



CADOR : UNE DEMARCHE STRUCTUREE APPLIQUEE A LA POSE DES PROTECTIONS BIOLOGIQUES

Charlotte DABAT-BLONDEAU, François RENARD

EDF/DPN/UTO

1 avenue de l'Europe - CS 30451 MONTEVRAIN
77771 MARNE LA VALLEE CEDEX 04

Jean-Yves LUCAS

EDF R&D / OSIRIS

1 avenue du Général de Gaulle
92141 CLAMART CEDEX

1. Introduction

L'outil baptisé CADOR (Code d'Aide à la Décision pour l'Optimisation de la Radioprotection) a été conçu par L'Unité Technique Opérationnelle (UTO) de la Direction de la Production Nucléaire (DPN) et le département OSIRIS de la R&D d'EDF. Son but est d'élaborer de bons scénarios de radioprotection en considérant la complexité des situations d'intervention de maintenance en centrale nucléaire : multiplicité des sources d'irradiation, foisonnement des chantiers, choix des options de protection et de leurs mises en place, durée des opérations, nombre d'intervenants, dosimétrie externe, pénibilité des actions, ... L'outil permet de fournir une analyse a priori des situations, d'optimiser les moyens à mettre en place et de bâtir des scénarios réalisables (propres au site étudié) en intégrant des éléments de durée et de logistique. Il permet aussi de donner aux métiers concernés des justifications étayées pour définir et pour organiser les actions à mener. C'est à ce titre un support de liaison entre les différents acteurs. Il répond à un enjeu fort d'EDF-DPN de maîtrise de la dosimétrie des intervenants. Une première application concernant l'optimisation de la pose des protections biologiques (matelas de laine de plomb utilisés pour faire écran aux radiations) a été testée grâce à plusieurs expérimentations sur site. Au regard des résultats obtenus, l'application a été déclarée comme étant un levier technique majeur pour contrer la remontée de dose prévue.

2. Le contexte

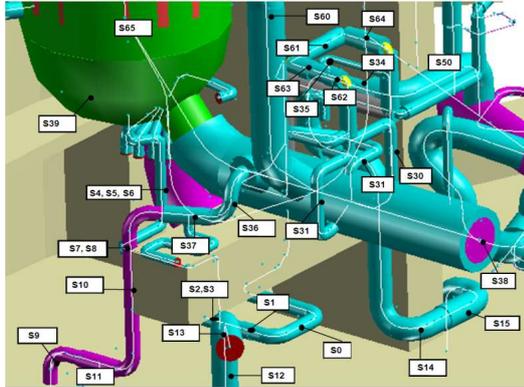
La radioprotection des travailleurs exposés aux rayonnements ionisants est soumise à une réglementation qui impose d'optimiser leur dosimétrie aussi raisonnablement que possible compte tenu des facteurs économiques et sociaux (principe ALARA). Accessoirement, elle touche aussi à une dimension médiatique sensible qui conditionne l'acceptation de l'énergie nucléaire par le public. Pour ces raisons, l'indicateur sur la dosimétrie collective moyenne intégrée par réacteur et par an est particulièrement suivi au niveau d'EDF-DPN. Les efforts accomplis depuis les années 1980 ont conduit à une diminution régulière de cette dose jusqu'à atteindre une valeur de l'ordre de 700 H.mSv par réacteur et par an. Cela positionne EDF à un bon niveau de radioprotection au niveau international. Un important rebond est toutefois attendu dans les prochaines années.

3. La démarche CADOR

L'Unité Technique Opérationnelle (UTO) de la DPN est en charge de la gestion mutualisée des moyens et dispositions de maintenance pour le Parc de production. C'est un endroit privilégié pour observer le terrain et les pratiques, mesurer les performances, identifier des pistes de progrès. Dans le domaine de la radioprotection, l'idée est apparue d'optimiser le système dans sa globalité à l'échelle d'un arrêt de tranche et de manière industrielle, plutôt que de raisonner chantier par chantier comme cela est actuellement le cas. L'analyse détaillée du déroulement d'un arrêt de tranche laissait effectivement supposer que des améliorations étaient envisageables en mutualisant l'analyse d'optimisation et la gestion des moyens.

