



RAPPORT N° 240

**Mise en oeuvre du principe ALARA sur un chantier
d'installation de cuves d'entreposage
d'effluents de très haute activité**

P. LIVOLSI, C. LEFAURE

Juin 1996

Contrat CEA n°0130 4ACEPN00/SE

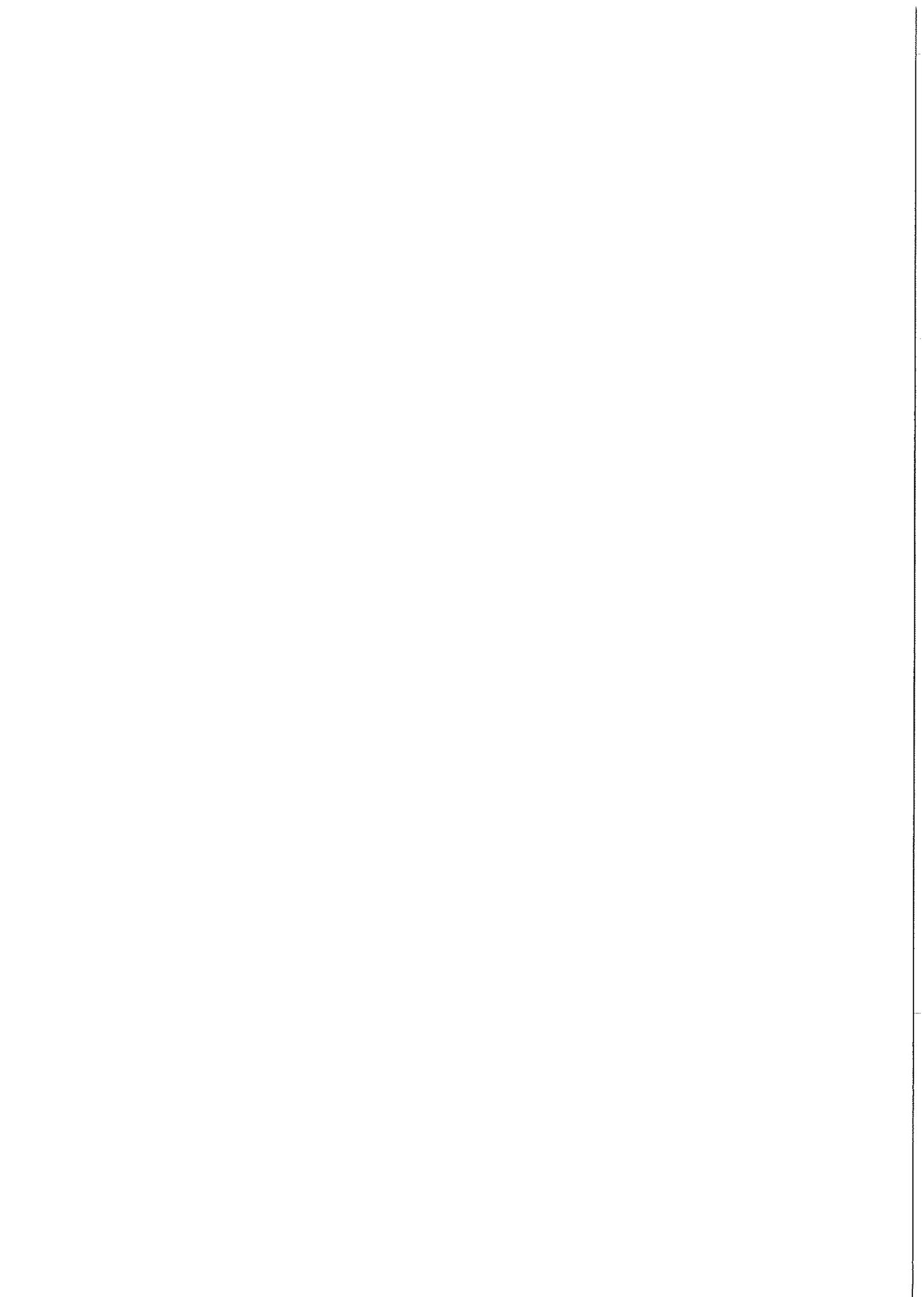
RÉSUMÉ

La mise en oeuvre du principe ALARA sur le chantier d'installation de nouvelles cuves d'entreposage d'effluents de Très Haute Activité (THA) dans l'Installation Nucléaire de Base 57 (INB 57) a constitué une première sur le site du CEA de Fontenay-aux-Roses. La direction de ce site ayant exprimé la volonté de voir cette démarche se généraliser a décidé de l'expérimenter sur ce chantier. La préparation du chantier a donc revêtu un caractère doublement pédagogique : il s'agissait non seulement de permettre aux acteurs (Section Radioprotection (SRP), exploitant, maître d'ouvrage...) de s'approprier la méthodologie et les outils ALARA mais aussi de démontrer que cette méthodologie était applicable sur des "petits chantiers", non répétitifs, comme ce sera le cas pour de nombreux chantiers de démantèlement sur les installations de recherche du CEA dans les années à venir. Compte tenu de ce caractère pédagogique, il est apparu utile d'affiner la démarche plus que ne le justifiait l'ampleur du problème dosimétrique (36 hommes mSv et 3 500 heures de travail exposé). Il est aussi apparu approprié de tracer le travail effectué et de rédiger ce rapport qui décrit en détail toute la logique suivie :

- détermination d'options de protection lors d'une revue de projet,
- modélisation avec le logiciel de prévision, de suivi et d'analyse de la dosimétrie opérationnelle (DOSIANA),
- utilisation de méthodes d'aide à la décision s'appuyant sur le concept de valeur monétaire de l'homme-sievert,
- détermination de l'option optimale à l'aide d'analyses technico-économiques utilisées dans le logiciel OPTI-RP.

En pratique, l'approche ALARA est apparue tout à fait pertinente pour ce type de chantier, et l'étude a montré que la préparation ALARA permettait dans le cas présent de réduire conjointement les coûts (- 186 kF) et les doses (- 16 %) par une meilleure anticipation et organisation du travail.

Cette étude a aussi montré qu'une bonne définition des coûts était fondamentale : l'option optimale est différente selon que l'on prend en compte seulement les coûts d'investissement et d'exploitation directs, ou que l'on y ajoute l'impact sur les coûts d'exploitation du reste du chantier.



