologiques ne requiert pas le dé-calorifugeage de la tuyauterie.

Calcul de la nouvelle EDPi (EDPi-1) avec protections biologiques

Actions	VTE (H.h)	DED (mSv/h)	Coef expo	Dose (H.mSv)
EDPi-1	Visite chantier	0,75	0,5	0,19
	Rplct clapet	26,8	0,38	6,82
	Espace annulaire	13,5	0,02	0,27
	Pose/Dépose pro bio	3	0,5	0,75
	Prépa pro bio esp. ann.	12	0,02	0,24
Total	56,1	/	/	8,3

* les cases grisées mettent en avant les paramètres qui sont modifiés.

La mise en œuvre de protections biologiques contribue à diminuer la dose collective engagée au cours de l'opération qui passe de 9,4 H.mSv à 8,3 H.mSv (gain de 12%).

3 - Réalisation des soudures en mode automatique

- **Impact sur le VTE :**
Diminution de 50% du temps d'exposition dans le local R411 lors du soudage, augmentation de 12 H.h dans l'espace annulaire (nécessité d'un poste supplémentaire lié au soudage).
- **Impact sur les coefficients d'exposition** (les opérateurs n'interviennent plus dans les mêmes positions) : K vaut 0,5 pour les opérations de soudure dans le local R411.
- **Impact en termes de coût : 50 000 €.**
Ce coût correspond au coût variable de la mise en œuvre d'une soudure en automatique. Le coût d'investissement (recherche, développement et qualification du procédé de soudure automatique) est beaucoup plus important (de l'ordre de 300 000 €) et n'est pas pris en compte ici, en supposant que le procédé est déjà qualifié.

Calcul de la nouvelle EDPi (EDPi-2) avec soudage automatique

Actions		VTE (H.h)	DED (mSv/h)	Coef expo	Dose (H.mSv)
EDPi-2	Visite chantier	0,75	0,5	0,5	0,19
	Rplct clapet	22,8	0,5	0,5 – 0,8	6,78
	Espace annulaire	25,5	0,02	1	0,51
	Total	49,05	/	/	7,5

La soudure automatique permet de diminuer la dose collective de l'opération qui passe de 9,4 H.mSv à 7,5 H.mSv (gain de 20%).

G. Illustration d'éléments de sortie à fournir pour la sélection des actions

Rappel des éléments de sortie pour la sélection des actions

- Pour les actions ayant bénéficié d'une quantification des critères de choix :
 - **Bilan des analyses dosimétriques**,
 - Bilan des analyses multi-critères (si cela est pertinent),
 - **Bilan des analyses technico-économiques** (si cela est pertinent).
- **Tableau de synthèse** qui identifie pour chaque action de réduction des doses envisagée (y compris les actions dont l'efficacité n'a pas été quantifiée), si elle est retenue ou non, ainsi que les critères décisionnels ayant donné lieu à cette sélection. Le domaine de validité des actions retenues doit également être précisé.

Bilan des analyses dosimétriques

Actions	VTE (H.h)	EDP (H.mSv)
EDPi-0 - Situation initiale	41,1	9,4
EDPi-1 - avec pose protections biologiques	56,1	8,3
EDPi-2 - avec soudage automatique	49,05	7,5

Analyse coût-bénéfice

Étant donné le coût du soudage automatique, et afin d'apporter des éléments à la prise de décision concernant sa mise en oeuvre, il est intéressant de réaliser une analyse coût-bénéfice (voir annexe 4).

Actions	Coût financier de l' action (€)	Coût du détriment (€)	Coût total (€)
Protections biologiques	0	8,3 x 1800 = 14 940	14 940
Soudage automatique	50 000	7,5 x 1800 = 13 500	63 500

L'analyse coût-bénéfice montre que le coût total de la réalisation de l'opération (coût du détriment + coût financier de l'action) est plus faible si une intervention manuelle avec pose de protections biologiques est retenue. Il ne serait donc pas justifié, sur le seul critère technico-économique, de réaliser le soudage en mode automatique.

Tableau de synthèse des actions retenues

Actions	Critère de décision utilisé	Mise en oeuvre suivant le critère
Amélioration de l'éclairage	- Bonne pratique	- OUI
Protections biologiques	- Gain dosimétrique (1,1 H.mSv et 12% entre l'EDPi et l'EDPi-1) - Faisabilité	- OUI
Soudage automatique	- Gain dosimétrique (1,9 H.mSv et 20% entre l'EDPi et l'EDPi -2) - Coût financier (voir analyse coût-bénéfice) - Développement de procédés techniques - Qualité des soudures - Impact sur les ressources sensibles	- OUI - NON - OUI - OUI - OUI

Les actions de pose de protections biologiques et de soudure automatique sont retenues de façon indépendante. Il est maintenant nécessaire de recalculer l'EDPi en considérant la combinaison des deux actions.

Calcul de la nouvelle EDPI (EDPI-3) avec soudage automatique et protections biologiques

Actions		VTE (H.h)	DED (mSv/h)	Coef expo	Dose (H.mSv)
EDPI-3	Visite chantier	0,75	0,5	0,5	0,19
	Rplct clapet	22,8	0,38	0,5 – 0,8	5,15
	Espace annulaire	25,5	0,02	1	0,51
	Pose/dépose pro bio	3	0,5	0,5	0,75
	Prépa pro bio esp. ann.	12	0,02	1	0,24
Total		64,1	/	/	6,8

L'EDPI-3 est inférieure aux EDPI calculées précédemment. Cette solution permet d'obtenir un gain dosimétrique de 2,6 H.mSv (28%) par rapport à l'EDPI.

Il est donc décidé de réaliser l'opération à partir de soudures automatiques, protections biologiques en place. De cette façon, la qualité des soudures sera améliorée ce qui permettra de diminuer la probabilité d'occurrence d'aléas. Cette option permet également de protéger la population des soudeurs qui est une population dite « sensible ».

H. Illustration d'éléments de sortie à fournir pour l'analyse de sensibilité

Rappel des éléments de sortie pour l'analyse de sensibilité

- **Tableau de synthèse regroupant les différents types d'actions de réduction des doses et mettant en évidence les actions optimales en fonction du paramètre de variation (domaine de validité des différentes actions).**
- Conclusions quant aux actions finalement retenues en justifiant les cas où leur robustesse n'a pas été démontrée et qui devront faire l'objet d'un suivi particulier lors de la réalisation (ce suivi peut être temporaire ou allégé suivant la robustesse obtenue après l'étude des premiers retours d'expérience).

