



RAPPORT N° 304

**INTERCOMPARAISON DE L'ORGANISATION ET
DES PRATIQUES DE RADIOPROTECTION DANS
DES CENTRALES NUCLEAIRES ETRANGERES**

*F. DROUET, P. CROUAIL, L. D'ASCENZO,
C. LEFAURE, L. VAILLANT*

Février 2007

EDF Marché N° C434C41690

SIEGE SOCIAL ET ADMINISTRATIF :

BÂT. EXPANSION 10000 18, RUE DE LA REDOUTE F-92260 FONTENAY AUX ROSES
TEL : +33 1 55 52 19 20 FAX : +33 1 55 52 19 21
E-MAIL : sec@cepn.asso.fr WEB : <http://www.cepn.asso.fr/>

ASSOCIATION DECLAREE CONFORMEMENT A LA LOI DU 1 JUILLET 1901 SIRET : 310 071 477 00049 N° DE TVA : FR60310071477

SOMMAIRE

RESUME	1
INTRODUCTION	2
1. MANAGEMENT RADIOPROTECTION DE LA CENTRALE	4
1.1. La radioprotection joue un rôle important au sein de la centrale	4
1.2. La fixation d'objectifs et le suivi régulier d'indicateurs de performance pour la radioprotection	5
1.3. Une politique ALARA clairement affichée	6
1.4. Des bases de données au service de la radioprotection	7
2. ACTIONS SUR LES DEBITS DE DOSE	10
2.1. Agir sur le design de la centrale	10
2.2. Un effort important pour la propreté radiologique et la surveillance des locaux	10
2.3. Une chimie du circuit primaire étroitement liée à la radioprotection	11
2.4. Une optimisation de la pose des protections biologiques	11
3. ACTIONS SUR LES VOLUMES DE TRAVAIL EXPOSES	13
3.1. Une optimisation du nombre des opérations de maintenance	13
3.2. Un turn-over faible	14
3.3. Une collaboration étroite entre les radioprotectionnistes et les autres métiers	14
3.4. Une formation régulière des intervenants	15
3.5. La télésurveillance au service de la radioprotection	16

4. APPORTS DES TECHNOLOGIES DE SUIVI A DISTANCE DE DONNEES	18
4.1. Généralités	18
4.2. Intérêt pour la radioprotection	18
4.2.1. Diminution des expositions	18
4.2.2. Formation et préparation des chantiers	20
4.2.3. Acceptabilité sociale	20
5. CONCLUSION	21
REFERENCES	22
ANNEXE 1 : COMPARAISON DES DOSES COLLECTIVES ANNUELLES MOYENNEES SUR 3 ANS DES REACTEURS VISITES AVEC CEUX DES REACTEURS FRANÇAIS DE MEME CONCEPTION	23
ANNEXE 2 : PLAN DE LA GRILLE D'ENTRETIEN UTILISEE LORS DES VISITES	25

RESUME

Depuis le début des années 90, EDF a fait des efforts importants en matière d'optimisation de la radioprotection des travailleurs dans les Centres Nucléaires de Production d'Electricité (CNPE) se traduisant par une réduction de plus d'un facteur deux de la dose collective moyenne par tranche en dix ans. EDF souhaite cependant poursuivre ses efforts pour améliorer la radioprotection dans les centrales françaises. Un des outils d'amélioration est l'analyse du retour d'expérience de la pratique des centrales étrangères ayant de très bons résultats dosimétriques ou ayant connu une amélioration récente significative de la dosimétrie. C'est pourquoi, depuis 2003, le CEPN organise pour EDF des visites d'intercomparaison de la radioprotection pratique et organisationnelle dans des centrales nucléaires à l'étranger. Huit visites ont ainsi été organisées dans les centrales d'Almaraz (Espagne), de Doel (Belgique), de Ringhals (Suède), de Sizewell (Royaume-Uni), de Saint Lucie (Etats-Unis), de Beznau (Suisse), de Vogtle (Etats-Unis) et de Calvert Cliffs (Etats-Unis). Lors de chaque visite, une équipe de trois à quatre personnes, composée de deux représentants du CEPN et de un ou deux représentants d'EDF, se rend sur place pendant une semaine et rencontre des représentants de la plupart des services impliqués dans la mise en œuvre des thèmes retenus.

Plusieurs « bonnes pratiques » de radioprotection ont été mises en avant lors de ces huit visites :

- La place importante de la radioprotection dans l'organisation de la centrale ;
- L'impact fondamental de la réduction des volumes de travail exposés ;
- Les efforts de réduction du terme source ;
- L'utilisation de la télésurveillance et la télédosimétrie comme un élément central de la radioprotection du 21^{ème} siècle.

INTRODUCTION

Dans les années 90, une très forte réduction des doses individuelles et collectives a été observée dans les Centres Nucléaires de Production d'Electricité (CNPE) d'EDF. Ainsi, en 2005, la dose collective annuelle moyenne par réacteur était de 0,78 homme.Sv tandis qu'elle était de 2,44 homme.Sv en 1991. Cette amélioration est en partie due à la systématisation de l'application du principe d'optimisation de la radioprotection (principe ALARA) dans les CNPE. Une comparaison des résultats dosimétriques des réacteurs français avec ceux des réacteurs étrangers de même conception montre que des améliorations sont encore possibles. Un des outils d'amélioration est donc l'analyse du retour d'expérience (et notamment des bonnes pratiques en matière de radioprotection) de centrales nucléaires étrangères. C'est pourquoi, depuis 2003, le CEPN organise pour EDF des visites d'intercomparaison de la radioprotection pratique et organisationnelle dans des centrales nucléaires à l'étranger. C'est en s'appuyant sur les données du réseau ISOE (Information System on Occupational Exposures) dont le CEPN est le Centre Technique Européen et le gestionnaire de la base de données internationale, que les sites ont été choisis en fonction de leurs excellents résultats dosimétriques ou d'une amélioration nette et récente de ces derniers (voir Annexe 1). Depuis 2003, 8 visites ont été organisées dans les centrales suivantes :

- Almaraz (Espagne - 2 tranches de 930 MWe) visitée en juillet 2003 [1] ;
- Doel (Belgique - 2 tranches de 1000 MWe) visitée en octobre 2003 [2] ;
- Ringhals (Suède - 1 REB de 795 MWe, 1 REP de 875 MWe et 2 REP de 915 MWe) visitée en octobre 2003 [3] ;
- Sizewell B (Royaume-Uni - 1 tranche de 1200 MWe) visitée en septembre 2004 [4] ;
- Saint Lucie (Etats-Unis - 2 tranches de 850 MWe) visitée en septembre 2005 [5] ;
- Beznau (Suisse - 2 tranches de 365 MWe) visitée en juillet 2006 [6] ;
- Vogtle (Etats-Unis - 2 tranches de 1215 MWe) [7] et Calvert Cliffs (Etats-Unis - 2 tranches de 850 MWe) [8] visitées en octobre 2006 : missions centrées sur les systèmes de télédosimétrie et télésurveillance.