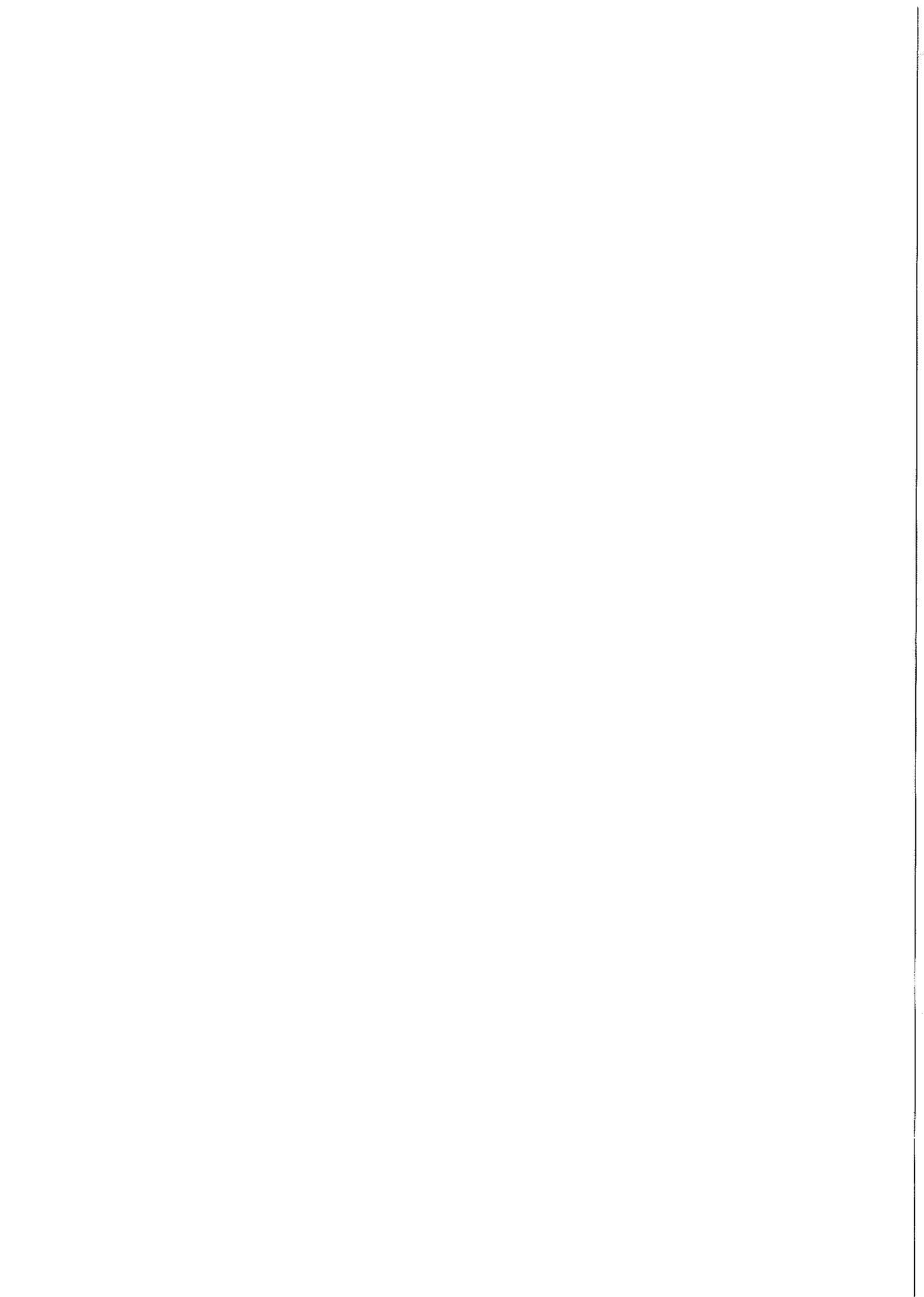
SOMMAIRE

RESUME	i
LISTE DES TABLEAUX	v
1. INTRODUCTION	1
2. LA DEMARCHE ALARA	3
2.1. Les outils de la démarche ALARA	4
2.2. L'analyse du chantier et la version de référence	5
2.2.1. Les zones d'intervention	7
2.2.2. Les débits de dose	7
2.2.3. Les temps d'exposition	7
2.2.4. Le nombre d'opérateurs	7
2.2.5. Le coefficient d'exposition	7
2.2.6. Les sources	8
2.2.7. Résultats de la modélisation de la version de référence	8
2.2.7.1. <i>EAD et doses collectives</i>	9
2.2.7.2. <i>EAD et temps d'exposition</i>	9
2.2.7.3. <i>EAD et débit de dose moyen</i>	10
2.2.7.4. <i>Spécialités et doses collectives</i>	11
2.2.7.5. <i>Entreprises et doses collectives</i>	12
2.2.7.6. <i>Doses collectives des zones et débits de dose</i>	13
2.2.7.7. <i>Doses collectives et conditions de travail</i>	14
2.2.7.8. <i>Temps d'exposition et conditions de travail</i>	15
2.3. L'identification et la quantification dosimétrique des actions de radioprotection	16
2.3.1. Option évoquée, éliminée sans quantification	16
2.3.2. Options retenues pour la quantification	16
2.3.3. Option 1 : modification des opérations sur le coffret CIRCE	17
2.3.4. Option 2 : mise en place d'éclairages supplémentaires	18
2.3.5. Option 3 : réalisation d'une zone de préparation	18
2.3.6. Options 4 à 7 : combinaisons des trois options de base	19

2.4.	La quantification des coûts liés aux options de radioprotection et la sélection de l'option optimale	20
2.4.1.	Les coûts d'investissement liés aux différentes options	21
	2.4.1.1. <i>Option 1 : modification des opérations sur le coffret CIRCE</i>	21
	2.4.1.2. <i>Option 2 : mise en place d'éclairages supplémentaires</i>	21
	2.4.1.3. <i>Option 3 : réalisation d'une zone de préparation</i>	22
	2.4.1.4. <i>Options 4 à 7 : combinaisons des différentes options</i>	22
	2.4.1.5. <i>Sélection de l'option optimale sur la base des doses collectives et des coûts d'investissement</i>	22
2.4.2.	Les coûts d'exploitation directs liés aux options	23
	2.4.2.1. <i>Option 1 : modification des opérations sur le coffret CIRCE</i>	24
	2.4.2.2. <i>Option 2 : mise en place d'éclairages supplémentaires</i>	24
	2.4.2.3. <i>Option 3 : réalisation d'une zone de préparation</i>	24
	2.4.2.4. <i>Options 4 à 7 : combinaisons des différentes options</i>	24
	2.4.2.5. <i>Sélection de l'option optimale sur la base des doses collectives, des coûts d'investissement et des coûts d'exploitation directs</i>	25
2.4.3.	Impact des options sur les autres coûts d'exploitation du chantier (coûts d'exploitation indirects)	25
	2.4.3.1. <i>Option 1 : modification des opérations sur le coffret CIRCE</i>	25
	2.4.3.2. <i>Option 2 : mise en place d'éclairages supplémentaires</i>	25
	2.4.3.3. <i>Option 3 : réalisation d'une zone de préparation</i>	26
	2.4.3.4. <i>Options 4 à 7 : combinaisons des différentes options</i>	26
	2.4.3.5. <i>Sélection de l'option optimale sur la base des doses collectives, des coûts d'investissement et des coûts d'exploitation directs et indirects</i>	27
2.5.	L'analyse de sensibilité	28
3.	CONCLUSION	29
4.	RÉFÉRENCES	31

LISTE DES FIGURES ET TABLEAUX

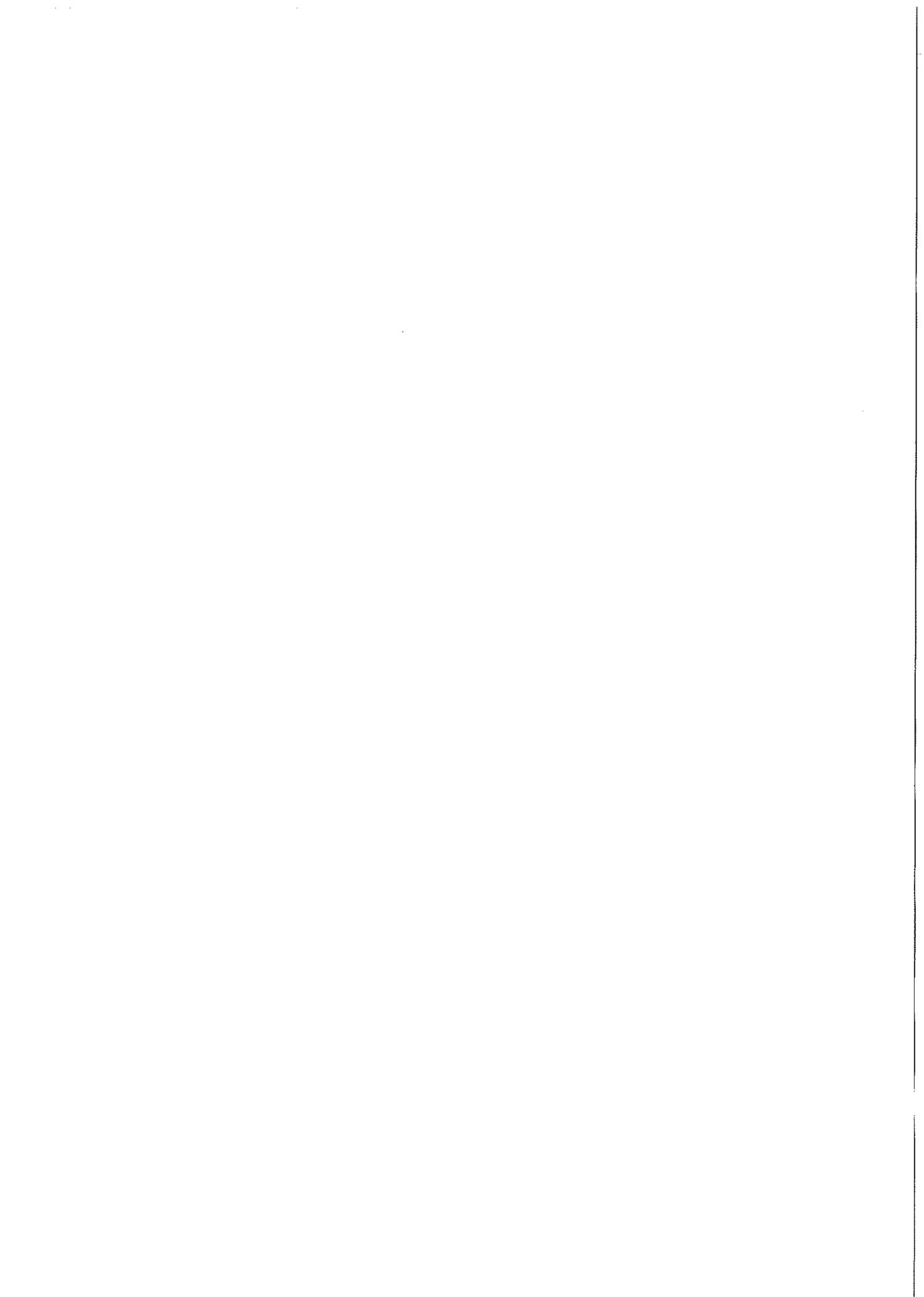
Figure 1.	La procédure ALARA	3
Tableau 1.	Doses collectives et temps d'exposition répartis par phase	8
Tableau 2.	Contribution relative des 4 EAD les plus pénalisants à la dose collective	9
Tableau 3.	Contribution relative des 4 EAD les plus pénalisants en temps d'exposition	9
Tableau 4.	Contribution relative des débits de dose moyens les plus pénalisants	10
Tableau 5.	Doses collectives par spécialité et par phase	11
Tableau 6.	Doses collectives par entreprise et par phase	13
Tableau 7.	Doses collectives par zone et débit de dose	14
Tableau 8.	Doses collectives par phase et par tenue	15
Tableau 9.	Temps d'exposition par phase et par tenue	15
Tableau 10.	EAD 2133 de 0REFERENCE et débit de dose d1COFOUV	17
Tableau 11.	EAD 2133 de 1CIRCE et débit de dose d1COFOUV	17
Tableau 12.	Ecart (%) des options par rapport aux doses collectives de la référence	20
Tableau 13.	Coûts d'investissement liés aux différentes options	22
Tableau 14.	Coûts d'exploitation directs des différentes options	25
Tableau 15.	Impact des différentes options sur les coûts d'exploitation indirects du chantier	27
Tableau 16.	Bilan des coûts des différentes options	27



1. INTRODUCTION

Ce rapport présente les résultats de la mise en oeuvre de la démarche ALARA appliquée au chantier d'installation des nouvelles cuves de stockage d'effluents liquides de Très Haute Activité (THA) dans l'Installation Nucléaire de Base 57 (INB 57).

Ce chantier de taille modeste (environ 3500 heures d'exposition), réalisé dans des zones où règnent des débits de dose relativement faibles, doit être considéré comme un chantier pilote pour la mise en oeuvre de la méthode ALARA. En effet, ce chantier est le premier "chantier ALARA" réalisé sur le centre CEA de Fontenay-aux-Roses où la direction a exprimé la volonté de voir appliquer et se généraliser la mise en oeuvre de la démarche ALARA. Ce chantier a été l'occasion pour les différents acteurs de s'approprier la méthodologie et les outils associés à cette démarche. La dimension pédagogique de cette opération a entraîné un investissement en temps non négligeable pour les différents acteurs. Pour ce chantier dont la dose collective est estimée à 36 homme-mSv avant optimisation, la mise en oeuvre de la démarche ALARA, dans sa phase prévisionnelle, conduit à un gain potentiel de 6 homme-mSv soit environ 16% de la dose collective initiale.