Suivant les tranches du CNPE, le débit d'équivalent de dose peut être compris entre 0,15 et 1 mSv/h. En appliquant les mêmes actions de réduction des doses sur l'ensemble de cette plage de débits d'équivalent de dose, on obtient les résultats suivants.

	Paramètre de variation : débit d'équivalent de dose		
	0,15 mSv/h	0,5 mSv/h	1 mSv/h
<i>EDPI (situation initiale)</i>	3 H.mSv	9,4 H.mSv	18,6 H.mSv
<i>EDPI-1 (protections biologiques)</i>	2,8 H.mSv	8,3 H.mSv	15,6 H.mSv
<i>Gain dosimétrique par rapport à l'EDPI</i>	0,2 H.mSv et 7%	1,1 H.mSv et 12%	3 H.mSv et 16%
<i>EDPI-2 (soudage automatique)</i>	2,60 H.mSv	7,5 H.mSv	14,4 H.mSv
<i>Gain dosimétrique par rapport à l'EDPI</i>	0,4 H.mSv et 13%	1,9 H.mSv et 20%	4,2 H.mSv et 23%
<i>EDPI-3 (pro. bio. et soudage auto)</i>	2,56 H.mSv	6,8 H.mSv	12,8 H.mSv
<i>Gain dosimétrique par rapport à l'EDPI</i>	0,44 H.mSv et 14%	2,6 H.mSv et 28%	5,8 H.mSv et 31%

D'après les résultats de l'analyse de sensibilité, la pose de protections biologiques et la réalisation de la soudure en mode automatique permettent des gains sur l'ensemble de la plage de débits d'équivalent de dose étudiée. Les deux options restent valides sur toute l'amplitude du contexte radiologique (0,15 – 1 mSv/h). Néanmoins, pour les faibles débits d'équivalent de dose, la pose des protections biologiques avant la réalisation de l'opération en mode automatique apporte un gain relativement faible, elle pourra être étudiée au cas par cas.



I. Illustration d'éléments de sortie pour la synthèse de l'analyse d'optimisation

Rappel des éléments de sortie pour la synthèse de l'analyse d'optimisation

- Rappel des actions de réduction des doses retenues et de leur domaine de validité.
- Rappel de l'impact de chacune de ces actions.
- **Calcul des évaluations dosimétriques prévisionnelles optimisées.**
- **Définition partielle des modalités de suivi de l'opération :**
 - Liste des points importants pour la radioprotection,
 - Liste des points de collecte de données pour le suivi dosimétrique et l'établissement du retour d'expérience des opérations.

Tableau synthèse EDPO

<i>Tache élémentaire</i>	<i>Spécialité</i>	<i>Nb agents</i>	<i>Nb heures indiv. (h)</i>	<i>VTE (H.h)</i>	<i>DED (mSv/h)</i>	<i>K</i>	<i>EDPo (H.mSv)</i>
<i>Visite chantier</i>	<i>Chargé travaux + CA CNPE + SRP CNPE</i>	3	0,25	0,75	0,50	0,50	0,19
<i>Pose pro bio</i>	<i>Servitudes CNPE</i>	3	0,5	1,50	0,50	0,50	0,38
<i>Installation chantier (sas,...)</i>	<i>Servitudes CNPE</i>	3	0,50	1,50	0,38	0,50	0,29
<i>Relevé cotes altimétrie/environnement</i>	<i>Chargé de travaux + soudeurs</i>	3	0,20	0,60	0,38	0,80	0,18
<i>Installation matériel</i>	<i>Tuyauteur</i>	2	0,30	0,60	0,38	0,50	0,11
<i>Cartographie*</i>	<i>RP</i>	1	0,25	0,25	0,38	0,50	0,05
<i>Prise en charge ligne + calage</i>	<i>Tuyauteur</i>	2	1,00	2,00	0,38	0,50	0,38
<i>Traçage + coupe</i>	<i>Mécanicien</i>	2	1,00	2,00	0,38	0,70	0,53
<i>Déconta embouts</i>	<i>RP</i>	1	0,25	0,25	0,38	0,80	0,08
<i>Chanfreinage</i>	<i>Tuyauteur</i>	2	1,50	3,00	0,38	0,70	0,80
<i>Nettoyage sas</i>	<i>Servitudes CNPE</i>	3	1,00	3,00	0,38	0,50	0,57
<i>Accostage</i>	<i>Tuyauteur</i>	2	1,00	2,00	0,38	0,80	0,61
<i>Soudage</i>	<i>Soudeur</i>	2	2,00	4,00	0,38	0,50	0,76
<i>Ressuage</i>	<i>CND</i>	2	0,25	0,50	0,38	0,70	0,13
<i>Gammagraphie</i>	<i>CND</i>	2	0,50	1,00	0,38	0,70	0,27
<i>Retrait matériel</i>	<i>Tuyauteur</i>	2	0,30	0,60	0,38	0,50	0,11
<i>Repli chantier (sas,...)</i>	<i>Servitudes CNPE</i>	3	0,50	1,50	0,38	0,50	0,29
<i>Dépose pro bio</i>	<i>Servitudes CNPE</i>	3	0,5	1,50	0,50	0,50	0,38
Total local				26,55			6,09
<i>Prépa pro bio</i>	<i>Servitudes CNPE</i>	3	4,00	12,00	0,02	1,00	0,24
<i>Supervision</i>	<i>Chargé travaux</i>	1	10,00	10,00	0,02	1,00	0,20
<i>Gammagraphie</i>	<i>CND</i>	2	0,25	0,50	0,02	1,00	0,01
<i>Suivi RP</i>	<i>RP</i>	1	3,00	3,00	0,02	1,00	0,06
<i>Soudure</i>	<i>Soudeur</i>	2	6,00	12,00	0,02	1,00	0,24
Total espace annulaire				37,50			0,75
TOTAL				64,1			6,8

EDPo des aléas

Réparation dans le cas d'un défaut localisé

Local	Tâche élémentaire	Spécialité	Nombre d'agents	Nb Heures indiv (h)	VTE (H.h)	DED (mSv/h)	Coefficient d'exposition K	EDPi (H.mSv)
Local R411	Affouillement	Tuyauteur	1	1	1	0,38	0,7	0,27
	Soudage	Soudeur	1	2	2	0,38	0,5	0,38
	Ressuage	CND	1	0,5	0,5	0,38	0,7	0,13
	Gammagraphie	CND	1	0,15	0,15	0,38	0,7	0,04
Total local			/		3,65	/	/	0,82
Espace annulaire	Gammagraphie	CND	2	0,125	0,25	0,02	1	0,01
	Supervision	Chargé de travaux	1	1	1	0,02	1	0,02
	Suivi RP	RP	1	1	1	0,02	1	0,02
	Soudure	Soudeur	2	6	12	0,02	1	0,24
Total espace annulaire					2,25			0,29
TOTAL					5,9			1,1