Un questionnaire standard a été établi pour ces visites (voir Annexe 2). Ce questionnaire couvre les domaines de la radioprotection elle-même (organisation, préparation des chantiers, assistance et contrôle...), la chimie du circuit primaire, la maintenance, le planning, la formation des intervenants (y compris des prestataires des entreprises

extérieures), l'analyse des facteurs explicatifs de l'évolution des expositions... Ce questionnaire a été modifié pour les visites de Vogtle et Calvert Cliffs du fait de leur spécificité. En effet, ces deux visites font l'objet d'une section dédiée centrée sur les apports, du point de vue de la radioprotection de la télétransmission des informations.

Lors de chaque visite, une équipe de 3 à 4 personnes, composée de 2 représentants du CEPN et de 1 ou 2 représentants d'EDF, se rend sur place pendant une semaine et rencontre des représentants de la plupart des services impliqués dans la mise en œuvre des thèmes retenus. En général, une visite de la Zone Contrôlée et des installations de formation est organisée par les hôtes. Le choix des participants EDF a toujours permis d'associer au minimum un représentant de CNPE, sélectionné, sans privilégier sa position hiérarchique, en fonction de ses liens avec la thématique principale retenue pour la visite. Dans tous les cas, il s'agissait pour ces personnes de mettre en perspective leurs pratiques et celles de leurs collègues de la centrale hôte.

Toutes ces visites ont fait l'objet d'un rapport en anglais validé par le site puis distribué à EDF dans sa version française. A ce jour, seul le rapport de la visite du site de Sizewell est public ; la plupart des centrales visitées ont accepté que les rapports en anglais soient mis à la disposition des participants (exploitants) au réseau ISOE par l'intermédiaire du site internet du réseau¹.

Ce rapport a pour objectif de synthétiser les résultats de ces différentes visites afin de mettre en avant les points clés pouvant expliquer les bons résultats dosimétriques des centrales visitées. Ces points sont illustrés par des exemples issus des visites.

Il est important de noter que le fait qu'une centrale ne soit pas citée à caractère d'exemple sur un thème donné ne doit pas être considéré comme la mise en évidence d'une faiblesse de la centrale dans ce domaine précis.

¹ <http://www.isoe-network.net>

1. MANAGEMENT RADIOPROTECTION DE LA CENTRALE

1.1. La radioprotection joue un rôle important au sein de la centrale

Sur tous les sites visités, la radioprotection occupe une place importante dans les organisations hiérarchiques et fonctionnelles des centrales nucléaires. Ainsi, les responsables du « Département Radioprotection » occupent souvent un poste managérial très élevé (c'est notamment le cas à Almaraz, Saint Lucie, et Beznau). Par ailleurs, la radioprotection est souvent regroupée avec d'autres fonctions (principalement chimie ou environnement) dans un seul et même département (Centrales d'Almaraz, Doel, Ringhals, Sizewell, Beznau). Par contre, elle est la plupart du temps totalement séparée de la sécurité (les deux seules exceptions sont les centrales de Doel et de Ringhals). Enfin, il est important de noter que contrairement à ce qui se passe en France², aucune des centrales ne fait la distinction entre les responsables hiérarchiques et fonctionnels en matière de radioprotection.

A Almaraz, la fonction de chef du Département de la Protection Radiologique et de l'Environnement, responsable de la radioprotection sur le site, est particulièrement bien reconnue par le Chef de centrale. Il est membre du Comité de Direction³ de la centrale et participe de façon statutaire aux réunions de coordination de la Direction Générale de l'exploitant.

A Saint Lucie, la radioprotection est devenue, au travers des initiatives de la direction du site, un élément prioritaire, garant du bon fonctionnement et des bons résultats de la centrale : augmentation du budget du département radioprotection, augmentation du nombre de contrôles sur le respect des procédures par les intervenants, effort sur le programme de formation des intervenants en radioprotection...

A Beznau, le Chef du Département Radioprotection, Chimie et Déchets Radioactifs est aussi Directeur Adjoint de la centrale. Par ailleurs, la collaboration et le dialogue entre les radioprotectionnistes et les autres métiers y sont privilégiés.

² En effet, en France, le cadre de direction en charge de la radioprotection, membre du comité directeur, n'est pas hiérarchique sur les services radioprotection du site.

³ Ceci est général à l'Espagne du fait que l'autorité de sûreté et de radioprotection espagnole l'exige.

A Doel, le métier de radioprotectionniste bénéficie également d'une forte reconnaissance par tous les autres intervenants. Des chantiers de modifications ont notamment été annulés - ou reportés - par le département radioprotection principalement du fait de « dérives » dosimétriques⁴ par rapport aux prévisionnels.

Le nombre de radioprotectionnistes (hors prestataires) est relativement homogène dans les centrales d'Almaraz, de Doel et de Sizewell (environ 15 à 20 pour une tranche). A Ringhals et à Beznau, ce nombre est relativement plus faible⁵ tandis qu'à Saint Lucie et à Calvert Cliffs, on compte respectivement 50 et 44 radioprotectionnistes permanents. Les effectifs des radioprotectionnistes permanents dans les centrales visitées sont présentés dans le Tableau 1.

Tableau 1. Nombre de radioprotectionnistes permanents dans les différentes centrales visitées

Installation	Nombre de radioprotectionnistes permanents
Almaraz (2 tranches)	35 (objectif 2007 : 24)
Doel (2 tranches)	39
Ringhals (4 tranches)	37
Sizewell B (1 tranche)	Environ 15
Saint Lucie (2 tranches)	50
Beznau (2 tranches)	17
Calvert Cliffs (2 tranches)	44

1.2. La fixation d'objectifs et le suivi régulier d'indicateurs de performance pour la radioprotection

Des objectifs en matière de radioprotection - principalement en termes de dose collective et dose individuelle annuelles et par arrêt de tranche - sont systématiquement fixés, généralement par la direction des sites. Ces objectifs sont le plus souvent fixés annuellement et s'inscrivent parfois dans le cadre de l'établissement d'objectifs pluriannuels (Almaraz, Doel, Saint Lucie). Dans certaines centrales, ces objectifs sont évalués et analysés tous les 6 mois (Doel, Ringhals). En général, l'atteinte ou non de ces

⁴ Par exemple une dose collective élevée atteinte trop rapidement selon les radioprotectionnistes.