2. LA DÉMARCHE ALARA

La préparation du chantier est l'étape primordiale de la mise en oeuvre du principe ALARA. Une analyse détaillée des opérations permet à la fois d'identifier les opérations pénalisantes, d'imaginer des actions de radioprotection et de décider celles qu'il convient de retenir en vue de maintenir les expositions à un niveau "aussi bas que raisonnablement possible, compte tenu des facteurs économiques et sociaux".

Le principe ALARA s'appuie sur la mise en oeuvre systématique d'une démarche prédictive dont le niveau de formalisme est directement lié au niveau de complexité du chantier et/ou à son ampleur. Cette démarche, souvent appelée "procédure ALARA" (cf. Figure 1), permet d'identifier, de quantifier et de sélectionner les actions de radioprotection susceptibles d'être réalisées pour réduire les expositions tant individuelles que collectives à un niveau qualifié de raisonnable. Ce niveau est directement lié au système de valeurs monétaires de référence de l'homme-mSv qui correspond en fait à ce que l'entreprise considère comme raisonnable de dépenser au maximum pour économiser 1 homme-mSv en fonction du niveau d'exposition individuel.

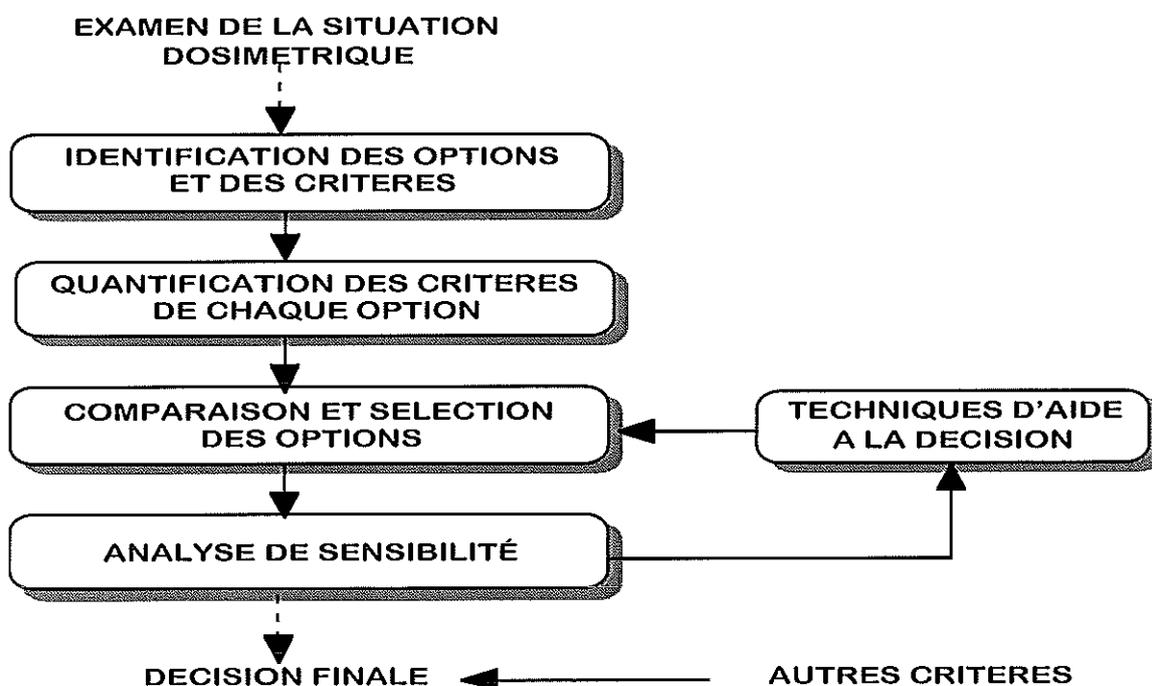


Figure 1. La procédure ALARA

2.1. Les outils de la démarche ALARA

La mise en oeuvre de la démarche ALARA est facilitée par l'existence d'outils d'utilisation simple. Dans le déroulement de cette étude, et compte tenu de la dimension pédagogique de ce chantier, les outils suivants ont été utilisés :

- Les check-list ALARA. Dans le cadre de revues de projet radioprotection qui regroupent les divers acteurs concernés, cette liste de questions a permis de s'interroger sur les moyens de réduire les différentes composantes des expositions (temps d'exposition et organisation du travail, débit de dose, nombre d'intervenants...) et d'éviter l'oubli d'actions nécessaires pour un bon déroulement du chantier sous l'angle de la radioprotection.
- Le logiciel DOSIANA a permis la prévision et l'analyse de la dosimétrie opérationnelle de toutes les tâches et la quantification des différentes options de radioprotection. Il est à noter que durant la phase de réalisation du chantier, l'utilisation du module de suivi de DOSIANA permettra l'analyse en temps réel de l'évolution de la dosimétrie collective et l'engagement éventuel d'actions correctives. Le suivi du chantier sera d'autant plus facilité que le site de Fontenay-aux-Roses s'est doté d'une part, de nouveaux dosimètres électroniques et, d'autre part, a développé un logiciel de gestion de la dosimétrie opérationnelle des travailleurs.
- Le logiciel OPTI-RP, a permis d'associer les résultats de la quantification dosimétrique réalisée avec DOSIANA, avec les coûts d'investissement et d'exploitation correspondant à chaque action de radioprotection modélisée. L'utilisation de techniques d'aide à la décision de type "analyse des coûts raisonnables" a permis d'aider à l'identification rapide de l'option optimale parmi l'ensemble d'options envisagées, en prenant en compte le système de valeurs de référence de l'homme-sievert actuellement utilisé en France.

L'étude a été menée en suivant les différentes étapes de la procédure ALARA. La première réunion plénière a permis d'amorcer l'analyse du chantier sous l'aspect dosimétrique. A l'occasion de la formation au logiciel DOSIANA à laquelle participaient des agents du Service de Protection contre les Rayonnements et Environnement (SPRE), le représentant du maître d'oeuvre et du maître d'ouvrage, l'analyse du chantier fut complétée par la modélisation et les premières analyses des estimations dosimétriques. Les deuxième et troisième réunions plénières ont permis de critiquer et d'enrichir la modélisation du chantier, en utilisant entre autres, des questions issues des check-lists ALARA.

2.2. L'analyse du chantier et la version de référence

L'analyse du chantier est la première étape de la procédure ALARA. Cette étape consiste, dans un premier temps, à s'interroger sur le retour d'expérience existant, relatif à des actions de même type déjà entreprises et, dans un deuxième temps, à décomposer le chantier en tâches élémentaires. Dans le cas d'une opération répétitive, une analyse critique des chantiers antérieurs permet de faire ressortir les mauvaises et les bonnes pratiques de radioprotection. Ces dernières, de coûts faibles, voire nuls, réduisent significativement l'exposition collective du chantier et doivent donc être mises en œuvre. Dans le cas d'un chantier unique ou réalisé pour la première fois, l'analyse fine de l'opération à réaliser en vue de l'établissement d'un prévisionnel dosimétrique est une étape incontournable de la démarche ALARA.

Dans le cadre de cette étude, l'objectif du chantier est d'installer deux nouvelles cuves d'entreposage d'effluents liquides THA en attente d'évacuation vers l'Atelier de Vitrification de Marcoule. A ces deux cuves viennent s'ajouter trois tuyauteries qui seront installées dans les galeries de l'INB entre l'installation POLLUX et les deux cuves. Ces trois tuyauteries seront enveloppées par une coquille de plomb afin d'atténuer l'intensité des rayonnements émis, tant en phase de vidange qu'en exploitation normale de l'installation.

Un premier prévisionnel dosimétrique a été obtenu suite à une modélisation sous DOSIANA du chantier. Cette première modélisation (appelée version de référence) a été effectuée par un groupe de travail regroupant le maître d'ouvrage, le maître d'œuvre, les responsables du SPRE et le CEPN. La modélisation de ce chantier a été conduite par le CEPN avec le souci constant de respecter l'enclenchement temporel des différentes opérations et d'offrir le maximum de lisibilité à l'aide d'une représentation arborescente (cf. ANNEXES A, B, C et D).

Le logiciel DOSIANA a permis de modéliser rapidement et facilement le prévisionnel dosimétrique du chantier en le découpant en opérations plus ou moins importantes. Dans la première phase de modélisation, un découpage grossier des opérations a été établi compte tenu des données disponibles. Au fur et à mesure que des données plus détaillées arrivaient, un découpage plus précis a été réalisé. Ce découpage correspond au niveau de décomposition maximal de l'arborescence d'un chantier : version, phase, sous-phase, activité et Élément d'Analyse Dosimétrique (EAD).

Les résultats de calculs du module PRÉVISIONNEL de DOSIANA sont de trois types :

- **La dose collective** résultat de la formule : $S = \sum_1^n [t \times ddd \times n] \times k$

où :

- S est la dose collective exprimée en milli-sievert (mSv),
- t est le temps d'exposition individuel exprimé en heure (h),
- ddd est le débit de dose de la zone où se déroule l'opération, exprimé en milli-gray par heure (mGy/h),
- n correspond à l'effectif de l'équipe réalisant l'opération,
- k est un facteur de pondération du débit de dose. Il permet, par exemple, de prendre en compte le positionnement de l'opérateur par rapport à la source d'émission des rayonnements.