Réparation dans le cas d'un défaut important

Tâche élémentaire	Spécialité	Nb agents	Nb heures indiv. (h)	VTE (H.h)	DED (mSv/h)	K	EDPI (H.mSv)
Prise en charge ligne + calage	Tuyauteur	2	1,00	2,00	0,38	0,50	0,38
Traçage + coupe	Mécanicien	2	1,00	2,00	0,38	0,70	0,53
Déconta embouts	RP	1	0,25	0,25	0,38	0,80	0,08
Chanfreinage	Tuyauteur	2	1,50	3,00	0,38	0,70	0,8
Nettoyage sas	Servitudes CNPE	3	1,00	3,00	0,38	0,50	0,57
Accostage	Tuyauteur	2	1,00	2,00	0,38	0,80	0,61
Soudage	Soudeur	2	2,00	4,00	0,38	0,50	0,76
Ressuage	CND	2	0,25	0,50	0,38	0,70	0,13
Gammagraphie	CND	2	0,50	1,00	0,38	0,70	0,27
Total local				17,75			4,12
Supervision	Chargé travaux	1	10,00	10,00	0,02	1,00	0,20
Gammagraphie	CND	2	0,25	0,50	0,02	1,00	0,01
Suivi RP	RP	1	3,00	3,00	0,02	1,00	0,06
Soudure	Soudeur	2	6,00	12,00	0,02	1,00	0,24
Total espace annulaire				25,50			0,51
TOTAL				43,3			4,6



Éléments pour la conception du suivi de l'opération

Les points suivants seront intégrés dans le Dossier de Suivi de l'Intervention (DSI).

- Vérification de la disponibilité des moyens nécessaires à la bonne réalisation de l'opération
 - Éclairage adapté
 - Échafaudages adaptés
 - Check-list matériel
- Vérification des débits d'équivalent de dose avant la pose des protections biologiques (point important pour la radioprotection)
- Vérification de la pose des protections biologiques (point important pour la radioprotection)
- Vérification des débits d'équivalent de dose après la pose des protections biologiques (point important pour la radioprotection)
- Information préalable des intervenants
- Calcul de l'EDP au moment de l'intervention avec les débits d'équivalent de dose mesurés (dose cible)

Les relevés dosimétriques auront lieu chaque demi-journée.

Une attention particulière sera portée :

- à la dosimétrie des soudeurs,
- au temps nécessaire lors de l'opération d'accostage (incertitude sur le VTE nécessaire).

Ces points pourront enrichir le retour d'expérience de l'opération.

Annexe 2 - OBJECTIFS DE DOSE COLLECTIVE OU INDIVIDUELLE

1. Références

Réglementation

Dans le code du travail, l'article R-231-75 précise que :

"...lors d'une opération se déroulant dans la zone contrôlée,...., le chef d'établissement, en collaboration, le cas échéant, avec le chef de l'entreprise extérieure :

1°) fait procéder à une évaluation prévisionnelle de la dose collective et des doses individuelles que les travailleurs sont susceptibles de recevoir lors de l'opération.

2°) fait définir préalablement par la personne compétente en radioprotection des objectifs de dose collective et individuelle pour l'opération fixés au niveau le plus bas possible compte tenu de l'état des techniques et de la nature de l'opération à réaliser et, en tout état de cause, à un niveau ne dépassant pas les valeurs limites annuelles. A cet effet, les responsables de l'opération apportent leur concours à la personne compétente en radioprotection..."

Référentiel radioprotection DPN - Chapitre 6 - Thème optimisation de la radioprotection

Le service compétent en radioprotection des CNPE fixe les objectifs de dose collective et individuelle par réacteur pour l'année, par arrêt pour la maintenance, par tranche en fonctionnement et par activité combustibles.

Chaque unité (y compris les unités d'ingénierie nationale CIPN, UTO,...) définit les autres opérations pour lesquelles son service compétent en radioprotection fixe les objectifs de dose (collective et individuelle).

2. Définition d'un objectif de dose

Les objectifs de dose fixés pour une opération traduisent l'ambition de l'exploitant en matière de radioprotection. Ils sont destinés à guider le choix des options techniques ou organisationnelles qui seront retenues et qui font partie du processus d'optimisation.

Les objectifs de dose sont fixés en amont de la conception des opérations au niveau le plus ambitieux qui soit, sur la base, le plus souvent, du retour d'expérience. A la fin de la phase de conception de l'opération au cours de laquelle la radioprotection de l'opération est optimisée, il conviendra de s'assurer que les doses prévisionnelles optimisées permettent de respecter les objectifs fixés à contexte radiologique équivalent.

Il est essentiel de noter que le dépassement d'un objectif de dose lors de la réalisation de l'opération ne constitue pas un écart. Il devra cependant conduire à en analyser les causes.

Exemples

Objectifs en dose collective

- 24 H.mSv pour le remplacement de la vanne RCP 215 VP sur le CNPE de Chinon pour un débit d'équivalent de dose de 0,2 mSv/h.
- 0.1 H.mSv dose moyenne sur l'année par tube de GV bouché ou contrôlé.
- 0.1 H.mSv dose moyenne par cannes chauffantes de pressuriseur remplacées.
- Diminution annuelle de 10 % de la dose moyenne pour le remplacement des Tirants RCP.

Objectifs en dose individuelle

- Diminution annuelle de X % de la dose individuelle moyenne d'une spécialité identifiée (pour une opération répétitive)
- Diminution de X % du nombre de personnes dont la dose annuelle est > 16 mSv

3. Mise en œuvre à l'UTO

Les parties prenantes se concertent pour définir les opérations pour lesquelles un objectif de dose sera déterminé. Il appartient aux PCR de l'UTO de fixer les objectifs de dose en collaboration avec l'entreprise prestataire.

