

P16. APPROCHE DE L'OPTIMISATION DE LA RADIOPROTECTION VIS-A-VIS DU RISQUE DE CONTAMINATION LORS DU TRAVAIL EN BOITE A GANTS A PARTIR DU RETOUR D'EXPERIENCE ISSU DE LA RADIOPROTECTION DU COMPLEXE DE FABRICATION DE COMBUSTIBLE DE CADARACHE (CFCa)

Auteurs : Jean Georges, Bernard Ferrero et Philippe Bruguier,
Service de Protection contre les Rayonnements du CEA Cadarache

Deux à trois cents ruptures de confinement par an

Deux à trois cents ruptures de confinement par an à l'Atelier de Technologie du Plutonium (ATPu) du CFCa attirent l'attention des responsables à des titres divers de la sécurité radiologique. Ces événements de contamination correspondent pour la plupart à des percements des gants de boîte à gants (BAG), qui entraînent plus ou moins selon le cas de dissémination de radioéléments émetteurs alpha de type plutonium ou américium dans les cellules. On peut considérer que dans une installation industrielle de production de combustible, ces percements rentrent quasiment dans les problèmes d'exploitation courante.

Après ce constat et la difficulté qu'il y a à accepter en fonctionnement normal cette apparition fréquente d'événements radiologiques viennent les questions légitimes suivantes : Fait-on assez pour limiter les risques pris par les opérateurs en BAG ? Fait-on assez pour diminuer le nombre de ruptures de confinement ? En quelque sorte, quelle part de notre énergie doit-on mettre sur ce problème ? Sommes-nous en deçà du stade de l'optimisation ou l'avons nous dépassé et notre temps ne serait-il alors pas mieux utilisé à l'examen d'autres risques comme l'exposition externe (plus d'un Sv par an en dose collective avec certains intervenants à plus de 15 mSv/an en dose individuelle) ? L'exposition par blessure n'apparaît que très rarement, mais elle peut être à l'origine d'exposition individuelle grave.

En ne remontant qu'au début des années 90, on peut noter de nombreuses actions réalisées à l'ATPu pour limiter la fréquence et les conséquences des ruptures de confinement. Ces actions portent sur la détection de la contamination, la qualité des gants, la limitation de l'intervention humaine par l'automatisation et enfin l'organisation du travail.

Ainsi le changement de fabrication du combustible (passage du procédé COCA au procédé MIMAS) a contribué à l'automatisation et à la diminution des percements de gants. On doit aussi noter l'existence d'un groupe de travail auquel participe le CFCa qui depuis plusieurs années travaille en liaison avec les fabricants de gants pour améliorer leur performance et leur résistance. Il existe sur le marché des gants de différentes natures plus ou moins résistants mais aussi plus ou moins adaptés aux opérations à réaliser car la solidité peut par exemple être accompagnée d'une perte de souplesse. Les gants en néoprène sont remplacés aux endroits où l'on craint des ruptures de confinement par des gants en Hypalon, voire en polyuréthane. Le latex conserve un intérêt par sa souplesse pour certaines opérations de précision.

Un progrès important a été réalisé en matière de détection de la contamination atmosphérique avec la mise en place des capteurs de type EDGAR, qui ont permis de s'affranchir en partie des problèmes de radon et donc de détecter plus rapidement l'apparition de particules radioactives dans l'atmosphère des cellules.

Représentativité des données recueillies à partir des capteurs EDGAR

Une étude a été conduite en 1998 par le Service de Protection contre les Rayonnements (SPR) du centre en liaison avec le Service Médical du Travail (SMT) pour estimer la représentativité réelle des données recueillies à partir des capteurs EDGAR. Celle-ci portait sur 40 incidents survenus à l'ATPu dans des cellules « poudres » entre 1989 et 1997 dont 20 ont entraîné une exposition interne supérieure à 1/30^{ème} de la Limite Annuelle d'Incorporation (LAI) et 20 une exposition non nulle mais inférieure à

1/30^{ème} de la LAI. Elle a consisté à comparer les expositions potentielles notées sur le tableau de contrôle des rayonnements (TCR) avec les expositions retenues par le SMT.

En ce qui concerne les événements qui ont entraîné une exposition supérieure à 1/30^{ème} de la LAI, on constate que lorsqu'une exposition est retenue par le SMT, elle est toujours supérieure ou égale à celle détectée par le capteur EDGAR. Si on élimine le cas extrême d'un capteur très éloigné de l'incident qui a mesuré 150 fois moins que l'exposition réelle, on peut considérer en première approche que le résultat de mesure donné par un capteur EDGAR peut sous-estimer jusqu'à 20 fois, et en moyenne d'un facteur 9 la quantité de radioéléments réellement inhalée par l'agent lors d'un incident du type de ceux rencontrés à l'ATPu.

La comparaison des expositions notées par le SMT comme inférieures au 30^{ème} de la LAI est plus difficile mais la tendance est la même que pour les expositions supérieures au 30^{ème} de la LAI.