Ces résultats de dose collective sont disponibles pour :

- une tâche particulière, une activité, une phase, ... ou le chantier dans son ensemble. En effet, la dose collective calculée au niveau de l'EAD est ensuite sommée aux doses collectives des autres EAD de la même activité. La dose collective de l'activité est ensuite sommée à celles des autres activités d'une même sous-phase et ainsi de suite jusqu'à l'obtention de la dose collective de la version,
 - une zone particulière ou l'ensemble des zones,
 - un débit de dose particulier ou l'ensemble des débits de dose,
 - une spécialité de travailleurs,
 - une entreprise...
- **Le temps d'exposition** ou volume de travail exposé, correspond au temps de travail passé dans une zone où règne un débit de dose significatif. Les temps de pause hors zone ne sont donc pas comptabilisés. Les résultats en terme de temps d'exposition sont eux aussi disponibles par tâche, zone, spécialité, entreprise...
 - **Le nombre minimum d'intervenants** nécessaires à la réalisation du chantier compte tenu d'une "contrainte de gestion dosimétrique" spécifique à chaque spécialité d'opérateur. Ce nombre est obtenu en divisant la dose totale de la spécialité par une "contrainte dosimétrique" définie pour cette spécialité.

2.2.1. Les zones d'intervention

Le chantier a été découpé en plusieurs phases correspondant chacune à un groupe de tâches élémentaires. Nous avons distingué à l'intérieur des trois phases principales du chantier (INSTALLATION, OPÉRATION, REPLI), les localisations géographiques où se déroulent les opérations afin d'analyser la dose collective reçue dans les différentes zones du chantier (cf. ANNEXE E).

2.2.2. Les débits de dose

Les valeurs des débits de dose utilisés pour la modélisation du chantier ont été fournies par le Service de Protection contre les Rayonnements et Environnement. Ces valeurs sont extraites des cartographies détaillées réalisées avant le début des travaux.

Une estimation du débit de dose au contact des tuyauteries existantes dans les galeries sans leurs protections de plomb, a été réalisées par les SPRE de Marcoule et de Fontenay-aux-Roses. La modélisation de la configuration du circuit a été réalisée avec le logiciel Microshield® et les résultats ont ensuite été intégrés dans DOSIANA.

2.2.3. Les temps d'exposition

Les temps d'exposition ont été fournis par le maître d'ouvrage en collaboration avec le maître d'oeuvre. Des corrections sur ces temps ont été apportées dans les dernières phases de modélisation du chantier sous DOSIANA. Certains temps d'exposition ont été extrapolés et correspondent à une évaluation majorante de la durée totale d'intervention.

2.2.4. Le nombre d'opérateurs

L'effectif a été renseigné à chaque fois que la composition de l'équipe était connue. Dans le cas contraire, un seul individu a été considéré pour la description de l'EAD.

2.2.5. Le coefficient d'exposition

Pour l'ensemble des EAD, la valeur retenue pour le coefficient d'utilisation du débit est égale à 0,7 soit 70% de la valeur du débit de dose. Cette minoration correspond à une valeur moyenne qui découle du retour d'expérience de FRAMATOME et d'EDF sur un grand nombre de chantiers [1, 2].

2.2.6. Les sources

Les sources d'exposition des opérateurs sont de deux types : exposition externe et exposition interne. Dans le cas de l'exposition interne, des mesures sont prises pour que cette exposition demeure nulle : travail dans des sas en confinement dynamique, port d'Appareil de Protection des Voies Respiratoires Filtrant (APVRF), dispositif de mesure en continu du niveau de contamination atmosphérique. Cette contribution réputée nulle, n'est pas prise en compte dans le cadre de la modélisation du prévisionnel dosimétrique de ce chantier où seule l'exposition externe est intégrée.

Les différentes sources d'exposition externe correspondent soit à des débits de dose ambiants présents dans les différents locaux, soit à des "points chauds" dont la localisation a été identifiée.

2.2.7. Résultats de la modélisation de la version de référence

La prévision de dose collective totale du chantier pour la version de référence est de 36 h.mSv pour environ 3500 heures de travail exposé. Le Tableau 1 donne les résultats par phase : la phase la plus coûteuse en dose correspond à la réalisation de l'opération elle même (phase 2 OPERATION).

Tableau 1. Doses collectives et temps d'exposition répartis par phase

PHASE	DOSE	
	COLLECTIVE (h.mSv)	TEMPS D'EXPOSITION (h)
INSTALLATION	2,58	346,4
OPERATION	31,21	2947
REPLI	1,95	124
TEST	0,26	52
TOTAL	36,01	3469,4

Afin d'envisager en priorité des actions de radioprotection là où un gain dosimétrique significatif peut être réalisé, l'analyse présentée ci-après est tout d'abord focalisée sur les tâches élémentaires (EAD). L'analyse a été menée à partir des données issues d'un document de référence CEA [3].

2.2.7.1. EAD et doses collectives

L'analyse des doses collectives associées aux EAD permet de mettre en exergue 4 EAD dont les doses totalisent plus de 50% de la dose collective du chantier. Ces EAD correspondent respectivement aux opérations :

- de retrait des protections biologiques sur les tuyauteries existantes (2221PROTB),
- de raccordement des tuyauteries sur la BAG de prise d'échantillon (2132RACCO),
- d'installation des nouvelles tuyauteries (2231TUYAU),
- de déplacement du coffret de relevage CIRCE (2133CIRCE).

Tableau 2. Contribution relative des 4 EAD les plus pénalisants à la dose collective

PHASE	SOUS-PHASE	ACTIVITÉ	EAD	DOSE (h.mSv)	% VERSION	DURÉE (h)	EFFECTIF
2OPERATIO	22GALERIE	222DEMANT	2221PROTB	5,6	15,5	80	2
2OPERATIO	21HALL30	213BAG	2132RACCO	5,04	14	12	3
2OPERATIO	22GALERIE	223TUYAUT	2231TUYAU	4,62	12,8	1320	4
2OPERATIO	21HALL30	213BAG	2133CIRCE	3,78	10,5	54	5

Toute action de protection visant ces tâches élémentaires peut avoir pour corollaire une réduction significative de la dose collective du chantier. Il s'agit donc maintenant de voir quels sont les facteurs les plus importants pour ces EAD : le temps d'exposition ou le débit de dose.

2.2.7.2. EAD et temps d'exposition

Le Tableau 3 regroupe les 4 EAD dont les temps d'exposition sont les plus longs et totalisent 62% du temps d'exposition de l'ensemble du chantier. Il est à noter que seul l'EAD d'installation de tuyauteries (2231TUYAU) est à la fois un EAD pénalisant en terme de temps d'exposition et en terme de dosimétrie collective. Agir sur le temps d'intervention de cet EAD devrait donc permettre une réduction significative de la dose collective.

Tableau 3. Contribution relative des 4 EAD les plus pénalisants en temps d'exposition

PHASE	SOUS-PHASE	ACTIVITÉ	EAD	DOSE (h.mSv)	DURÉE (h)	% TPS DE VERSION	EFFECTIF
2OPERATIO	22GALERIE	223TUYAUT	2231TUYAU	4,62	1320	38,0	4
2OPERATIO	22GALERIE	223TUYAUT	2232PROTB	1,4	400	11,5	3
2OPERATIO	21HALL30	212CUVES	2121LECHE	1,96	280	8,1	5
2OPERATIO	22GALERIE	221DECONT	2211DECON	0,56	160	4,6	2

2.2.7.3. EAD et débit de dose moyen

DOSIANA permet de calculer le débit de dose moyen dans lequel est réalisé une opération. Ce débit de dose moyen intègre la pondération due au coefficient d'exposition. Ce débit de dose moyen est un indicateur important pour la caractérisation de l'environnement radiologique du chantier. Dans le Tableau 4 on remarque que la forte dose de l'EAD raccordement des tuyauteries sur la BAG de prise d'échantillons correspond à un travail de faible durée effectué dans l'un des débits de dose moyen les plus importants du chantier. Agir sur ce débit de dose devrait être efficace.

Tableau 4. Contribution relative des débits de dose moyens les plus pénalisants

PHASE	SOUS-PHASE	ACTIVITÉ	EAD	DOSE (h.mSv)	DURÉE (h)	DDD MOYEN (mGy/h)	EFFECTIF
1INSTALLA	12GALERIE	122PREPAR	1222PROTB	0,09	0,17	0,56	2
2OPERATIO	21HALL30	213BAG	2132RACCO	5,04	12,00	0,42	3
2OPERATIO	23POLLUX	232TUYAUT	2322RACCO	2,1	6,00	0,35	1
2OPERATIO	23POLLUX	231DEMANT	2311DEMAN	1,05	3,00	0,35	1

Les deux autres EAD fortement pénalisants en dose (retrait des protections biologiques sur les tuyauteries existantes et opérations afférentes au coffret CIRCE) ne correspondent ni à des débits moyens élevés ni à des durées de tâches particulièrement longues relativement aux autres tâches du chantier.

Une approche complémentaire de l'analyse a conduit à s'interroger sur les points suivants :

- quelles seront les spécialités les plus exposées ? il s'agira alors de déterminer des actions spécifiques vers ces spécialités.
- quels seront les débits de dose qui induisent le plus de doses, même si ces doses collectives correspondent au cumul de petites doses au niveau des tâches ? Il sera alors possible d'envisager des actions pour réduire ces débits de dose. A l'aide des données qui lui ont été fournies, le logiciel DOSIANA permet de répondre à ces questions.

2.2.7.4. Spécialités et doses collectives

La composition de l'équipe d'opérateurs d'un EAD a été détaillée en précisant pour chaque intervenant sa spécialité. Le Tableau 5 indique les doses des différentes spécialités réparties sur les différentes phases du chantier. L'analyse permet de mettre en évidence que deux spécialités totalisent 55% de la dose du chantier : il s'agit des soudeurs et des décontamineurs avec une contribution respective de 28% et 27% à la dose totale du chantier. Il est intéressant de noter que ces deux spécialités interviennent dans les EAD pénalisants en dose identifiés précédemment.