⁵ Dans le cas de Beznau, ce faible nombre peut notamment s'expliquer par le fait qu'il s'agit de deux réacteurs de relativement faible puissance (2 fois 365 MWe) par rapport à ceux des autres centrales visitées.

objectifs en matière de radioprotection entre dans les critères de choix du montant de la prime annuelle attribuée aux cadres et parfois même celle qui est attribuée à l'ensemble des employés du site (Doel, Ringhals). Parallèlement, des indicateurs de performance (relatifs à la radioprotection mais aussi parfois à la sécurité, à l'environnement...) sont régulièrement suivis (le plus souvent tous les mois) par le département en charge de la radioprotection et transmis à la direction du site. Le Tableau 2 indique le nombre d'indicateurs de performance qui sont suivis dans les différentes centrales.

Tableau 2. Nombre d'indicateurs de performance suivis par le département en charge de la radioprotection dans les différentes centrales

Installation	Nombre d'indicateurs de performance
Almaraz	9
Doel	9
Sizewell	Plusieurs dizaines
Saint Lucie	17
Beznau	13
Calvert Cliffs	16
Vogtle	14

1.3. Une politique ALARA clairement affichée

Dans la majorité des centrales, il existe un programme ALARA⁶ (Almaraz, Doel, Ringhals, Saint Lucie, Vogtle, Calvert Cliffs) permettant de formaliser la démarche ALARA lors des travaux, principalement de maintenance, et un comité ALARA (Almaraz, Doel, Saint Lucie, Beznau, Vogtle, Calvert Cliffs), notamment en charge de la revue des études ALARA relatives aux travaux à fort enjeu dosimétrique. Ces organisations ALARA sont en place et fonctionnent depuis plus de dix ans. Il faut noter que les prestataires ne font jamais partis des comités ALARA. Cependant, cela ne veut pas dire qu'ils ne participent jamais aux réflexions sur les démarches ALARA. Enfin, compte tenu de la place de la radioprotection dans certaines centrales (poste managérial élevé), les arbitrages en faveur de la radioprotection se font presque systématiquement au niveau de la direction.

⁶ Un programme ALARA définit précisément les instances décisionnelles, les procédures et les responsabilités en matière d'optimisation de la radioprotection dans une centrale.

A Almaraz, des travaux sur les générateurs de vapeur, fort coûteux sur le plan dosimétrique, ont nécessité la création d'une ingénierie radioprotection *ad hoc* et le lancement d'un programme spécifique de réduction des doses (Programme REDOS) dès 1984. Le Programme REDOS a été accepté en 1990 en tant que programme ALARA par l'autorité espagnole. Il existe par ailleurs au sein de la centrale, un comité ALARA et plusieurs groupes de travail ALARA thématiques : Groupes de Préparation du Travail, Groupes ALARA, Groupes d'Amélioration ALARA. Même si aucun prestataire ne fait parti de ces groupes, ces derniers participent systématiquement aux prévisions lors de la préparation des « chantiers ALARA ».

A Doel, la mise en place très tôt d'une contrainte de dose⁷ a poussé le site à rechercher des solutions d'organisation des ressources humaines et a donné une très forte légitimité à la mise en place d'un programme ALARA renforcé.

A Beznau, l'équipe ALARA, créée en 1998, est une équipe pluridisciplinaire composée de 9 personnes issues de 4 départements différents et dirigée par le chef du service radioprotection. Ce groupe se réunit régulièrement (35 réunions depuis 1998) afin de préparer des plans d'action de radioprotection pour la mise en place de moyens d'optimisation, de participer à la préparation des arrêts de tranche (optimisation des travaux les plus dosants) et de suivre la coopération internationale en radioprotection. Les prestataires ne participent pas à ce groupe et ne participent pas non plus aux démarches ALARA pour la préparation des chantiers.

1.4. Des bases de données au service de la radioprotection

Certaines centrales disposent de bases de données informatiques et photographiques facilement consultables regroupant divers informations et paramètres (niveaux de contamination, débits de dose, relevés historiques de la dosimétrie et des paramètres chimiques du circuit primaire...).

A Almaraz, le département en charge de la radioprotection dispose d'une base de données cartographiques très complète des conditions radiologiques des deux tranches : 300 cartographies de locaux sont informatisées, contenant pour chaque zone l'historique des valeurs de 3 à 10 points de mesure de débits de dose – d'ambiance, ou au contact

⁷ La contrainte de dose individuelle annuelle était de 15 mSv lorsque la limite de dose réglementaire était de 50 mSv/an ; elle est aujourd'hui de 10 mSv.

des matériels - et ce, en fonction des différents états de la tranche avant ou pendant les arrêts de tranche. La base de données contient également les mesures de contamination atmosphérique (particules et halogènes) et surfacique. Elle est notamment consultable dans le local radioprotection à l'entrée de la Zone Contrôlée. Les cartographies sont remises à jour régulièrement et la plus récente est affichée à l'entrée de chaque local.

La centrale de Doel dispose d'un logiciel nommé SARA contenant une base de données des plans de l'installation. Tous les gros matériels (vannes importantes, pompes, échangeurs...) y sont repérés. Chaque zone peut contenir les informations suivantes : contamination surfacique et volumique, débit de dose ambiant, débit de dose au contact, activité, concentration en iode, débit de dose neutron, présence d'alpha, commentaires. Des mesures sont disponibles depuis 1990.

A Sizewell, des fiches d'informations sont établies par les radioprotectionnistes pour de nombreux composants de la centrale. Ces fiches comprennent des photographies, des plans d'implantation et des informations sur les débits de dose de rayonnements. Les travailleurs ont également la possibilité de connaître leur zone de travail à l'aide d'un logiciel nommé Surrogate-Tour[®].

La centrale de Beznau dispose d'un logiciel informatique (PERDOS) permettant de suivre la dosimétrie individuelle quasiment en temps réel. Ce logiciel permet également de suivre la dosimétrie de chaque intervenant par année (depuis 1989), par mois, par jour ou par intervention, de connaître le débit de dose maximum auquel a été soumis un intervenant, de comparer les doses collectives prévisionnelles et réelles lors des arrêts de tranche... Il constitue donc un excellent outil de retour d'expérience pour le personnel de radioprotection. Un autre programme informatique regroupe l'ensemble des mesures quotidiennes de contamination et d'irradiation⁸ et leur évolution. Ces paramètres peuvent être consultés dans les bureaux radioprotection en entrée de Zone Contrôlée et en Zone Contrôlée. Enfin, un logiciel informatique (CIS – Chemistry Information System) permet de suivre les différents paramètres chimiques des circuits primaires et secondaires en temps réel. Les données sont conservées dans une base et peuvent être consultées à tout moment.