Cas d'une nouvelle affaire

Différentes étapes sont suivies :

- En amont de la consultation, la PCR de l'UTO détermine, en collaboration avec le chargé d'affaires, l'objectif de dose collectif. La définition des objectifs sous entend l'élaboration d'un scénario de maintenance basé sur un contexte radiologique et des actions de réduction des doses (décontamination par chimie douce, soudage auto...).
- Les objectifs sont présentés dans la consultation.
- Dans sa réponse à l'appel d'offre, l'entreprise prestataire présente sa démarche d'optimisation et les objectifs de dose associés (collectif et individuel).
- Dans le cadre de l'analyse technique des offres, un premier dialogue s'installe entre EDF et les entreprises prestataires sur la démarche ALARA et les objectifs.
- Les objectifs de la prestation sont actualisés. Ils servent de base à la conception.
- La recevabilité technique n'est pas conditionnée à l'atteinte des objectifs
- A la fin de la phase de conception, le chargé d'affaires s'assure que la somme des doses prévisionnelles optimisées de l'opération est inférieure ou égale aux objectifs. Deux possibilités :
 - o Les prévisions sont inférieures aux objectifs de dose, l'opération peut commencer.
 - o Les prévisions sont supérieures aux objectifs de dose, la démarche d'optimisation est reprise si on estime que les objectifs pourront être atteints de manière raisonnable. Sinon, la PCR est conduite à fixer de nouveaux objectifs de doses plus réalistes.
- A la fin de la conception, le contexte radiologique optimisé est défini, et une modélisation fine de l'opération est réalisée. Les actions de réduction des doses sont présentées avec leur domaine de validité.
- Durant la réalisation : c'est la prévision dosimétrique et les actions de radioprotection associées qui font l'objet d'un suivi.
- Lors du REX, une comparaison du réalisé / prévisionnel est effectuée, ainsi qu'une analyse des écarts et une analyse de la performance de la démarche ALARA mise en œuvre par rapport à celle prise en compte dans l'objectif.

Cas d'une affaire en cours – opération répétitive

- Sur la base du REX, les objectifs sont discutés avec les entreprises prestataires pour aboutir à un consensus.
- Un plan d'action est défini. Il comprend la désignation des responsabilités, des moyens et le planning de réalisation. La mise en œuvre des actions doit faire l'objet d'un suivi formalisé.
- En fin d'année, on analyse la performance de la démarche d'optimisation au regard de l'atteinte des objectifs de dose.

Dans tous les cas

L'entreprise prestataire peut se fixer des objectifs de dose qui lui sont propres, elle doit alors les communiquer à EDF.

4. Mise en œuvre au CIPN

Les parties prenantes se concertent pour définir les opérations pour lesquelles un objectif de dose sera déterminé.

Différentes étapes sont suivies :

- En phase stratégique, il appartient au chargé d'affaires (Responsable de Conception), avec l'appui des radioprotectionnistes, de fixer le premier objectif de dose qui prend alors en compte les éléments d'étude de conception disponibles dans cette phase.
- En phase de consultation, le chargé d'affaires, en collaboration avec les fournisseurs concernés par l'opération, affine et valide son objectif de dose. Si l'analyse montre un niveau d'enjeu radioprotection important (enjeu de conception, enjeu d'exploitation...), un paragraphe spécifique relatif à la radioprotection est joint au CSCT, en complément des autres documents contractuels. Ce paragraphe peut contenir des objectifs de dose. Dans sa réponse à l'appel d'offre, le Titulaire prend en compte ce paragraphe radioprotection pour élaborer sa démarche d'optimisation de la radioprotection et définit des objectifs de dose associés.
- Enfin, à partir du contexte radiologique adapté à la tranche avant l'intervention (année N-1 ou N-2), les parties prenantes peuvent revoir l'objectif de dose.

Pour des dossiers spécifiques (niveau de dose élevé, impact sur les populations sensibles, visibilité vis-à-vis de l'Autorité de Sûreté Nucléaire), le comité ALARA peut définir, lors de la présentation du dossier, un objectif de dose.

Annexe 3 - RECHERCHE DE L'ORIGINE DES DEBITS D'ÉQUIVALENT DE DOSE

Après l'identification des débits d'équivalent de dose (DED) aux postes de travail, il est nécessaire de déterminer, pour chacun d'entre eux, les matériels ou composants qui y contribuent majoritairement.

Les points-clés de la démarche sont présentés ci-après.

Deux approches

La recherche de l'origine des DED est un problème en lui-même que l'on peut aborder :

- D'une manière semi empirique en se basant sur le REX.
- D'une manière analytique.

Un dénombrement initial

Quelle que soit la méthode choisie, il s'agit de dénombrer, en premier lieu, les N matériels pouvant contribuer au débit d'équivalent de dose du poste de travail DED_T .

$$DED_T = \sum_{i=1}^N DED_i$$

Où DED_i est le débit d'équivalent de dose généré par le matériel i.

Sa participation (%) au DED_T est le ratio $P_i = \frac{DED_i}{DED_T}$.

Une connaissance de la contamination de chaque matériel participant aux DED

Il est nécessaire de déterminer les caractéristiques des activités/contaminations contenues dans chaque matériel : activation des structures, contamination surfacique des structures, contaminations volumiques des fluides contenus. Les connaissances nécessaires sont généralement disponibles dans diverses sources documentaires ou par le REX.

Le mode de contamination d'un matériel fournit une indication pour les actions pouvant être mis en oeuvre pour baisser les débits d'équivalent de dose.

Type de contamination	Action de réduction des doses possibles
Activation des structures	Enlèvement, protections biologiques, circuit plein/vide
Activité des fluides	Vidange, protections biologiques
Dépôts	Rinçage, décontamination, protections biologiques, circuit plein/vide

La situation la plus usuelle est celle d'un seul mode de contamination constitué de dépôts de produits de corrosion déposés sur les surfaces.

⇒ Pour aller plus loin

Cas de modes de contamination multiples

Dans le cas de modes de contamination multiples, il convient d'engager les actions nécessaires pour déterminer les participations respectives de chacun des modes (calcul, mesures dans différentes configurations...).

La contamination des matériels est mesurable directement par des méthodes destructives ou non destructives (appareillage EMECC développé par le CEA ou spectromètre portable par exemple). La connaissance des activités permet d'utiliser des codes de calculs des débits d'équivalent de dose.

⇒ Pour aller plus loin

Cas où une pollution spécifique est détectée

Il peut être intéressant de caractériser finement l'une des sources contribuant au débit d'équivalent de dose au poste de travail, en termes de spectre d'activité (contribution des différents radionucléides à l'activité totale) [10]. C'est le cas notamment lorsqu'une pollution spécifique est détectée ou que le contexte radiologique est différent de celui attendu. Il peut alors être nécessaire de réaliser des mesures sur site à l'aide d'un spectromètre portable.