Tableau 5. Doses collectives par spécialité et par phase

DOSE (h.mSv) SPÉCIALITÉS	PHASES				TOTAL
	1INSTALLA	2OPERATIO	3REPLI	4ESSAI/ACT	
AIDE	0,11	0,62			0,74
C.D.TRAV	0,06	0,13			0,18
CHEFCHANT		2,14			2,14
CHEFEQUIP	0,47	0,59			1,06
COMPAGNON	0,22	0,59			0,81
CONTROLEUR	0,14	1,06	0,21	0,01	1,43
DECONTAMI	0,49	8,05	1,13		9,67
EXPLOITAN	0,02				0,02
MANUTENTI	0,33	2,42			2,75
MECANICIE	0,14	1,19			1,33
MONTEUR		0,07			0,07
OPERATEUR				0,19	0,19
SERVITUDE	0,14		0,15		0,29
SOUDEUR	0,43	9,76			10,19
SPR			0,46		0,46
TECHNICIE				0,06	0,06
TUYAUTEUR	0,04	4,59			4,63
TOTAL	2,59	31,21	1,95	0,26	36,01

Remarque : la spécialité retenue dans la modélisation correspond au domaine de compétence sous lequel a été enregistré l'intervenant. Par exemple, la dose d'un individu dont la spécialité est le soudage et qui réalise de façon ponctuelle des opérations de manutention se retrouvera intégrée dans la dose de la spécialité "soudeur".

2.2.7.5. Entreprises et doses collectives

L'entreprise d'appartenance de chaque intervenant a aussi été renseignée au niveau de l'EAD. Il est donc possible de connaître à la fois la dose collective et le volume de travail exposé de chaque entreprise. Ces résultats prennent toute leur signification dans le cas d'un chantier dont la phase de préparation a été menée longtemps à l'avance et à laquelle les entreprises se seraient associées. Toutefois ces informations sont à utiliser avec beaucoup de précautions car il ne faut pas confondre les temps d'exposition et les temps de facturation.

Il apparaît clairement dans cette analyse qu'environ 70% de la dose collective totale du chantier est intégrée par seulement 3 entreprises. Ces entreprises les plus exposées sont le CEA/SAR (assainissement radioactif) et les entreprises 1 et 3 de tuyauterie avec une contribution respective de 27%, 22% et 20%. Il est à noter que lors de l'étude, le nom des entreprises n'était pas connu. Néanmoins la décontraction par entreprise a été autant que faire ce peut respectée lors de la modélisations avec DOSIANA.

Tableau 6. Doses collectives par entreprise et par phase

DOSE (h.mSv)	PHASES				TOTAL
	1INSTALLA	2OPERATIO	3REPLI	4ESSAI/ACT	
ENTREPRISES					
ACPP	0,50	1,89			2,39
CEA-INB57	0,02		0,04	0,07	0,13
CEA-SAR	0,43	8,05	1,09	0,01	9,58
CEA-SPRE	0,04	0,02	0,67	0,01	0,74
CEA/SPHA				0,06	0,06
CERKEM			0,08		0,08
CHAUDRO1	1,26	2,84			4,10
CHAUDRO2		0,04			0,04
ELECTRIQ2		0,39			0,39
PROTBIO		2,52	0,03		2,55
RADIACONT	0,06				0,06
TUYAUTE1	0,28	6,92			7,20
TUYAUTE2		0,53	0,03	0,06	0,62
TUYAUTE3		8,01		0,06	8,06
TOTAL	2,59	31,21	1,95	0,26	36,01

2.2.7.6. Doses collectives des zones et débits de dose

Une analyse des doses collectives intégrées dans les différentes zones, croisées avec les débits de dose permet d'identifier les lieux et les débits de dose associés les plus pénalisants. Ainsi, environ 62% de la dose est prise dans la galerie et dans le caniveau du hall 30. De plus, un tiers de la dose est occasionnée par deux débits de dose de la galerie (DDDMOYEN et DSANSPROT). Il apparaît clairement que toute atténuation de ces débits de dose entraînera une diminution significative des expositions collectives.

Tableau 7. Doses collectives par zone et débits de dose

DOSE (h.mSv) ZONES	Débits de dose											TOTAL
	CON TACT	D1 AMBIANC	D1 COFOUV	D1 CONTUY	D1 DALLE	D2 AMBIANC	D2 COFFERM	D4 TUYOUVE	DDD MOYEN	DSANS PROT	TUYAU S/O	
030GCANIV			3,78				1,03	5,04				9,85
CANISSPOL				2,45		0,09						2,54
FOSSEATTI		4,02										4,02
GALERIE									6,82	5,6		12,42
H30CANIVE		3,49										3,49
H30LABO		0,24										0,24
HALL30		0,02										0,02
MURBAG-PE						0,06						0,06
MURS/O											0,14	0,14
POLLUX		0,29										0,29
PYREX4-1						0,01						0,01
PYREX4-3					0,09							0,09
SSCELLUL	2,8											2,8
SSSOLTR1		0,04										0,04
TOTAL	2,8	8,1	3,78	2,45	0,09	0,16	1,03	5,04	6,82	5,6	0,14	36,01

2.2.7.7. Doses collectives et conditions de travail

Nous avons analysé dans les paragraphes précédents la répartition de la dose collective dans les différentes phases, EAD, spécialités, entreprises, zones et débits de dose. Il est aussi possible d'étudier la répartition de la dose collective en fonction des différentes conditions de travail. Dans cette étude, l'ensemble des types de tenues utilisées ont été regroupées sous le terme de conditions de travail.

La dose collective reçue par des intervenants équipés d'APVRF ou de tenue ventilée représente respectivement 45% et 32% de la dose collective du chantier. Pour une tâche donnée, le fait de travailler avec un appareil de protection des voies respiratoires filtrant ou une tenue ventilée engendre un temps d'exposition supérieur à celui mesuré en tenue universelle. Des actions de radioprotection qui permettraient de travailler en tenue universelle diminueraient le temps d'exposition et donc la dose collective. Le Tableau 8 présente la répartition des doses collectives par phase et par tenue.

Tableau 8. Doses collectives par phase et par tenue

DOSES (h.mSv)	PHASES				TOTAL
	1INSTALLA	2OPERATIO	3REPLI	4ESSAI/ACT	
TENUES					
APVRF	0,49	14,14	1,56	0,01	16,21
UNIVERSEL	2,08	5,52	0,39	0,25	8,23
VENTILEE	0,01	11,55	0	0	11,56
TOTAL	2,58	31,21	1,95	0,26	36,01

2.2.7.8. Temps d'exposition et conditions de travail

L'analyse précédente peut être affinée par l'étude des temps d'exposition associés au port des différentes tenues. L'appareil de protection des voies respiratoires filtrant est porté 64% du temps (temps d'exposition total du chantier) alors que la tenue ventilée n'est portée que 2% du temps. Des axes de réflexion sur ce point devrait conduire à des gains dosimétriques substantiels. Le travail hors "zone à port de masque" devrait permettre de réduire les temps d'exposition et les doses collectives.

Tableau 9. Temps d'exposition par phase et par tenue

Temps en (heures)	PHASES				TOTAL
	1INSTALLA	2OPERATIO	3REPLI	4ESSAI/ACT	
TENUES					
APVRF	63,4	2088	62	4	2217,2
UNIVERSEL	279	788	62	48	1177
VENTILEE	4	71	0	0	75
TOTAL	346,4	2947	124	52	3469,4

En résumé :

L'analyse des prévisions dosimétriques pour la version de référence a permis d'identifier les "gisements" de doses collectives les plus importants et les "facteurs" sur lesquels des actions pourraient être efficaces. Il va donc s'agir de trouver des actions de protection visant à réduire les doses, tout particulièrement en :

- réduisant le temps d'exposition de l'EAD d'installation des tuyauteries,
- agissant sur les débits de dose de l'EAD de raccordement des tuyauteries sur la BAG,
- agissant sur les débits de dose de la galerie et du hall 30,
- réduisant la nécessité du port de l'APVRF.

Cette analyse devra aussi tenir compte du fait que les soudeurs et décontamineurs sont les deux spécialités les plus exposées pendant ce chantier.

2.3. L'identification et la quantification dosimétrique des actions de radioprotection

Dans le cas de ce chantier dont la dose collective est pressentie comme modeste, il ne semblerait pas raisonnable de songer à des options comme par exemple le développement d'outils robotisés spécifiques qui engendrerait des coûts d'investissement surdimensionnés par rapport à la taille et au caractère unique de ce chantier. Par contre dans le cas de chantiers répétitifs ou de plusieurs utilisations possibles d'outils robotisés, il conviendrait alors d'envisager de telles options et la quantification économique prendrait en compte le nombre d'utilisations.

2.3.1. Option envisagée et éliminée sans quantification

L'étude des résultats de la version de référence, tant en terme de dose collective que de temps d'exposition, confirme la nécessité d'entreprendre en priorité des actions sur les EAD identifiés comme pénalisants et qui peuvent être regroupés en deux classes : la première relative aux travaux d'installation et de retrait des tuyauteries dans la galerie et la seconde concernant les travaux autour de la boîte à gant de prise d'échantillons.

Une décontamination par simple rinçage des tuyauteries aurait permis de déloger les "points chauds" positionnés dans les coudes de tuyauteries et de les déplacer vers les cuves. Cette option a été envisagée, mais elle a été d'emblée éliminée, car elle aurait entraîné une augmentation du volume d'effluents liquides à traiter alors que les cuves actuelles sont déjà quasiment pleines et ne peuvent recevoir d'effluents supplémentaires.

2.3.2. Options retenues pour la quantification

L'analyse détaillée des différents résultats de la version de référence a permis au groupe de travail d'identifier plusieurs options de radioprotection possibles. Les options détaillées dans ce chapitre correspondent à des alternatives dont la mise en oeuvre semble être réalisable.

La première modélisation du chantier faisait ressortir 4 options de base et 11 combinaisons d'options (cf. ANNEXE F). Ces options détaillées plus loin concernent :

1. la modification des opérations sur CIRCE
2. la modification des opérations liées aux essais en actif sur la ventilation
3. l'installation d'éclairages supplémentaires dans les zones insuffisamment éclairées
4. la réalisation d'une zone de préparation

Lors de la dernière revue de projet, il a été décidé d'inclure dans la version de référence l'option 2 dont la phase d'essais en actif ne comporte que les tests de la ventilation. Les options présentées dans la suite du rapport ne sont donc plus qu'au nombre de 3 options de base et 4 combinaisons d'options.