A Vogtle et Calvert Cliffs, les informations enregistrées via la télésurveillance (photos et vidéos) sont aisément accessibles par l'ensemble des personnes de l'installation à l'aide de l'Intranet.

⁸ Voir paragraphe 2.2.

2. ACTIONS SUR LES DEBITS DE DOSE

2.1. Agir sur le design de la centrale

Plusieurs sites ont travaillé sur l'optimisation du design de leurs installations, que ce soit dès la conception (agencement optimisé grâce à un effort d'analyse détaillée du retour d'expérience d'autres centrales à Sizewell⁹) ou à l'occasion des opérations de maintenance ou de changement des équipements afin de réduire les termes sources.

A Almaraz, durant la dernière décennie, les deux tranches ont bénéficié d'efforts considérables sur le design pour favoriser la réduction du terme source. Le remplacement des générateurs de vapeur et des couvercles de cuve, et la suppression des by-pass RTD ont été réalisés en 1996 sur la tranche 1 et en 1997 sur la tranche 2. Des blindages des lignes de purge de la cuve du réacteur ont également été installés lors de ces deux arrêts de tranche. Un programme de réduction des stellites a été mis en place et était toujours en cours en 2004 : il n'y a pratiquement plus aucun robinet stellité. Les matériaux structurels des éléments combustibles (grille, squelette) sont à basse teneur en cobalt depuis 1996-97.

A Beznau, les nouveaux générateurs de vapeur, installés en 1993 et 1999, contiennent moins de nickel et de cobalt que les précédents, permettant ainsi de réduire l'activation et donc le débit de dose aux alentours.

2.2. Un effort important pour la propreté radiologique et la surveillance des locaux

La propreté (radiologique ou non) et la surveillance régulière de l'état radiologique du site sont des éléments qui facilitent le travail des opérateurs en réduisant notamment les risques d'accidents (glissade, contamination externe ou interne...).

Le site de Beznau est extrêmement propre. Toute contamination ou point chaud (il y en a très peu) est systématiquement nettoyé ou surveillé le cas échéant. L'opérateur a le devoir de nettoyer son poste de travail à l'issue de son activité. Parallèlement, un nettoyage du sol est effectué en permanence en routine dans la Zone Contrôlée. Enfin, il

⁹ La centrale de Sizewell a divergé pour la première fois en 1995.

n'existe que très peu de points chauds en zone. Une des conséquences de cette propriété est qu'aucune contamination interne n'a été détectée depuis environ 30 ans.

Concernant la surveillance, pour chaque tranche, il y a environ 70 points de mesure (contamination ou irradiation) par jour et 70 points de mesure hebdomadaires.

Sur le site de Doel, les opérateurs de maintenance apprécient de travailler dans une centrale très propre.

A Sizewell, lorsqu'un chantier est terminé, un opérateur radioprotection vérifie la contamination de tous les outils utilisés dans la zone de repli.

2.3. Une chimie du circuit primaire étroitement liée à la radioprotection

Sur la majorité des sites visités (Doel, Ringhals, Sizewell, Saint Lucie, Beznau), beaucoup d'efforts portent sur la gestion de la chimie du circuit primaire en fonctionnement ou en arrêt, permettant ainsi de réduire le terme source. Ces efforts portent, entre autres, sur :

- Optimisation du pH (Ringhals, Beznau) ;
- Optimisation de la durée d'oxygénation au début de l'arrêt (Ringhals) ;
- Addition de zinc (Saint Lucie, essais à Vogtle et Calvert Cliffs) ;
- Utilisation de résines PEX (Saint Lucie).

Parallèlement, une collaboration étroite entre les radioprotectionnistes et les chimistes est en place dans la plupart de ces centrales. A Beznau et à Sizewell (et même à Ringhals avant réorganisation), les radioprotectionnistes et les chimistes sont réunis dans un même département. A Doel, le chef du département radioprotection, chimiste de formation, a également été responsable de la chimie dans les tranches 1 et 2.

2.4. Une optimisation de la pose des protections biologiques

A Doel et à Beznau, l'optimisation de la pose des protections biologiques en arrêt de tranche a été présentée comme un facteur explicatif des bons résultats dosimétriques. L'objectif principal est de professionnaliser la fonction de poseur de protection

biologique en faisant de cette opération une tâche planifiée à part entière, organisée et optimisée.

A Doel, la société responsable de la pose des protections biologiques a préparé depuis plusieurs années un programme standard d'installation de ces protections en début d'arrêt de tranche. Il existe notamment des points d'ancrage permanents ce qui permet d'optimiser le temps de pose. Les intervenants de cette société affectés à la pose de ces protections sont très qualifiés et entraînés. Ils sont les seuls intervenants du site avec les radioprotectionnistes (prestataires et du site) à être habilités à réaliser des mesures de débit de dose.

A Beznau une nouvelle politique a été développée au début des années 2000. Les protections biologiques en plomb nu sont posées avant le début de l'arrêt uniquement dans les zones où il y a des travaux durant l'arrêt. Cette politique a permis de réduire de moitié la quantité de plomb utilisé sans pénaliser les résultats dosimétriques en arrêt dus à ces protections.

3. ACTIONS SUR LES VOLUMES DE TRAVAIL EXPOSES

3.1. Une optimisation du nombre des opérations de maintenance

Plusieurs sites (Almaraz, Doel, Ringhals, Beznau) affichent une réelle volonté d'optimiser le volume horaire des travaux de maintenance lors des arrêts de tranches afin d'éviter des travaux inutiles, participant ainsi à la réduction des expositions. Par exemple, plusieurs centrales ont fortement réduit, en accord avec les autorités de sûreté, la fréquence du contrôle de leurs générateurs de vapeur.

A Almaraz, suite aux remplacements des générateurs de vapeur, l'état des tranches permet de ne contrôler qu'un seul des trois générateurs de vapeur à chaque arrêt. Le volume de travail de maintenance est d'ailleurs globalement en baisse du fait de la propreté radiologique des deux tranches.

A Doel, depuis une dizaine d'années, des efforts ont été systématiquement faits pour réduire les temps de travail, notamment en réduisant le nombre de contrôles jugés inutiles (par exemple en ne faisant aucune maintenance préventive sur les matériels et organes qui ne sont pas classés "importants pour la sûreté ou la production"). L'autorité de sûreté belge a également accepté, après négociations avec l'exploitant, que les deux générateurs de vapeur ne soient contrôlés qu'une fois tous les 6 ans (au lieu du contrôle d'un générateur de vapeur chaque année). La cadence de contrôle choisie par l'exploitant¹⁰ permet ainsi deux arrêts de tranche consécutifs sans ouverture de générateur de vapeur. Finalement, le volume de travail pour les opérations de maintenance est inférieur à 30 000 personne.h pour une visite principale, et inférieur à 50 000 personne.h pour une visite décennale.