Identifier les matériels participant au débit d'équivalent de dose

Approche semi-empirique

Le REX peut indiquer des tendances sur la participation des sources : soit directement (connaissance du ratio Pi), soit indirectement par l'effet de la mise en œuvre de actions de réduction des doses. Une approche expérimentale peut également compléter cette démarche par des mesures de DED (aux postes de travail et au voisinage, au contact des matériels présents), ou même en réalisant des essais (mise en place de protections biologiques, utilisation de détecteurs collimatés). Le résultat de la démarche est une proposition de valeurs de participation des matériels au DED_T.

△ Point de vigilance
Transposition du retour d'expérience

Dans une approche purement semi-empirique il faut s'assurer que le REX utilisé est transposable aux conditions des interventions au poste de travail.

Approche analytique

Elle consiste en une utilisation conjointe des calculs et des mesures de débit d'équivalent de dose. Contrairement à l'approche précédente, on raisonne ici sur la contamination des matériels dont on évalue l'effet sur le DED_T.

Le principe est simple :

- Il s'agit de mesurer, a minima, les N DED au voisinage des N composants identifiés comme pouvant participer à l'élaboration du DED_T. Suivant l'appréciation des mesures, on peut être conduit à supposer qu'il existe plusieurs modes de contamination des matériels (eau, dépôt, activation...). On peut alors obtenir M (>N) sources radioactives pouvant participer au DED_T.
- Il est nécessaire de mesurer les DED au poste de travail et en des points divers afin d'obtenir un nombre total de mesures supérieures à M.
- On simule par calcul les DED générés par les M sources aux différents points de calcul en affectant des spectres d'activité, sur la base de la connaissance des matériels et des circuits présents ou en procédant à des mesures expérimentales.
- On détermine par itérations, ou par des méthodes adaptées [11], les niveaux d'activité afin d'obtenir des DED calculés et mesurés proches. Cette étape est appelée calage des sources.
- Une fois le calage obtenu, on peut évaluer analytiquement les participations de chacune des sources au poste de travail.

⇒ Pour aller plus loin
Les différents moyens de calcul

Divers codes de calcul peuvent être utilisés :

- des outils de type MICROSIELD : ces outils sont en général utilisés pour des cas relativement simples (quelques sources et des géométries simples correspondant au catalogue),
- des outils plus généralistes comme MERCURAD ou PANTHERE permettant de simuler n'importe quelle situation. Une interface graphique évoluée, comme dans le cas de PANTHERE, est alors primordiale.

🔦 Focus
L'intérêt de l'approche analytique

L'utilisation des codes de calcul permet de prévoir les participations des différents matériels même dans des conditions (état de circuit etc...) qui ne correspondent pas obligatoirement aux conditions de l'intervention. Il est seulement suffisant que les sources (tant en répartition qu'en intensité) ne soient pas modifiées dans la transposition.

Le calcul permet une utilisation fine des mesures de DED et fiabilise la démarche.

△ Point de vigilance
Précision de la méthode

Les mesures de DED doivent être réalisées avec un maximum de précaution afin de garantir leur reproductibilité et leur qualité : elles doivent être réalisées suivant des gammes de mesures précisant le mode opératoire (emplacement, fréquence...).

Quelle que soit l'approche choisie (REX ou analytique), il est nécessaire de bien connaître les locaux, les circuits (utilisation et fonction des circuits) et les modes de contamination. Ceci permet de bien comprendre la contamination des circuits et, par conséquent, les niveaux de DED observés.



Focus

La participation des sources au DED

La participation d'un matériel au DED détermine le gain maximum pouvant être obtenu en agissant sur ce matériel.

Le classement des matériels suivant leur participation au DED permet d'identifier les sources sur lesquelles il convient d'agir en premier.

Les conditions de mise en œuvre des actions de réduction des doses envisagées pour diminuer un DED particulier vont déterminer le gain pouvant être obtenu en réalité et peuvent modifier éventuellement le classement précédent.

Annexe 4 - ANALYSE TECHNICO-ECONOMIQUE

Pour évaluer et sélectionner les actions de réduction des doses sur la base de critères technico-économiques, de nombreuses techniques d'aide à la décision sont disponibles, parmi lesquelles la méthode coût-bénéfice.

Cette méthode d'analyse est basée sur le principe d'agrégation des critères de sélection des actions en un seul critère : celui du coût. L'objectif de cette analyse est de déterminer, parmi différentes actions de réduction des doses indépendantes et alternatives, l'action optimale en termes de coût, c'est-à-dire l'action dont le coût total (coût de la protection + coût du détriment sanitaire) est minimum.

1. Calcul du coût du détriment

Étant donné l'hypothèse de l'existence d'un risque sanitaire associé à tout niveau d'exposition, la dose collective associée à une action peut être considérée comme étant représentative du détriment sanitaire induit par cette opération.

Le "coût du détriment" lié à l'action est déterminé en multipliant la dose collective de l'action par la valeur monétaire de référence de l'unité de dose collective (ou valeur monétaire de l'homme-sievert) qui représente la valeur monétaire des effets sanitaires potentiellement induits par une unité de dose.

La valeur retenue à l'UTO et au CIPN est de 1,8 kEuros/H.mSv [[12](#), [13](#)]

2. Calcul du coût total

Le coût total de l'action est obtenu en sommant le coût associé à la mise en œuvre de l'action et le coût du détriment.

3. Sélection de l'action optimale

L'action optimale est celle qui présente le coût total le plus faible.

4. Exemple

La valeur monétaire de l'homme-sievert considérée est de 1,8 kEuros/H.mSv.