4. Le modèle physique

La description spatiale rend compte des sources d'irradiation S_n et des postes de travail P_m où sont réalisées les tâches H_i du programme d'intervention. Le contexte radiologique est défini par l'ensemble des interactions de débit de dose $Ded_{n,m}$ entre ces entités. Il est donné dans l'état de référence (R) qui correspond à un état initial au moment de l'arrêt du réacteur avec les circuits vides d'eau et qu'aucune action n'a encore été menée.



	P_1	P_2	P_3	...	P_m
S_1					
S_2					
S_3					
S_4					
...					
S_n					

La description temporelle rend compte de l'ensemble des tâches H_i qui se déroulent en fonction du temps. Les modifications de contexte radiologique sont envisagées sous forme d'options O_h pouvant être mises en place (par exemple d'une pose de protection biologique, une action de décontamination, etc.). Leur efficacité prend la forme d'une matrice de facteur de réduction de débit de dose $F_{h,n,m}$, définie pour chaque interaction Source-Poste.

	P_1	P_2	P_3	...	P_m
S_1					
S_2					
S_3					
S_4					
...					
S_n					

L'effet d'une combinaison d'options en place est donné par le produit terme à terme de leurs matrices. Cette opération permet de rendre compte des variations de débits de dose avec une erreur comprise entre -4% et +7% dans les conditions usuelles de fonctionnement. Cette précision est acceptable en pratique pour appréhender l'évolution d'un scénario en fonction du temps.

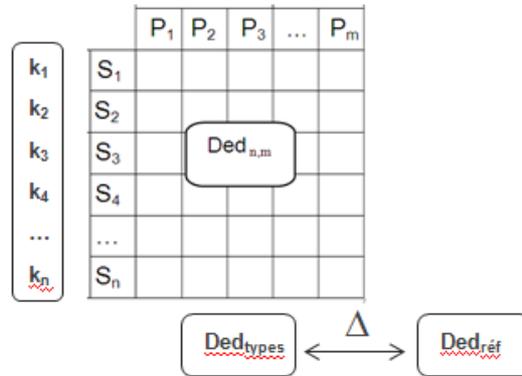
$$Ded_{n,m} = Ded_{n,m}^{(R)} \cdot \prod_{\text{sélect Options } O_h} F_{h,n,m}$$

La dose des tâches H_i de ce scénario peut alors être calculée finement à partir des VTE_i (volumes de temps exposés aux rayonnements ionisants) passés aux différents postes P_m . Les VTE_i, qui sont des données délicates à recueillir, peuvent être évaluées à partir des durées d'intervention planifiées grâce à un coefficient de proportionnalité Kt_i déterminé expérimentalement.

$$D_i = Ded_m \cdot VTE_i$$

$$VTE_i = \text{DuréePlanifiée}_i \cdot Kt_i$$

Une opération de calage est effectuée préalablement à la recherche de solutions afin de faire correspondre au mieux le modèle à la réalité. La contribution des sources S_n est ajustée grâce à un coefficient de pondération k_n afin que les débits de doses mesurés en certains endroits de l'installation correspondent aux valeurs calculées. Ces coefficients k_n sont déterminés avec une méthode de minimisation des écarts mesures/modèle au sens des moindres carrés sous contraintes de bornes.



5. L'optimisation des scénarios de protections

Le problème du choix et du placement des bonnes options de protection dans le planning d'intervention présente des caractéristiques originales du point de vue de l'optimisation combinatoire. Il ne s'agit pas d'un problème d'ordonnancement en tant que tel. En effet, nous ne pouvons savoir a priori combien de tâches de pose et de dépose de protections doivent ou peuvent être ajoutées sans violer les contraintes de ressources et de moyens, tout en maximisant l'effet bénéfique de ces poses de protection pour l'ensemble des intervenants, sans surexposer les poseurs de protections. Une méthode d'optimisation originale, aux confins de l'optimisation et de la simulation a été mise au point. Elle s'appuie sur une estimation du gain dosimétrique pour chacune des options disponibles. Ces indications sont recalculées après chaque mise en place d'une option en prenant en compte la combinaison des effets.