A Ringhals, le volume des interventions de maintenance, décidé principalement par la centrale elle-même sous la surveillance des autorités de sûreté, est plus faible qu'en France. On cherche à raccourcir la durée des arrêts de tranche : 29 jours en 2004, 22 jours en 2005, 17 jours en 2006.

¹⁰ Ouverture des deux générateurs de vapeur lors du même arrêt tous les trois arrêts.

3.2. Un turn-over faible

Le turn-over, notamment dans les départements radioprotection, est généralement très faible dans les centrales visitées. Cela implique que le personnel connaît parfaitement la centrale, son organisation et son état radiologique.

A Almaraz, la plupart des employés (cadres et techniciens) sont là depuis les premières divergences des tranches. Les moins expérimentés ont une quinzaine d'années d'expérience.

A Doel, le turn-over est quasiment nul en ce qui concerne les techniciens en radioprotection. Au moins la moitié du personnel a plus de 10 ans d'expérience du site.

A Sizewell, la plupart des agents des équipes de radioprotection y travaillent depuis 1995, ou même avant la première divergence. On peut ainsi dire que l'équipe radioprotection représente la « mémoire » de l'installation.

A Saint Lucie, même si le turn-over n'est pas inexistant, les nouveaux techniciens radioprotection arrivant sur le site, ont déjà, une assez grande expérience acquise sur d'autres sites, notamment à Turkey Point. Par ailleurs, les prestataires ont aussi majoritairement beaucoup d'ancienneté et sont en plus bien intégrés dans l'équipe radioprotection.

A Beznau, il n'est pas rare de rencontrer des personnes avec 10 voire 20 ans d'expérience dans la centrale. En 2006, au sein du service radioprotection, 2 personnes sur 17 avaient 25 ans de présence à la centrale.

3.3. Une collaboration étroite entre les radioprotectionnistes et les autres métiers

Sur tous les sites, les radioprotectionnistes travaillent en relation directe avec les autres métiers, notamment pour la préparation et la réalisation des arrêts de tranche (mesures, contrôles, conseils...). Ils sont également très présents en Zone Contrôlée pour le contrôle et le conseil et il existe systématiquement un bureau radioprotection en entrée de zone, point de passage obligatoire pour la délivrance du permis de travail radiologique.

A Doel, la collaboration entre les préparateurs radioprotection et les préparateurs métiers a été renforcée depuis quelques années. La réorganisation du site a permis d'impliquer encore plus ces derniers dans les phases de préparation de leurs chantiers sur le plan de la radioprotection, dans les prévisions dosimétriques et dans les analyses d'écart. Enfin, la préparation du travail s'est considérablement améliorée (disponibilité des outillages et pièces de rechange, formation des intervenants à leur utilisation ...).

A Ringhals, les radioprotectionnistes sont en contact direct avec les travailleurs pendant toute la durée de l'arrêt (bureau de la radioprotection, radioprotectionnistes présents en permanence dans l'enceinte de confinement...).

A Sizewell, une approche assez pragmatique de la radioprotection a été adoptée depuis le démarrage de la centrale. Par de nombreux aspects, la façon de travailler est apparue moins procédurale que dans d'autres centrales, mais en raison de l'existence d'un dialogue important et permanent entre les radioprotectionnistes et les autres métiers (et notamment les prestataires en arrêt de tranche), elle a encouragé d'autres groupes de professionnels, tels que ceux affectés à la maintenance de l'installation, à parler très ouvertement et à travailler avec le personnel de radioprotection. Il faut noter que les ingénieurs et techniciens radioprotection possèdent une grande expérience du site, une connaissance détaillée des travaux réalisés par les autres groupes et de nombreux techniciens radioprotection ont une formation en matière d'ingénierie mécanique qui les aide à comprendre les tâches exécutées par les autres groupes. Enfin, la présence permanente des techniciens de radioprotection à proximité immédiate des lieux où les travaux sont effectués permet de réduire considérablement la taille des zones contrôlées par rapport à celles délimitées pour des travaux similaires dans les CNPE français.

3.4. Une formation régulière des intervenants

La formation en radioprotection des intervenants (radioprotectionnistes ou non) est systématique dans tous les sites visités. La durée et les thèmes abordés dépendent de la catégorie de personnel. En général, les radioprotectionnistes reçoivent la formation la plus longue. Cette formation est à la fois théorique et pratique. De plus, en fonction de son expérience, un radioprotectionniste peut parfois se voir attribuer des responsabilités supplémentaires moyennant une formation complémentaire. C'est notamment le cas à Saint Lucie et à Beznau où il existe plusieurs grades de techniciens radioprotection selon l'expérience dans la centrale et les formations acquises.

Pour les employés permanents, une remise à niveau est réalisée tous les ans (Almaraz, Doel, Saint Lucie) ou tous les deux ans (Sizewell, Beznau). Ces formations sont parfois sanctionnées par un examen (Doel, Ringhals, Saint Lucie, Beznau). Pour les prestataires, la remise à niveau est annuelle et est systématiquement sanctionnée par un examen. Enfin, à Sizewell, à Saint Lucie et à Calvert Cliffs, des chantiers écoles sont organisés permettant ainsi aux intervenants de se former sur des maquettes en inactif.

3.5. La télésurveillance au service de la radioprotection

Les visites de Sizewell et de Saint Lucie ont mis en évidence les intérêts de la télésurveillance et de la télédosimétrie. Ce paragraphe en résume les principaux intérêts relevés lors de ces deux visites. La section 4 de ce document est entièrement dédiée à cette technologie et s'appuie principalement sur les visites réalisées en 2006 à Vogtle et à Calvert Cliffs.

Les centrales de Sizewell et de Saint Lucie disposent de systèmes de télésurveillance très modernes : les radioprotectionnistes sont en contact direct (visuel et audio) permanent avec les opérateurs leur permettant d'intervenir rapidement en cas de problème tout en minimisant les doses qu'ils reçoivent car l'assistance se fait depuis des zones à très faible débit de dose.