Soient les actions suivantes :

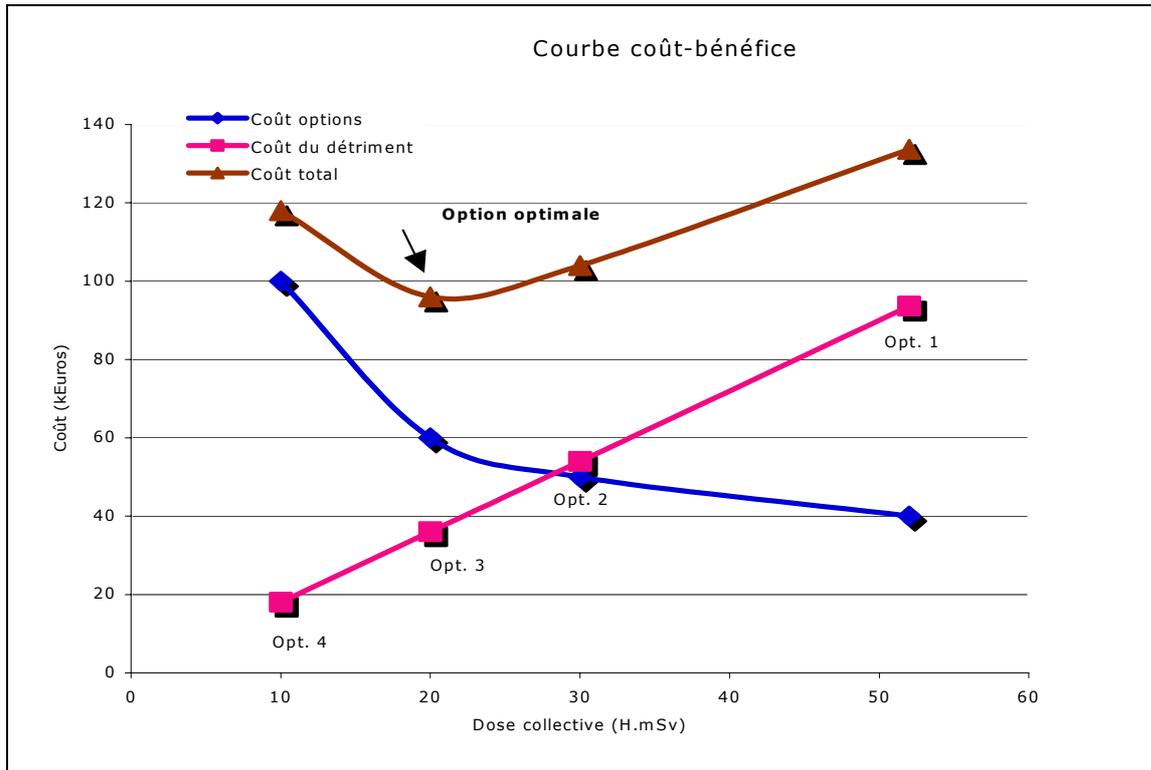
Actions	Dose totale (H.mSv)	Coût de l'action (kEuros)
1	52	40
2	30	50
3	20	60
4	10	100

Le résultat de l'analyse coût-bénéfice est alors le suivant :

Actions	Coût de l'action (kEuros)	Coût du détriment (kEuros)	Coût total (kEuros)	Statut
1	40	$52 \times 1,8 = 93,6$	$40 + 93,6 = 133,6$	
2	50	$30 \times 1,8 = 54$	$50 + 54 = 104$	
3	60	$20 \times 1,8 = 36$	$60 + 36 = 96$	OPTIMALE
4	100	$10 \times 1,8 = 18$	$100 + 18 = 118$	

L'action 3 qui présente le coût total le plus faible est considérée comme étant l'action optimale.

La visualisation graphique de l'analyse coût-bénéfice consiste à placer sur un même graphique le coût du détriment associé à chaque action, le coût des actions et leur coût total (coût du détriment + coût de l'action).



Annexe 5 - GLOSSAIRE

Les définitions citées dans ce document proviennent par ordre de priorité :

1. De la réglementation lorsque celle-ci les a énoncées,
2. Des textes normatifs,
3. Des documents EDF.

ALARA

Acronyme anglais de "As Low As Reasonably Achievable" qui signifie "Aussi bas que raisonnablement possible". Le terme ALARA est utilisé pour désigner la démarche d'optimisation de la radioprotection qui vise à maintenir les expositions collectives et individuelles aussi bas que raisonnablement possible compte tenu des facteurs économiques et sociaux.

Aléas

Situations différentes des conditions de travail normales de l'opération.

Action de réduction des doses (définition propre à ce document)

Ce sont les différentes actions envisageables pour optimiser la radioprotection d'une opération. Elles sont élaborées lors de la phase de conception et permettent d'agir sur les différentes composantes de la dose. A chaque action est associé un domaine de validité qui identifie les conditions (contexte radiologique en particulier) dans lesquelles l'action peut être mise en oeuvre.

Ces actions peuvent se répartir dans 3 catégories :

- Bonnes pratiques
- Choix de conception impactant (ou lié à) la radioprotection
- Actions de radioprotection

Action de radioprotection (définition propre à ce document)

Action de réduction des doses qui n'est pas une bonne pratique ou un choix de conception impactant la radioprotection

Analyse coût-bénéfice

Pour évaluer et sélectionner les actions de réduction des doses sur la base de critères technico-économiques, de nombreuses techniques d'aide à la décision sont disponibles, parmi lesquelles la méthode coût-bénéfice.

Cette méthode d'analyse est basée sur le principe d'agrégation des critères de sélection des actions en un seul critère : celui du coût. L'objectif de cette analyse est de déterminer, parmi différentes actions de réduction des doses indépendantes et alternatives, l'action optimale en termes de coût, c'est-à-dire l'action dont le coût total (coût financier de la protection + coût du détriment sanitaire) est minimum.

Analyse multi-critères

Outil d'aide à la décision permettant d'effectuer un choix en fonction de critères préalablement définis.

Analyse de poste de travail

L'analyse de poste évalue les risques liés à un poste de travail, propose un plan de traitement et conduit donc à leur maîtrise. Le risque d'exposition externe est traité au travers d'une analyse d'optimisation de la radioprotection.

Analyse des risques radiologiques (selon référentiel EDF thème "optimisation")

Sans être exhaustif, l'inventaire des risques sera établi à partir d'un questionnaire portant a minima sur :

- le risque d'exposition externe,
- le risque d'exposition interne,
- le risque d'exposition extrémités,
- le risque de classement en zone orange ou rouge du lieu où se déroule l'opération,
- le risque d'impact sur le zonage radioprotection du lieu d'intervention,
- le risque d'impact sur le zonage lié à la propreté radiologique du lieu d'intervention,
- le risque lié à l'exécution d'exams radiographiques,
- la nécessité d'un balisage et d'un affichage de consignes particulières.

Analyse de sensibilité

Cette analyse consiste à vérifier si la modification des hypothèses de base (débit d'équivalent de dose au poste de travail, facteur de décontamination...) de l'analyse d'optimisation impacte le choix des actions de réduction des doses. Elle permet de tester la robustesse de la démarche et est particulièrement recommandée pour de nouvelles opérations.