2.3.3. Option 1 : modification des opérations sur le coffret CIRCE

L'analyse des résultats de la première modélisation a mis en exergue la part importante de l'exposition collective associée aux opérations de déplacement du coffret de la potence CIRCE. Une première revue de projet et l'utilisation de la check-list ALARA a permis d'établir que l'abandon du déplacement du coffret CIRCE était envisageable et, compte tenu du débit de dose important mesuré à proximité du coffret ouvert, cette action diminuerait significativement la dosimétrie du chantier. En effet, l'exposition collective de cette option est réduite à 33,27 homme.mSv et le gain dosimétrique par rapport à la version de référence est d'environ 8% (2,7 homme.mSv). Au niveau de la modélisation, l'EAD 2133 CIRCE a été modifié de la façon suivante (situation de référence Tableau 10 ; modification: Tableau 11).

Tableau 10. EAD 2133 de 0REFERENCE et débit de dose D1COFOUV

INTERVENANT	ENTREPRISE	SPÉCIALITÉ	COND. DE TRAVAIL	COEFF. D'EXPO.	TEMPS D'EXPO.
1	CEA-SAR	DECONTAMI	VENTILEE	0,7	6h 00m 00s
2	TUYAUTE1	SOUDEUR	VENTILEE	0,7	19h 00m 00s
3	TUYAUTE1	SOUDEUR	VENTILEE	0,7	19h 00m 00s
4	CEA-SAR	DECONTAMI	VENTILEE	0,7	6h 00m 00s
5	PROTBIO	MANUTENTI	APVRF	0,7	4h 00m 00s

Tableau 11. EAD 2133 de 1CIRCE et débit de dose D1COFOUV

INTERVENANT	ENTREPRISE	SPÉCIALITÉ	COND. DE TRAVAIL	COEF. D'EXPO.	TEMPS D'EXPO.
1	CEA-SAR	DECONTAMI	VENTILEE	0,7	3h 00m 00s
2	TUYAUTEI	SOUDEUR	VENTILEE	0,7	4h 00m 00s
5	PROTBIO	MANUTENTI	APVRF	0,7	8h 00m 00s

Cette première action fait épargner 72% de la dose collective initialement prévue pour l'EAD incriminé (2133CIRCE), ce qui correspond à une réduction de la dose collective de 28% dans la zone 030GCANIV. L'impact de cette modification sur la dosimétrie collective des entreprises tuyauterie n°1 et CEA/SAR est une réduction respectivement de 33% et 7%. Les soudeurs, les décontamineurs et les manutentionnaires enregistrent une réduction de leurs doses collectives respectives de 23%, 7 % et 4% pour l'ensemble du chantier.

2.3.4. Option 2 : mise en place d'éclairages supplémentaires

Le chantier d'installation de nouvelles cuves THA requiert de longs travaux dans des zones faiblement éclairées. Les opérations de retrait des anciennes tuyauteries, le tirage et la mise en place des nouveaux tuyaux équipés de protections biologiques ainsi que leurs supportages se déroulent principalement dans les trois zones suivantes : les galeries, le caniveau du hall 30 et le caniveau sous POLLUX. Le volume de travail exposé dans ces trois zones est respectivement égal à 33%, 9% et 7% de la durée totale d'exposition du chantier. Des études du CEPN [4] ont permis de quantifier l'impact d'une amélioration de l'éclairage sur les temps d'intervention. Une diminution des temps d'intervention de l'ordre de 5% à 15% a été quantifiée en fonction de la nature du travail (précis, normal ou pénible) et de l'exiguïté des locaux. L'option 2 modélisée dans DOSIANA correspond à une hypothèse d'installation de projecteurs halogènes, et entraînent une diminution moyenne de 10% des temps d'exposition dans les 3 zones citées ci-dessus. Le gain dosimétrique escompté par l'installation de projecteurs halogènes supplémentaires est d'environ 5% comparativement à la dose du chantier dans son ensemble.

2.3.5. Option 3 : réalisation d'une zone de préparation

L'analyse attentive des temps d'exposition a permis de mettre en évidence un volume de travail important réalisé dans des zones à débits de dose non nuls. Il apparaît clairement que le déplacement d'une partie des travaux des zones à débits de dose non nuls vers des zones à débits de dose très faibles entraînera une diminution substantielle des doses collectives. Pour les opérations de tirage de grandes longueurs de tuyauteries nécessitant des soudures,

l'aménagement d'une zone de travail retirée permettrait de réduire significativement les expositions tant collectives qu'individuelles. Ces opérations de soudure de tuyauteries seraient réalisées dans une zone aménagée à l'entrée du sous-sol. Sous réserve de pouvoir acheminer aisément les tuyauteries assemblées en longueur de 6 mètres, le gain dosimétrique d'une telle action s'élèverait à environ 5%. La dose collective de l'EAD de raccordement des tuyauteries serait alors réduite de 60% et les tuyauteurs enregistreraient une réduction de 26% de leur dose collective.

2.3.6. Options 4 à 7 : combinaisons des trois options de base

Les trois options envisagées précédemment étant presque indépendantes les unes des autres, il est possible d'envisager leur combinaison, ce qui a été fait très facilement avec l'outil DOSIANA. Le Tableau 12 regroupe les résultats dosimétriques de toutes les options y compris les combinaisons des 3 options de base.

Les gains dosimétriques exprimés en % varient de 4,6% à 16,1% pour la combinaison de toutes les options (version 7).

Si seules les considérations dosimétriques sont prises en compte, il apparaît clairement que l'option à mettre en oeuvre est celle qui présente la dose collective la plus faible (option 7). S'arrêter à cette étape reviendrait à réduire au maximum la dose collective compte tenu des options retenues pour la quantification. Dans le cadre de la démarche ALARA, il est indispensable de procéder à une quantification économique de toutes les options et de mettre en balance les coûts des options de radioprotection avec les gains dosimétriques évalués, afin d'identifier l'option optimale.

Avant de passer à cette étape de quantification économique, si l'on compare les résultats du Tableau 12 avec les conclusions de l'analyse dosimétrique de la version de référence, il convient de noter que l'on n'a pas retenu, pour la quantification, d'actions permettant :

- d'agir sur les débits de dose,
- de réduire particulièrement les expositions de deux des EAD pénalisants.

Le Tableau 12 présente de façon synthétique les écarts (en pourcentage) existant entre la dose de la version de référence et celles prenant en compte les différentes options. Seuls les éléments de la version de référence les plus pénalisants en terme de dosimétrie (EAD, zones, débit de dose, entreprises, spécialités et conditions de travail) sont comparés.

Tableau 12. Ecart (%) des options par rapport aux doses collectives de la référence

	Identificateur de l'élément analysé	Version de référence (h.mSv)	Option 1 Modif CIRCE %	Option 2 Eclair. supplé. %	Option 3 Zone de prépar. %	Option 4 = 1+2 %	Option 5 = 1+3 %	Option 6 = 2+3 %	Option 7 = 1+2+3 %
VERSION		36,005	-7,6	-4,6	-4,6	-12,2	-12,2	-8,5	-16,1
EAD	2221PROTB	5,60	0	-10	0	-10	0	-10	-10
	2132RACCO	5,04	0	0	0	0	0	0	0
	2231TUYAU	4,62	0	-10	-60	-10	-60	-55	-64
	2133CIRCE	3,78	-72	0	0	-72	-72	0	-72
ZONE	GALERIE	12,42	0	-9	-22	-9	-22	-29	-29
	H30CANIVE	3,49	0	-10	0	-10	0	-10	-10
	FOSSEATTI	4,02	0	0	0	0	0	0	0
	030GCANIV	9,85	-28	0	0	-28	-28	0	-28
ENTREPRISE	CEA/SAR	9,58	-7	-9	0	-15	-7	-9	-15
	TUYAUTE3	8,06	0	-6	-21	-6	-21	-23	-23
	TUYAUTE1	7,20	-33	2	0	-31	-33	2	-31
	CHAUDRO1	4,10	0	-3	0	-3	0	-3	-3
SPECIALITE	SOUDEUR	10,18	-23	-0,4	0	-24	-23	-0,4	-24
	DECONTAMI	9,67	-7	-9	0	-15	-7	-9	-15
	TUYAUTEUR	4,63	0	-8	-26	-8	-26	-30	-30
	MANUTENTI	2,75	-4	-1	7	9	-5	-5	5
COND. DE TRAVAIL	APVRF	16,21	2	-8	-10	-6	-9	-17	-15
	VENTILEE	11,56	-26	-1	0	-27	-26	-1	-27
	UNIVERSEL	8,23	0	-3	0	-3	0	-3	-3

2.4. La quantification des coûts liés aux options de radioprotection et la sélection de l'option optimale

Ce chapitre est consacré à la quantification des différents coûts correspondant à chaque option. Ces coûts peuvent être répartis en deux catégories : les coûts d'investissements et les coûts d'exploitation. Les coûts d'exploitation peuvent être scindés, d'une part en coûts directs d'exploitation et, d'autre part, en coûts indirects. Les coûts directs d'exploitation correspondent aux dépenses directement associées à la mise en oeuvre d'une pratique de radioprotection. Par ailleurs une action de protection peut avoir un impact indirect sur des coûts d'exploitation ultérieurs (volume de déchets, nombre de tenues utilisées ...) ; on qualifiera ces coûts de coûts d'exploitation indirects. L'option 2 liée à l'éclairage permettra d'illustrer ce type de coûts.

2.4.1. Les coûts d'investissement liés aux différentes options

Il s'agit ici de décrire et d'évaluer les investissements nécessaires pour mettre en œuvre les options de radioprotection considérées. Ces investissements peuvent correspondre à :

- des études supplémentaires,
- un budget de R & D,
- des achats d'outillages et de matériels amortissables ou non sur un seul exercice.