A Sizewell, la télédosimétrie, la communication numérique sans fil et la vidéosurveillance sont utilisées chaque fois que cela est possible (par exemple pour les interventions dans la cuve du réacteur ou sur les plates-formes d'un générateur de vapeur pendant un arrêt). La centrale a été équipée d'un système de surveillance audio et vidéo en réseau très moderne et de moyens de dosimétrie en temps réel depuis 2004. Lors de sa première utilisation, il a été estimé que ce système avait permis de réduire d'environ 10 % la dose totale de l'arrêt (c'est-à-dire 20 homme.mSv), le personnel radioprotection étant le groupe qui a le plus bénéficié de cette réduction. Sizewell espère étendre, à court terme, l'utilisation de ce système à toutes les personnes travaillant à l'intérieur des zones contenant des protections biologiques.

A Saint Lucie, la télésurveillance est apparue comme un outil primordial pour la maîtrise des expositions du personnel et même de certains procédés (par exemple pour l'optimisation des temps de purification). Elle a notamment permis de diminuer de manière significative le nombre de techniciens radioprotection présents en Zone

Contrôlée lors des arrêts de tranche. De plus, tous les métiers utilisent cet outil et pas seulement les radioprotectionnistes ce qui permet notamment d'étaler l'amortissement de l'investissement sur un grand nombre de fonctions. Ainsi, la télésurveillance est utilisée pour surveiller l'avancement des travaux et le traitement des aléas.

4. APPORTS DES TECHNOLOGIES DE SUIVI A DISTANCE DE DONNEES

4.1. Généralités

Un Remote Monitoring System (RMS) est généralement constitué de trois éléments distincts :

- Un système de télédosimétrie permettant la transmission et la centralisation en temps réel des informations fournies par un ensemble de dosimètres électroniques équipés de télétransmetteurs (jusqu'à plusieurs centaines de dosimètres) ;
- Un système de télésurveillance qui permet de suivre visuellement, voire d'enregistrer, le déroulement d'un travail ;
- Un système de communication audio permettant à l'ensemble des personnels (travailleurs exposés, techniciens radioprotection de terrain et techniciens radioprotection en charge du suivi à distance) de communiquer (d'individu à individu ou à un groupe d'individus).

Le système (tout ou en partie) peut s'appuyer sur un transfert de données sans fil. L'utilisation de technologies sans fil - émettrices d'ondes radio - nécessite de réaliser une cartographie des zones sensibles aux longueurs d'ondes utilisées pour le transfert de données afin de ne pas interférer avec l'instrumentation en place.

Aux Etats-Unis, deux constructeurs se partagent le marché des centrales nucléaires et proposent des solutions intégrées : Bartlett Inc. et Innovative Industrial Solutions (IIS)¹¹. A titre d'information, les investissements initiaux liés à la mise en place du RMS s'élèvent à environ 0,6 M\$ à Vogtle et environ 1 à 1,5 M\$ à Calvert Cliffs.

4.2. Intérêt pour la radioprotection

4.2.1. Diminution des expositions

Le RMS permet le suivi à distance (en zone non contrôlée pour les centrales de Saint Lucie, Vogtle et Calvert Cliffs) - dans le Central Monitoring Station, CMS -, des conditions d'exposition aux rayonnements ionisants des travailleurs :

¹¹ www.bartlettinc.com et <http://www.i-i-s.net>

- Localisation et identification du travailleur ;
- Nature du travail et données relatives au prévisionnel dosimétrique (notamment seuil d'alarme en dose collective, dose individuelle et débit de dose) ;
- Débit de dose ;
- Durée d'exposition ;
- Dose individuelle.

La flexibilité du système permet par ailleurs de suivre l'évolution des débits de dose en tout lieu, ce qui tend à favoriser un grand nombre d'applications : suivi du taux d'encrassement de filtres ou suivi du transfert des éléments de combustible par exemple. Par ailleurs, les données (mesures) produites par les balises de suivi de la contamination aérienne (balise EDGAR par exemple) peuvent être également télétransmises et suivies dans le CMS.

La centralisation en un lieu unique (CMS) de l'ensemble de ces informations permet un suivi efficace et réactif des travailleurs exposés, à distance, et par un personnel réduit. Cela permet de s'affranchir de la présence permanente des techniciens radioprotection sur le terrain et donc de diminuer leur exposition (bénéfice en termes d'exposition radiologique) et, éventuellement, leur nombre (bénéfice économique).

A Vogtle, le nombre de techniciens radioprotection contractuels en période d'arrêt de tranche est passé de 118 à 40 en quelques années avec la mise en œuvre du RMS (bénéfice estimé : 9 000 \$ par technicien contractuel et par an). L'exposition radiologique du personnel radioprotection en arrêt de tranche est passée de 0,4 (dose collective moyenne avant RMS) à 0,1 homme.Sv (dose collective moyenne après RMS). Aujourd'hui, l'exposition radiologique du personnel RP en arrêt de tranche est d'environ 0,05 homme.Sv.

De 1999 à 2006, à Calvert Cliffs, le nombre de techniciens radioprotection contractuels en période d'arrêt de tranche est passé de 93 à 62 et le département radioprotection a vu son effectif passer de 63 à 44 permanents. L'exposition radiologique du personnel radioprotection est passée de 0,3 (1999) à 0,14 homme.Sv (2006).

Toutefois, on ne s'affranchit pas de la présence des techniciens radioprotection à proximité des personnels exposés. En effet, lorsqu'un technicien du CMS détecte un écart - accroissement rapide du débit de dose, dépassement du prévisionnel

dosimétrique, contamination atmosphérique...-, l'envoi d'un technicien radioprotection est nécessaire. Les techniciens du CMS peuvent communiquer par liaison audio avec les (ou le) techniciens radioprotection situés à proximité et le groupe de travailleurs (ou le travailleur) concernés par l'écart.

4.2.2. Formation et préparation des chantiers

En matière de formation et de préparation, l'utilisation de la vidéo (enregistrement de tâches spécifiques) permet de préparer un travail, d'améliorer le geste technique et de prendre connaissance avec l'équipement concerné (en particulier lors du « pre-job briefing »). Par ailleurs, le suivi centralisé des informations permet d'archiver l'ensemble des caractéristiques radiologiques d'un travail et de préparer au mieux les prévisionnels dosimétriques.

4.2.3. Acceptabilité sociale

En termes d'acceptation sociale, en s'appuyant sur l'exemple de la centrale de Vogtle, il semble qu'une démarche progressive, s'appuyant sur des « focus groups » par métier et accordant une place importante à l'échange soit la plus appropriée.

Une attention particulière doit être accordée à la démarche d'appropriation de l'outil RMS par l'ensemble du département radioprotection et une articulation adéquate doit être trouvée entre le temps passé dans la salle de CMS et le temps passé sur le terrain. Les techniciens radioprotection des sites de Calvert Cliffs et de Vogtle estiment, pour la plupart, que le RMS apporte une valeur et une technicité ajoutées à leur métier.