ASN

Autorité de Sûreté Nucléaire (ex Direction Générale de la Sûreté Nucléaire et de la Radioprotection – DGSNR)



Bonnes pratiques (définition propre à ce document)

Actions de réduction des doses qui relèvent du bon sens. Elles doivent être listées et mises en œuvre si elles sont applicables. Elles ne nécessitent pas toujours de quantification pour être sélectionnées et appliquées.
Par exemple : éclairage adapté, échafaudage adapté...

CARTORAD

Application informatique du système d'information permettant le stockage et le partage de cartographies.

CETIC

Centre d'Expérimentation et de validation des Techniques d'Intervention sur Chaudières

Choix de conception impactant (ou lié à) la radioprotection (définition propre à ce document)

Choix pouvant impacter la nature de l'opération et modifier de façon importante les débits d'équivalent de dose ou les volumes de travail exposé (exemple : changement de local d'intervention pour bénéficier de zones moins irradiantes). Dans certains cas, ces choix rentrant dans le cadre d'une amélioration continue de la radioprotection (exemple : décision d'une intervention robotisée).

Choix technologique (définition propre à ce document)

Choix effectué au tout début de la phase de conception qui peut conditionner la globalité de l'opération et l'ensemble de la démarche d'optimisation. Il n'est pas forcément favorable à la radioprotection.
Exemples : réalisation de soudages automatiques plutôt que manuels, recours à un plongeur sous eau...

CIPN

Centre d'Ingénierie du Parc Nucléaire en exploitation

CNPE

Centre Nucléaire de Production d'Électricité

CEA

Commissariat à l'Énergie Atomique

Contexte radiologique

C'est la représentation du niveau d'exposition à travers un échantillon de débits d'équivalent de dose (DED) au poste de travail. Il constitue l'ensemble des DED utilisés dans le modèle dosimétrique. Pour les opérations répétitives, il prend en compte la dispersion des valeurs rencontrées sur sites. Il est généralement borné par une valeur basse et une valeur haute.

Contexte radiologique "type"

Le contexte type est celui considéré comme "représentatif" de la majorité des CNPE.

Contrainte de dose

La notion de contrainte de dose vient de la CIPR 60 et de la Directive EURATOM 96/29. Elle est reprise dans la réglementation française à l'article R231-75 du code du travail sous le vocable "objectif de dose".

CPP/ RCP

Circuit Primaire Principal

CSP

Circuit Secondaire Principal

CSCT

Cahier des Spécifications et des Clauses Techniques

Débit d'équivalent de dose au poste de travail

Débit d'équivalent de dose choisi représentatif des conditions d'exposition au poste de travail. Valeur utilisée dans le modèle dosimétrique

Domaine de validité

Un domaine de validité identifie les critères de mise en œuvre des actions de réduction des doses issues de la démarche d'optimisation, et les limites de recevabilité de cette démarche. Il est associé à un contexte radiologique et défini lors de la phase de conception de l'opération.

La sortie du domaine de validité conduit à redéfinir les modes opératoires et les actions de réduction des doses associés à l'opération.

EDF
Électricité de France

Enjeu radiologique

Le tableau suivant présente les différents enjeux et les critères associés.

Enjeu	Très faible (niveau 0)	Faible (niveau 1)	Significatif (niveau 2)	Fort (niveau 3)
Dose collective (H.mSv)	< 1	< 10	< 20	> 20
DED max au poste de travail (mSv/h)	< 0.1	< 2	< 40	> 40
Niveau de contamination	NC0 - Pas d'ouverture, ni perte d'intégrité de circuits contenant de la contamination ET - Contamination surfacique dans la zone de chantier avant l'intervention < 400 Bq/cm2	NC1 - Ouverture < DN20 de circuits contenant de la contamination ET - Contamination surfacique dans la zone de chantier avant intervention < 400 Bq/cm2	NC2 - Ouverture > DN20 de circuits contenant de la contamination OU - Contamination surfacique dans la zone de chantier avant intervention > 400 Bq/cm2	NC3 - Opération nouvelle pour laquelle on ne dispose d'aucun REX avéré pouvant être utilisé et présentant un risque de contamination - Contamination importante d'une zone suite à fuite du circuit primaire - Tranche déclarée à risque alpha - Tranche à risque iode

Pour les opérations à enjeu très faible (niveau 0) ou faible (niveau 1), la démarche d'optimisation de la radioprotection peut se limiter à la chasse aux doses inutiles et à l'application des bonnes pratiques.

Par contre, pour les opérations dont l'enjeu radiologique est significatif (niveau 2) ou fort (niveau 3), il convient d'approfondir la démarche d'optimisation et d'appliquer une méthode structurée visant à caractériser les situations d'exposition pour ensuite identifier, quantifier et sélectionner les actions de réduction des doses possibles.

EPI

Équipement de Protection Individuelle

Evaluation dosimétrique prévisionnelle (EDP)

La prévision des doses reçues par les intervenants peut être évaluée par différents processus (par analogie avec des opérations similaires par exemple), mais la démarche de modélisation est préférée car elle permet de quantifier l'impact des différents paramètres concourant à l'élaboration de la dose. Les hypothèses permettant d'évaluer la dosimétrie doivent être identifiées et tracées.

On distingue les évaluations pour la dose collective (H.mSv) et pour les doses individuelles (mSv). Les doses individuelles sont le plus souvent des doses individuelles moyennes par spécialité.

Evaluation dosimétrique prévisionnelle type

Elle correspond à une évaluation prévisionnelle de la dose prenant en compte le contexte radiologique type de l'opération et des conditions normales d'intervention (sans aléas).

GMPP

Groupe motopompe primaire

GV

Générateur de vapeur

LEP

Ligne expansion pressuriseur



MERCURAD

Logiciel de simulation 3D pour le calcul de débits d'équivalent de dose pour des environnements simples. Toute géométrie peut être modélisée.

MICROSHIELD

Logiciel de simulation 3D pour le calcul de débits d'équivalent de dose pour des environnements simples. Les modélisations de géométrie sont réalisées à partir de bibliothèques d'exemples.

MSI

Mise en Service Industriel

Objectif de dose

Valeur de dose collective ou individuelle introduite dans la démarche d'optimisation qu'une source déterminée peut délivrer aux travailleurs. Elle peut être fondée sur l'expérience de l'installation, d'installations similaires ou fixée volontairement.