Option	Tâche	Date de début	VTE (...)	Ded (...)	Dose (H...)	Métier	Nb intervenants
	JAL0	06/04/2013 01:00					0
00096_Paravent_permanent_acier_auto...	Pose_de_PB_(O0096)	06/04/2013 01:00	2.50	0.25	0.000	Plombeur	3
09001_Niveau_Eau	Circuit_plein_(O9001)	06/04/2013 01:00	0.00	0.00	0.000	Conduite	0
	JAL1	06/04/2013 01:30					16
	CARTOGRAPHIE_Ded_8_CONTAMINATION-6	06/04/2013 02:30	0.03	0.14	0.003	Maintenance	1
	CARTOGRAPHIE_Ded_8_CONTAMINATION-7	06/04/2013 02:30	0.03	0.38	0.007	Maintenance	1
	CARTOGRAPHIE_Ded_8_CONTAMINATION-8	06/04/2013 02:30	0.03	0.07	0.001	Maintenance	1
	MISE_A_JOUR_RADIOLOGIQUE_BASE_CADO...	06/04/2013 02:30	0.03	0.08	0.002	Maintenance	1
	MISE_A_JOUR_RADIOLOGIQUE_BASE_CADO...	06/04/2013 02:30	0.03	0.04	0.001	Maintenance	1
	MISE_A_JOUR_RADIOLOGIQUE_BASE_CADO...	06/04/2013 02:30	0.03	0.12	0.002	Maintenance	1
	MISE_A_JOUR_RADIOLOGIQUE_BASE_CADO...	06/04/2013 02:30	0.03	0.09	0.002	Maintenance	1
00095_PbDirect_autour_partie_basse_FT...	Decalorifugeage_(O0095)	06/04/2013 02:34	1.00	0.24	0.170	(Dé)calorifugeur	2
00095_PbDirect_autour_partie_basse_FT...	Pose_de_PB_(O0095)	06/04/2013 04:14	4.00	0.11	0.294	Plombeur	4
	DELOGSTA_TO/TP-GV1	06/04/2013 06:30	0.40	0.11	0.029	Maintenance	1
	CARTOGRAPHIE_REGLEMENTAIRE_BR_(TOP...	06/04/2013 14:00	0.05	0.14	0.005	Maintenance	1
	CARTOGRAPHIE_REGLEMENTAIRE_BR_(TOP...	06/04/2013 14:00	0.05	0.09	0.003	Maintenance	1
	CARTOGRAPHIE_REGLEMENTAIRE_BR_(TOP...	06/04/2013 14:00	0.05	0.07	0.002	Maintenance	1
	CARTOGRAPHIE_REGLEMENTAIRE_BR_(TOP...	06/04/2013 14:00	0.05	0.38	0.014	Maintenance	1
	CARTOGRAPHIE_REGLEMENTAIRE_BR_(TOP...	06/04/2013 14:00	0.05	0.08	0.003	Maintenance	1

Un exemple de solution fournie par CADOR : les tâches de maintenance apparaissent en noir, les tâches en bleu et en rouge correspondent à des options de protection qui ont été insérées dans le planning de référence

6. Les expérimentations

Une première expérimentation a été réalisée sur l'arrêt de tranche de Tricastin 2 en février 2011. Une ingénierie spécialisée a pour cela été diligentée sur site pour exploiter l'outil et conseiller sur la mise en place des protections biologiques « bien montées, au bon endroit, au bon moment ». Un gain en dose de 120 H.mSv a été obtenu à un coût raisonnable (soit un gain de 27% sur le périmètre de l'étude). La méthodologie employée consiste, grâce à l'outil CADOR utilisé en



simulation, à reconstruire *a posteriori* le scénario qui se serait déroulé sans son utilisation en optimisation. Les résultats ont été corroborés par recoupement avec les suivis dosimétriques au niveau de plusieurs chantiers. Une deuxième intervention a été réalisée début 2013 sur l'arrêt de tranche de Gravelines 3. Elle a de même engendré un gain de 75 H.mSv et a permis de démontrer qu'un potentiel d'environ 150 H.mSv était atteignable.

7. Le déploiement

L'outil amène une valeur ajoutée incontestable, tant par les éclaircissements, le sens et les justifications des choix qu'il apporte, que par la fluidification des relations entre acteurs et l'organisation, qu'il rationalise. Il constitue un levier majeur de maîtrise de la dosimétrie collective. C'est pourquoi l'utilisation de la solution CADOR sur les tranches 900 MW CPY et 1300 MW a été décidée par la DPN. Le déploiement effectif de cette version industrielle commencera dès la fin de cette année 2014, après finalisation des jeux de données génériques pour chaque palier nucléaire.