L'intérêt pour la technologie RMS ne réside pas que dans son emploi dans le cadre de la radioprotection. De nombreux métiers souhaitent avoir accès à cette technologie (suivi du déroulement d'un chantier, amélioration du geste technique). Ces demandes doivent être prises en compte sans pour autant nuire à l'objectif d'amélioration des performances en radioprotection et mobiliser le personnel radioprotection pour des missions ne relevant pas de son domaine d'activité.

5. CONCLUSION

Les huit visites d'intercomparaison de la radioprotection pratique et opérationnelle dans des centrales nucléaires à l'étranger organisées par le CEPN entre 2003 et 2006, ont permis de mettre en avant plusieurs bonnes pratiques participant à la réduction de la dosimétrie dans ces centrales :

- La place importante de la radioprotection dans l'organisation de la centrale : positions hiérarchiques élevées pour les responsables de la radioprotection, politique ALARA affichée... ;
- La réduction du terme source notamment pour les travaux en arrêt de tranche en agissant sur le design de l'installation, la propreté et la surveillance des locaux, la chimie du circuit primaire et la pose des protections biologiques ;
- La réduction des volumes de travail exposés par l'optimisation des travaux de maintenance, une bonne connaissance de l'installation, des formations régulières, une collaboration étroite entre les radioprotectionniste et les autres métiers ;
- L'utilisation de la télésurveillance et de la télédosimétrie.

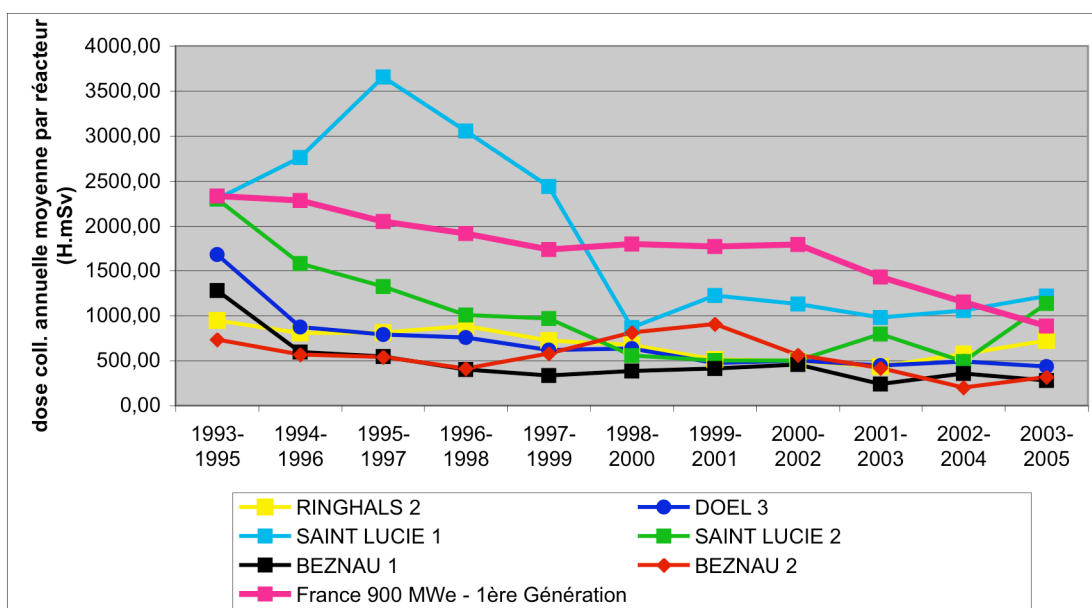
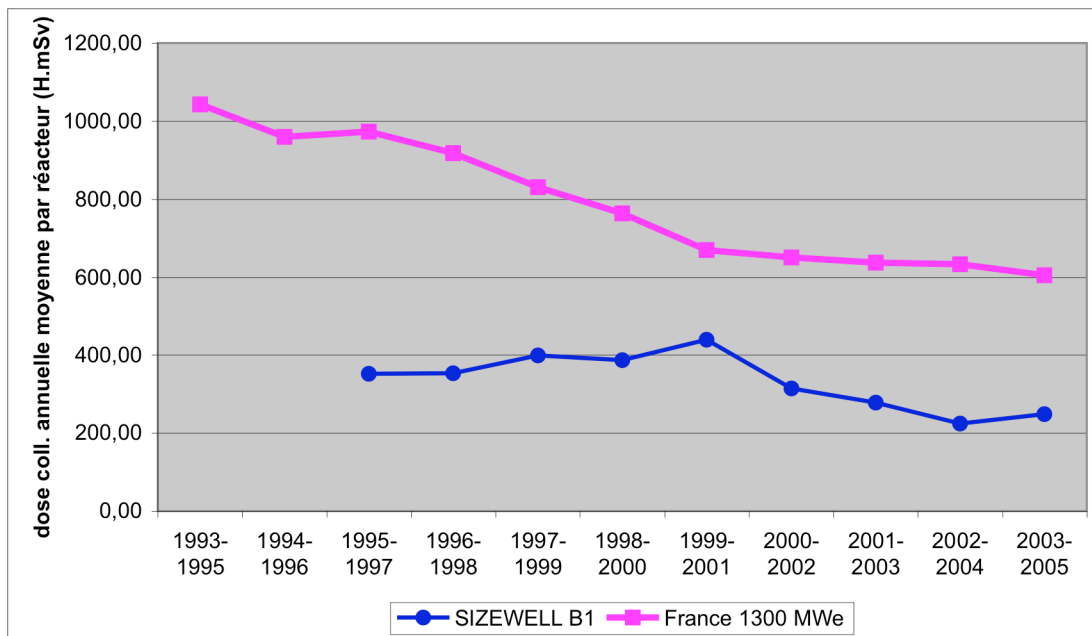
Il convient de souligner que les enseignements tirés de ces visites ont permis à EDF d'orienter fortement certains dossiers. Par ailleurs, ces visites ont permis aux représentants des CNPE de voir comment d'autres exploitants abordent des problèmes similaires aux leurs.