Opération (selon l'article R237 du code du travail et selon le référentiel DPN)

Terme générique : Une ou plusieurs prestations de services ou de travaux réalisées par une ou plusieurs entreprises afin de concourir à un même objectif.

Selon le référentiel DPN, une opération est un ensemble :

- D'activités structurées par un Ordre d'Intervention (OI) de SYGMA pour la maintenance, un Dossier d'Intervention (DI) pour les modifications, un Dossier de Réalisation de Travaux (DRT) ou un Dossier National de Réalisation de Travaux (DNRT) pour les activités de maintenance nationale ;
- D'activités structurées par une gamme ou un mode opératoire pouvant s'apparenter à un OI (gamme de lignage, dossier d'activité conduite, activité de déconstruction, gamme classement/déclassement RP ...) ;
- D'activités non structurées par une gamme ou par un mode opératoire (activités de logistique, de laverie, de conduite, de direction, de chimie, d'essai...) ;
- D'activités de déconstruction structurées par un dossier de réalisation se déroulant en zone contrôlée ou surveillée (telles que définies dans le thème « Maîtrise des zones.... » du référentiel RP).

Opération connexe

Terme usuel : Une opération de maintenance ou de modification en zone contrôlée est généralement constituée :

- De l'opération conçue par la maîtrise d'ouvrage ou d'œuvre de conception ;
- Des opérations connexes.

Dans ce document, les opérations connexes sont les actions nécessaires à la réalisation de l'opération non réalisées par le titulaire :

- Actions de réduction des doses réalisées par le CNPE,
- Opérations nécessaires à la réalisation de l'opération, conçues et réalisées par le CNPE (calorifuge, échafaudages, sas de confinement...) ou un tiers, pour d'autres raisons que la radioprotection,
- ...

PANTHERE

Acronyme de Prévision et ANalyse THéorique de l'Exposition dans les Réacteurs. Code de calcul permettant de déterminer les débits d'équivalent de dose et les flux de rayonnements gamma pour des installations industrielles complexes. Il permet de faire une modélisation en 3D des géométries des installations.

Périmètre de l'opération

Dans la plupart des cas, une intervention est fractionnée en plusieurs opérations confiées à différents acteurs (EDF ou prestataires). Avant tout analyse d'optimisation, il est nécessaire d'identifier le périmètre propre à l'opération (locaux concernés, limites de chantier...) et les différents responsables.

PCR

Personne Compétente en Radioprotection

Poste de travail

Un poste de travail caractérise l'emplacement où séjourne majoritairement un intervenant pour réaliser une tâche élémentaire. Par définition, il est normalisé à 0,5 mètre face à l'organe (outillage) sur lequel est effectué la tâche. En l'absence de spécification, il est situé à 1,2 mètre de hauteur vis-à-vis d'un plancher normalement accessible.

Il est nécessaire de différencier le poste de travail (géographique) qui rentre en compte dans la démarche d'optimisation, de celui défini par le code du travail et assimilable au métier d'une personne.



PREVAIR

Acronyme de Prévention et Analyse des Interventions sous Rayonnements (ionisants). Nom du système d'information dosimétrique d'EDF.

PZR

Pressuriseur

REX

Retour d'expérience

SYGMA

Acronyme de Système de Gestion de la Maintenance. Application de gestion de la maintenance des installations nucléaires.

Tâche élémentaire

Terme usuel : c'est le plus petit élément d'analyse dosimétrique. C'est à une tâche élémentaire que sont rattachés le débit d'équivalent de dose, le volume de travail exposé et le coefficient d'exposition.

TTS

Tranche Tête de Série

UTO

Unité Technique Opérationnelle

Abréviation des systèmes élémentaires

RCP : Circuit primaire (pressuriseur inclus)

RCV : Circuit de contrôle volumétrique et chimique

RIS : Circuit d'injection de sûreté

RPE : Circuit de purges événements et exhaures nucléaires

RRA : Circuit de réfrigération à l'arrêt

PTR : Traitement et réfrigération des piscines

Annexe 6 - REFERENCES

- [1] A. Quiot, Cahier des Clauses Techniques Générales de Radioprotection pour les chantiers de maintenance nationale, CCTG RP UTO, D4507050828, indice 0, juillet 2005.
P. Lavabre et P. Ridoux, Spécifications Générales de Radioprotection, Note CIPN, EMEMM050893, indice A, 2006.
- [2] H. Bertin, Guide pratique d'analyse de risque radiologique « guide AD2R », Note UTO, D450707/0077, indice 0, décembre 2006.
- [3] P. Le Genti, A. Quiot, Mise en œuvre de PREVAIR sur les chantiers de maintenance nationale, Note UTO, D4507070249, indice 0, janvier 2007.
- [4] Maîtrise de la dimension radioprotection des chantiers de maintenance à maîtrise d'ouvrage UTO, Note UTO, D4507000723, indice 2, septembre 2004.
- [5] P. Lavabre et P. Ridoux, Processus d'optimisation de la radioprotection en phases d'études et de réalisation, Note CIPN, EMECM020098, indice B, 2003.
- [6] JL. Bouchet, F. Renard, J. Vigier, Guide méthodologique des études de radioprotection par simulation des débits de dose, Note R&D, H-T59-2006-03801-FR, 2006.
- [7] C. Schieber, Optimisation de la radioprotection et organisation du travail, Rapport CEPN 227, 1994.
- [8] A. Despres *et al.*, Informations souhaitables en vue de l'évaluation de l'optimisation, Journées SFRP, La Rochelle, 9-10 juin 1998.
- [9] Y. Beneteau, Note d'organisation du Comité ALARA au CNEN, juin 2005.
- [10] C. Andrieu, Base de données d'activité déposée dans les circuits destinée aux calculs de radioprotection – Paliers 900 et 1300, Note SEPTEN, ENT-TR/01-001235, indice 1.
- [11] P. Ridoux, Principes du module de calage des sources radioactives de PANTHERE, Note SEPTEN, ENT-TH/93-075A, version 1.
- [12] A. Quiot, I. Ducher Peron, Dimension radioprotection dans les marchés de l'UTO : valorisation de la performance dans le domaine de la radioprotection, Note UTO, D4507020704, indice 1, juillet 2004.
- [13] M.C. Perrin, Guide d'application des valeurs monétaires de l'unité de dose évitée pour les options d'assainissement de protection, Note SEPTEN, ENSNEA40056A, 2004.