Remarques :

- 1) Dans l'étude, les coûts d'investissement seront amortis sur une seule opération. Si l'amortissement devait être fait sur plusieurs opérations ou plusieurs années, il faudrait prendre en compte le taux d'intérêt et le taux d'actualisation, la durée de vie de l'installation et le nombre d'opérations.
- 2) Dans le cas d'une étude ALARA, la totalité des coûts inhérents à la mise en place d'options de radioprotection doivent être quantifiés et comptabilisés. Pour ce chantier d'installation de nouvelles cuves, il faudrait en toute rigueur intégrer le coût de l'étude ALARA. Comme il est mentionné en introduction, la faible dosimétrie collective de ce chantier et le gain escompté de dose d'environ 16% eu égard au temps et à l'argent investis ne peuvent se concevoir que dans le cas d'un chantier à visées pédagogiques.

2.4.1.1. Option 1 : modification des opérations sur le coffret CIRCE

Pour cette option, un budget d'étude de 63,8 kF a été engagé afin d'affiner l'étude de la boîte à gants et des dispositifs qui s'y rattachent dont la potence CIRCE. Une grande partie de cette étude a été engagée en dehors de toute démarche ALARA ; on fera ici l'hypothèse que seuls 15% des frais d'études sont imputables à la démarche ALARA, soit 9,5 kF. Cette étude complémentaire a induit une révision du design de la BAG et également une réduction du coût d'achat de ce dispositif. Mais l'analyse des modifications du design permet de dire que la révision du design aurait été retenue en dehors de toute préoccupation dosimétrique ; la modification du coût d'achat de la BAG ne sera donc pas prise en compte dans cette étude.

2.4.1.2. Option 2 : mise en place d'éclairages supplémentaires

L'achat d'halogènes supplémentaires correspond à un investissement de 6 kF. Pour cet investissement, une hypothèse d'amortissement sur trois ans a été retenue. Le coût d'investissement imputable à cette option est donc de 2 kF.

2.4.1.3. Option 3 : réalisation d'une zone de préparation

La mise en oeuvre de cette option de radioprotection n'occasionne pas de coût d'investissement. En effet, la zone de repli est réalisée avec du matériel consommable (vinyle et armatures) qui est comptabilisé au niveau des coûts d'exploitation directs.

2.4.1.4. Options 4 à 7 : combinaisons des différentes options

La combinaison des options de radioprotection entraîne la sommation des coûts d'investissement associés à chaque action. Le Tableau 13 regroupe les différents coûts d'investissement des options de base et des combinaisons d'options.

Tableau 13. Coûts d'investissement liés aux différentes options

VERSION	COÛTS D'INVESTISSEMENT (kF)
V1	9,5
V2	2
V3	0
V4 = V1+V2	11,5
V5 = V1+V3	9,5
V6 = V2+V3	2
V7 = V1+V2+V3	11,5

2.4.1.5. Sélection de l'option optimale sur la base des doses collectives et des coûts d'investissement

La sélection de l'option optimale permet d'identifier, parmi un ensemble d'options, celle qui permet de réduire le plus les expositions pour un coût jugé raisonnable au vu d'un système de valeurs monétaires de l'homme-sievert. Le CEA ne disposant pas encore d'un tel système, et afin d'assurer une cohérence dans les décisions prises au sein du secteur nucléaire, le système retenu est celui d'EDF [5]. Dans cette étude, les spécialités se répartissent entre deux classes de dose individuelles annuelles (1-5 mSv et 15-30 mSv), pour lesquelles les valeurs monétaires de l'homme-sievert sont respectivement égales à 500F/h.mSv et 6700F/h.mSv).

La méthode utilisée pour sélectionner l'option est celle du coût raisonnable dans laquelle les options sont d'abord classées par ordre de coûts croissants et où l'on élimine toutes les options dont l'accroissement de coût par rapport à l'option précédente n'entraîne pas de réduction de la dose collective.

Dans un deuxième temps, pour chaque spécialité et chaque option, on peut définir le coût raisonnable à partir du produit de la réduction de la dose collective par la valeur monétaire de l'homme-sievert. Le coût raisonnable total correspond à la somme des coûts raisonnables obtenus pour chaque spécialité.

Dans un troisième temps, on compare l'accroissement de coût réel de chaque option (ou combinaison d'options) par rapport à la précédente avec son accroissement de coût raisonnable. Tant que l'accroissement de coût réel reste inférieur à celui du coût raisonnable, l'option est retenue. L'option optimale est la dernière option retenue.

L'utilisation du logiciel d'évaluation économique OPTI-RP permet de sélectionner aisément et rapidement l'option optimale en utilisant la méthode qui vient d'être décrite ou bien d'autres méthodes d'aide à la décision telles que la méthode coût-bénéfice (plusieurs valeurs monétaires de l'homme-sievert), ou coût-bénéfice différentiel (une seule valeur monétaire homme-sievert). Quelle que soit la méthode utilisée, l'option optimale est identique.

Si les seuls coûts pris en compte étaient les coûts d'investissement, l'option optimale (cf. tableau OPTI-RP ANNEXE G) serait l'option 3 (zone de préparation) qui a un investissement nul. L'option suivante (dans l'ordre des coûts réels croissants) est l'option 2 (installation d'halogènes) ; le surcoût par rapport à l'option 3 n'est que de 2 kF, mais le "surcoût raisonnable" est encore plus faible. Au vu des seuls coûts d'investissement et des gains en doses, seule l'option 3 serait donc mise en œuvre.

2.4.2. Les coûts d'exploitation directs liés aux options

Les coûts d'exploitation directs correspondent aux coûts directement induits par la mise en œuvre de l'option de radioprotection. Ces coûts prennent en compte d'une part, les frais de personnel et, d'autre part, le coût des consommables. Ces derniers correspondent à des matériels et/ou des outillages non amortissables et imputables au seul chantier étudié.

2.4.2.1. Option 1 : modification des opérations sur le coffret CIRCE

Dans le cas de cette option de radioprotection qui consiste en fait à ne pas déplacer le coffret de la potence CIRCE donc à ne pas réaliser une tâche, le coût d'exploitation direct est négatif. En effet, une économie de l'ordre de 35,6 kF sur les coûts salariaux est escomptée par la mise en oeuvre de cette action de radioprotection (le mode de calcul sera détaillé pour les coûts d'exploitation indirects).

2.4.2.2. Option 2 : mise en place d'éclairages supplémentaires

Les coûts d'exploitation associés à cette option correspondent aux coûts salariaux des électriciens installant les halogènes. Le temps de travail exposé des électriciens pour réaliser cette tâche est de 2 heures en tenues normales et de 36 heures en APVRF. Compte tenu du ratio temps de travail facturé/temps de travail exposé, le montant de cette prestation s'élève à 15,7 kF (le mode de calcul sera détaillé pour les coûts d'exploitation indirects).

2.4.2.3. Option 3 : réalisation d'une zone de préparation

Cette option consiste à réaliser une zone de préparation pour le soudage des tubes. Du matériel consommable est utilisé à cette occasion et une équipe locale réalise cette tâche. Dans ce cas, le montant des coûts directs d'exploitation est estimé à 5 kF (source SPR et SRA).

2.4.2.4. Options 4 à 7 : combinaisons des différentes options

La combinaison des options de radioprotection se traduit par la sommation des coûts d'exploitation directs associés à chaque action. Le Tableau 14 regroupe les différents coûts d'exploitation directs des options de base et des combinaisons d'options.

Tableau 14. Coûts d'exploitation directs des différentes options

VERSION	COÛTS D'EXPLOITATION DIRECTS (kF)
V1	-35,7
V2	15,7
V3	5
V4 = V1+V2	-20
V5=V1+V3	-30,7
V6=V2+V3	17,7
V7=V1+V2+V3	-15

2.4.2.5. Sélection de l'option optimale sur la base des doses collectives, des coûts d'investissement et des coûts d'exploitation directs

L'utilisation des techniques d'aide à la décision décrites précédemment conduit maintenant à ne retenir que l'option 1 (modification de CIRCE, cf. tableau OPTI-RP ANNEXE H). En effet, si le coût d'investissement de cette option est élevé, les gains en coûts d'exploitation directs sont encore plus importants, alors que les autres options de base ont des coûts d'exploitation positifs.

2.4.3. Impact des options sur les autres coûts d'exploitation du chantier (coûts d'exploitation indirects)

Les autres coûts d'exploitation (coûts d'exploitation indirects) correspondent aux dépenses ou aux gains consécutifs à la mise en oeuvre de l'option de radioprotection.

2.4.3.1. Option 1 : modification des opérations sur le coffret CIRCE

Cette action n'entraîne pas de coût d'exploitation indirect.

2.4.3.2. Option 2 : mise en place d'éclairages supplémentaires

La mise en place d'éclairage supplémentaire entraîne une diminution du temps d'exposition en APVRF et en tenue ventilée. Cette réduction du temps d'exposition a été quantifiée avec DOSIANA et est exprimée en heure. Il faut faire ici la distinction entre temps de travail

exposé et temps de travail total facturé. Il est clair en effet que la totalité du temps de travail n'est pas passée sur le poste de travail : il y a des temps d'habillage-déshabillage, de briefing et de préparation du matériel, des temps de circulation, voire de pause dans des zones non irradiantes. Des coefficients permettent de passer du temps de travail exposé au temps de travail facturé ; ils intègrent la limitation du temps de travail en APVRF et en tenue vinyle fixées respectivement à 4 heures et 2 heures par jour et permettent de définir le nombre d'homme-postes économisés. Un homme-poste correspondant à 8 heures de facturation, il est alors possible de connaître le montant des coûts d'exploitation indirects liés aux frais de personnel en multipliant les homme-postes économisés par le taux horaire défini pour chaque spécialité, soit un gain de 97,2 kF.

Par ailleurs, le fait de réduire le nombre d'heures en tenues ventilées permet de diminuer le nombre des tenues ventilées achetées puis traitées en tant que déchets, ce qui dans notre exemple reste négligeable (0,1 kF). Le montant total des gains d'exploitation indirects s'élève à 97,3 kF.