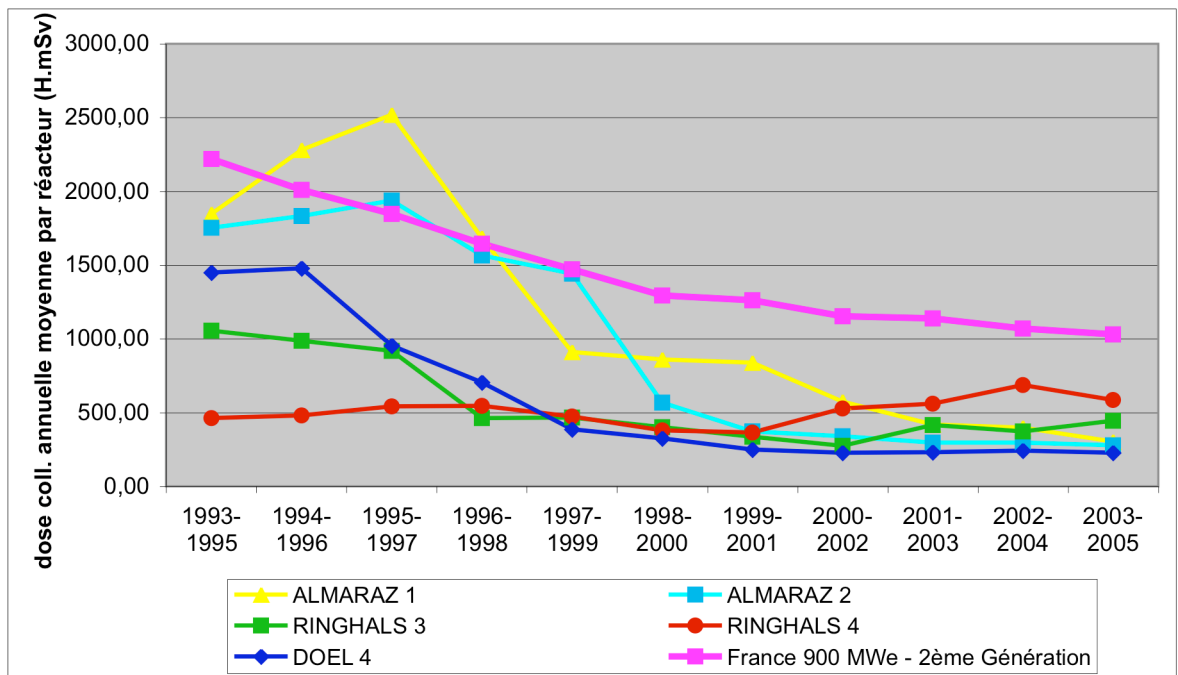
Ces visites d'intercomparaison vont se poursuivre jusqu'en 2009 avec notamment la visite de la centrale de Paks en Hongrie en 2007, puis celle d'une centrale russe, japonaise ou coréenne en 2008. Parallèlement de nouvelles visites devraient être également organisées dans certaines des centrales déjà visitées afin d'analyser les évolutions en matière de radioprotection depuis la première mission.

REFERENCES

- [1] C. LEFAURE, P. CROÛAIL, J-F. LABOUGLIE, **Organisation de la radioprotection et des arrêts de tranche à la centrale nucléaire d'Almaraz (Espagne)**, Rapport CEPN N° 281, mars 2004 (Confidentiel).
- [2] P. CROÛAIL, C. SCHIEBER, G. MACHICOANE, **Organisation de la radioprotection à la centrale nucléaire de Doel (Belgique)**, Rapport CEPN N° 278, janvier 2004 (Confidentiel).
- [3] P. CROÛAIL, C. SCHIEBER, B. LADUNE, **Organisation de la radioprotection à la centrale nucléaire de Ringhals (Suède)**, Rapport CEPN N° 282, avril 2004 (Confidentiel).
- [4] P. CROÛAIL, B. JEANNIN, C. LEFAURE, L. PANISSET, **Organisation de la radioprotection à la centrale nucléaire de Sizewell (Royaume-Uni)**, Rapport CEPN N° 290, décembre 2004.
- [5] G. ABELA, P. CROÛAIL, F. DROUET, P. MACIPE, **Organisation de la radioprotection à la centrale nucléaire de Saint Lucie (États-Unis)**, Note CEPN 06/05, février 2006 (Confidentiel).
- [6] P. CROÛAIL, P. DOMISSE, F. DROUET, E. HAUSER, **Organisation de la radioprotection à la centrale nucléaire de Beznau (Suisse)**, Note CEPN 06/23, octobre 2006 (Confidentiel).
- [7] L. VAILLANT, C. LEFAURE, G. CORDIER, I. FUCKS, C. MARTEEL, **Benchmarking on remote monitoring systems: Vogtle Nuclear Power Plants (USA)**, Note CEPN 06/48, décembre 2006 (Confidentiel).
- [8] L. VAILLANT, C. LEFAURE, G. CORDIER, I. FUCKS, C. MARTEEL, **Benchmarking on remote monitoring systems: Calvert Cliffs Nuclear Power Plants (USA)**, Note CEPN 06/49, décembre 2006 (Confidentiel).

ANNEXE 1 : COMPARAISON DES DOSES COLLECTIVES ANNUELLES MOYENNEES SUR 3 ANS DES REACTEURS VISITES AVEC CEUX DES REACTEURS FRANÇAIS DE MEME CONCEPTION





ANNEXE 2 : PLAN DE LA GRILLE D'ENTRETIEN UTILISEE LORS DES VISITES

1. ORGANISATION ET MANAGEMENT DE LA RP
 - 1.1. Organisation générale (organigrammes, ...)
 - 1.2. Politique RP - Objectifs globaux au niveau du site et au niveau corporate
 - 1.3. Mesure de performance- Audits - autoévaluation...
 - 1.4. Intercomparaison niveau national et/ou international

2. FORMATION A LA RADIOPROTECTION DES INTERVENANTS ET DES SPECIALISTES RP

3. GESTION DU ZONAGE DE L'INSTALLATION ET DE LA SURVEILLANCE DES LOCAUX

4. RELATIONS AVEC LES PRESTATAIRES

5. RELATIONS AVEC LES AUTORITES DE SURETE (AVANT, PENDANT ET APRES L'ARRET)

6. PREPARATION DES ARRETS
 - 6.1. Planification
 - 6.2. Préparation des chantiers
 - 6.3. Optimisation
 - 6.4. Prévisionnels dosimétriques
 - 6.5. Réunions où les problèmes RP sont abordés
 - 6.6. Information, formation et motivation des intervenants

7. SUIVI DES ARRETS
 - 7.1. Gestion de la dosimétrie individuelle
 - 7.2. Suivi des chantiers

8. RETOUR D'EXPERIENCE

9. REFLEXION SUR LES FACTEURS EXPLICATIFS DE PROGRES OU DE DEGRADATION ET SUR LES MOYENS D'ACTIONS POUR PARVENIR AUX OBJECTIFS

10. DONNEES RELATIVES A LA CONCEPTION ET A L'EXPLOITATION