2.4.3.3. Option 3 : réalisation d'une zone de préparation

De la même manière, la réalisation d'une zone de préparation pour le soudage des tubes entraîne des gains en coûts d'exploitation relatifs aux frais de personnel puisque le travail (effectué en tenue normale alors qu'il était précédemment en tenue ventilée) est réalisé beaucoup plus rapidement (cf. analyse dosimétrique supra). Ces gains s'élèvent à 85,3 kF.

2.4.3.4. Options 4 à 7 : combinaisons des différentes options

La combinaison des options de radioprotection entraîne la sommation des coûts d'exploitation indirects associés à chaque action. Le tableau 15 regroupe les différents coûts d'exploitation indirects des options de base et des combinaisons d'options.

Tableau 15. Impact des différentes options sur coûts d'exploitation indirects du chantier

VERSION	COÛTS D'EXPLOITATION INDIRECTS (kF)
V1	0
V2	-97,3
V3	-85,3
V4 = V1+V2	-97,3
V5=V1+V3	-85,3
V6=V2+V3	-182,6
V7=V1+V2+V3	-182,6

2.4.3.5. Sélection de l'option optimale sur la base des doses collectives, des coûts d'investissement et des coûts d'exploitation directs et indirects

Le Tableau 16 récapitule l'ensemble des coûts liés à la mise en œuvre des options de base et combinaisons d'options.

Tableau 16. Bilan des coûts des différentes options

VERSION	COÛTS D'INVESTISSEMENT (kF)	COÛTS D'EXPLOIT. DIRECTS (kF)	COÛTS D'EXPLOIT. INDIRECTS (kF)	COÛT TOTAL (kF)
V1	9,5	-35,7	0	-26,2
V2	2	15,7	-97,3	-79,6
V3	0	5	-85,3	-80,3
V4 = V1+V2	11,5	-20	-97,3	-105,8
V5=V1+V3	9,5	-30,7	-85,3	-106,5
V6=V2+V3	2	17,7	-182,6	-162,9
V7=V1+V2+V3	11,5	-15	-182,6	-186,1

Une fois tous ces coûts pris en compte, l'option optimale devient l'option 7 qui est la combinaison des trois options de base (cf. tableau OPTI-RP ANNEXE I).

A l'issue de cette étude, deux remarques doivent être faites :

- Il n'était pas vraiment nécessaire ici d'utiliser des valeurs monétaires de l'homme-sievert puisque toutes les options ont des coûts totaux négatifs et que l'on peut donc réduire conjointement les doses et les coûts. L'option 7 correspond donc à la "meilleure pratique".
- La prise en compte successivement des coûts d'exploitation directs et indirects montre à quel point il est important de ne pas oublier une composante du coût puisqu'à chaque étape c'est une option différente qui a été retenue.

2.5. L'analyse de sensibilité

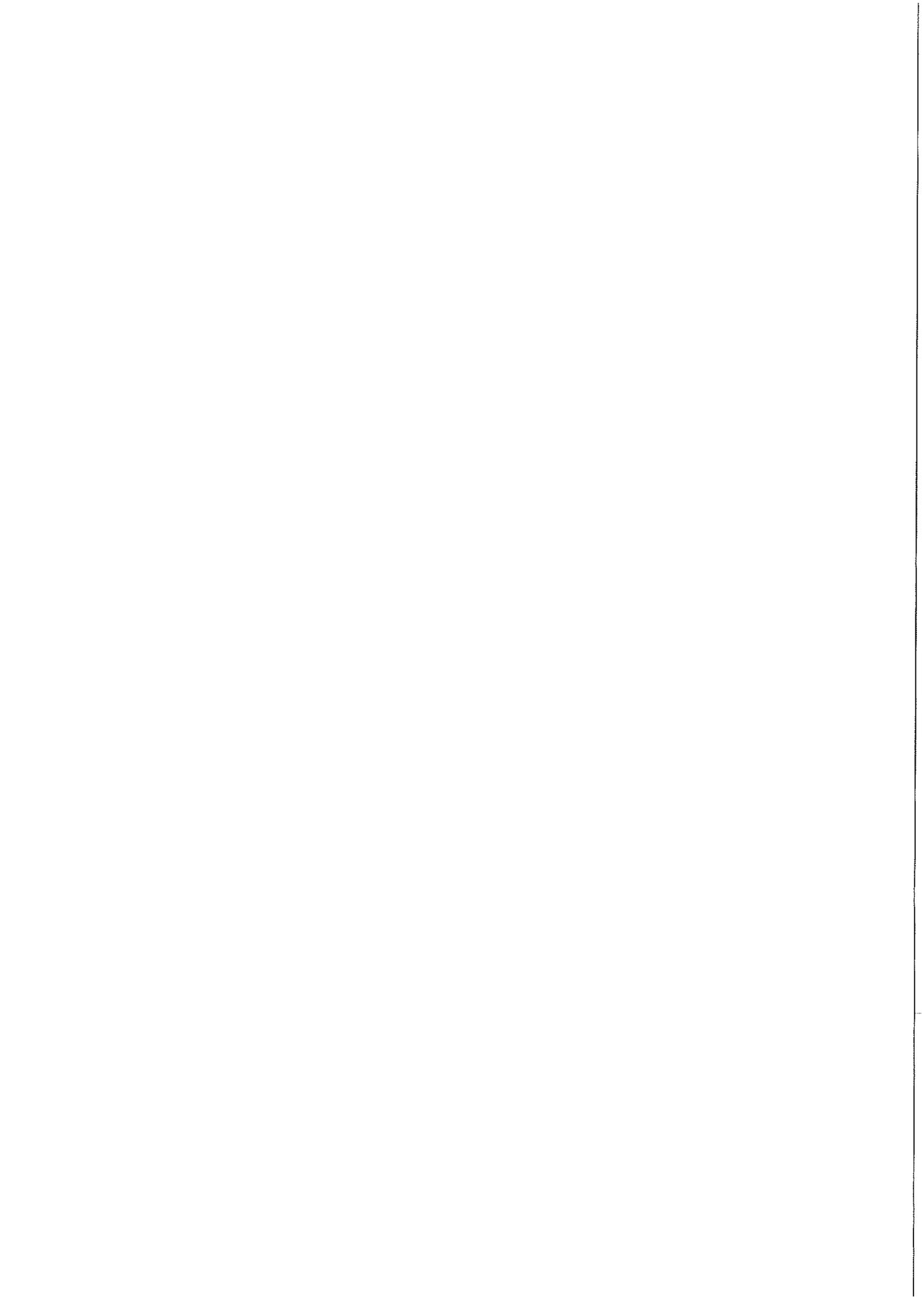
Cette dernière étape de la procédure ALARA permet de tester la robustesse des actions. Sur l'ensemble des facteurs intervenant dans la sélection de la meilleure option, certains éléments quantitatifs peuvent s'avérer être entachés d'une grande incertitude. L'analyse de sensibilité permet par exemple de quantifier l'impact sur les prévisionnels dosimétriques de variations des débits de doses et/ou des temps d'exposition, et d'évaluer l'impact sur les coûts économiques d'hypothèses différentes sur les taux horaires.

3. CONCLUSION

Ce rapport a été rédigé en explicitant les étapes importantes de la démarche ALARA de façon à ce que le lecteur puisse la réutiliser pour d'autres chantiers. On peut signaler que l'étape de la démarche qui requiert le plus d'attention est l'analyse du chantier pour sa version de référence.

Ce chantier d'installation de nouvelles cuves d'entreposage d'effluents THA présente une dosimétrie collective modeste de 36 homme-mSv pour une durée d'exposition d'environ 3500 heures. Les possibilités de réduction de la dosimétrie collective se sont avérées peu nombreuses. Néanmoins, 3 options de radioprotection qui permettaient d'une part, de réduire le nombre de tâches envisagées (abandon des modifications sur le coffret de la potence CIRCE), d'autre part, d'améliorer les conditions de travail (adjonction d'éclairages additionnels dans les zones faiblement éclairées) et enfin de transférer des opérations dans des zones moins pénalisantes (création d'une zone de préparation des soudures des tubes) ont été retenues puis étudiées, ainsi que leurs combinaisons. Une analyse quantitative des doses collectives et des coûts a été entreprise pour la version de référence et chacune des 7 options ou combinaisons d'options. L'utilisation de valeurs monétaires de l'homme-sievert et les méthodes d'aide à la décision de type méthode du coût raisonnable ou méthode coût-bénéfice utilisées pour ce chantier ont permis de sélectionner la meilleure option parmi le panel d'options. Il s'agit de l'option 7 qui correspond à la combinaison des 3 options de base. Le gain en terme de dose collective est estimé à 16%. Il est obtenu sans surcoût et il permet même un gain de 186 kF.

Le recours à une batterie d'outils associés à la mise en oeuvre de la démarche ALARA pour ce chantier modeste n'a pu se concevoir que par l'aspect pédagogique de cette opération. Pour un chantier plus important, l'utilisation systématique des outils informatiques tels que les logiciels DOSIANA et OPTI-RP, la revue de projet et les check-lists ALARA contribueront à la mise en oeuvre aisée de la démarche ALARA, clé de voûte du système de protection contre les effets de rayonnements ionisants proposé par la CIPR [6].



4. RÉFÉRENCES

- [1] Communication personnelle - Service LNR/FRAMATOME.
- [2] F. GOULAIN, O. JURION, "Rex ALARA des RGV de Bugey 5 et Gravelines 1", EDF/CIG, Ref. E/M/E/NM/94.242 indice A du 17/10/94.
- [3] Fiche de sûreté effluents THA - INB 57 Nouvelles cuves d'entreposage - CEA-DCC - DRDD - INB 57 Ind. C du 20/06/94.
- [4] C. SCHIEBER, "Optimisation de la radioprotection et organisation du travail", Rapport CEPN n° 227, Mai 1994.
- [5] Comité de Radioprotection, Groupe de Coordination en Radioprotection, "Livre blanc de la radioprotection. La radioprotection à EDF, orientation et objectifs", Électricité de France, Juin 1993.
- [6] International Commission on Radiological Protection, "Recommendations of the International Commission on Radiological Protection", Oxford, Pergamon Press, ICRP Publication 60, 1991.