L'écart constaté entre les valeurs d'expositions réelles et ce qui est vu sur le TCR montre l'intérêt de placer les capteurs directement à proximité de l'opérateur. Plutôt que de corriger ces écarts, qui restent malgré tout très variables, par l'intégration d'un « coefficient de proximité » dans le TCR, le choix a été fait de ne pas mettre de facteur correctif mais de s'en tenir à la prise en compte de ce retour d'expérience dans l'analyse des futurs événements radiologiques. La mise en place d'étriers (support du détecteur de la balise) supplémentaires au plus près des opérateurs a été préconisée.

Un seuil d'alarme en exposition relative

Le système de surveillance radiologique prévoit la possibilité de fixer deux seuils dont le passage entraîne le déclenchement d'alarmes sonores et lumineuses. Plutôt que de fixer le premier seuil en concentration (LDO*) le plus bas possible au-dessus du bruit de fond ambiant et le second aussi en concentration (LDO) à une valeur correspondant par exemple à la limite du port du masque filtrant, le choix a été fait de fixer le 2^{ème} seuil le plus bas possible en exposition relative (LDO.h*).

Ce choix de surveiller l'exposition relative en LDO.h a permis de détecter des fuites de radioéléments qui présentent un risque d'exposition pour le personnel mais n'entraînent pas forcément de dépassement du seuil exprimé en concentration. Une activité volumique de 0,1 LDO qui perdure déclencherà à terme l'alarme en LDO.h et pas celle en LDO si elle est fixée par exemple à 1 LDO.

**Le système de traitement des données associé au capteur de radioprotection permet d'exprimer le résultat de la mesure en concentration, en Bq/m³ ou en nombre de LDO c'est à dire en Bq/m³ divisés par la LDO exprimée aussi en Bq/m³. La LDO, Limite Dérivée Opérationnelle, correspond à la Limite Dérivée de Concentration dans l'Air (LDCA) la plus pénalisante ou la LDCA « mélange » éventuellement pondérée par des facteurs correctifs comme le facteurs de proximité (non utilisé à l'ATPu). Il est aussi possible d'exprimer le résultat de la mesure en Bq accumulés sur le filtre du capteur ou en LDO.h, c'est à dire en Bq divisé par le débit fixe d'air passé au travers du filtre du capteur et la LDO. La valeur en LDO.h permet une interprétation facile dans la mesure où on peut la comparer directement à 2000 LDO.h qui correspondent à l'incorporation par inhalation de 1 LAI.*

Importance de l'organisation du travail

Afin de prendre un peu de recul par rapport aux pratiques quotidiennes de gestion des événements de contamination à Cadarache, nous avons en 1999 entrepris une analyse qui s'est appuyée sur des échanges de retour d'expérience avec d'autres centres nucléaires dont MELOX et Valduc.

Nous avons bien sûr constaté l'efficacité des améliorations techniques, mais la contribution de l'organisation du travail dans la diminution du nombre et de la gravité des ruptures de confinement nous est apparue plus importante que ce que nous avions à l'esprit avant cette étude.

L'analyse des ruptures de confinement sur des boîtes à gants permet d'identifier des causes multiples. On peut noter :

- L'environnement externe de la boîte à gants (accès et position de l'intervenant par rapport aux gants).
- L'environnement interne de la boîte à gants (encombrement, état de nettoyage et de rangement).
- La présence de produits corrosifs.
- La présence de produits coupants (angles vifs, surfaces métalliques détériorées ...).
- Des étirements mécaniques des gants trop importants.
- Des outils non adaptés.
- L'absence de mode opératoire pour une intervention complexe ou à effectuer rapidement.
- Une formation et une expérience insuffisante des intervenants.
- Le mauvais état des gants, gants trop vieux ou usés.

A ces causes peuvent être associées des actions correctives après un événement radiologique, mais aussi des « bonnes pratiques » et des actions préventives : on peut nettoyer et ranger les BâG, choisir des gants plus résistants pour certaines opérations (comme on choisit des gants plombés pour certaines opérations à risque d'exposition externe), éliminer les produits coupants ou protéger les angles vifs, mettre au point le mode opératoire le plus efficace, choisir des intervenants formés et suffisamment expérimentés, prévoir une formation ou un entraînement sur boîte inactive, etc ...

Ces différentes actions rentrent dans l'organisation du travail en particulier au niveau de la formation des intervenants, et de la préparation des interventions qui doit prévoir le temps et les outils de l'analyse. Les causes de ruptures de confinement apparaissent comme autant de points d'une checklist, apprise ou écrite, à passer en revue avant d'intervenir. Celle-ci peut permettre de mieux réaliser si besoin est des actions préventives. L'analyse des événements radiologiques par rapport à ces causes habituelles peut aussi permettre d'orienter le choix des actions d'amélioration non spécifiques à un événement en particulier (exemple : constat de la nécessité de relancer des sessions de formation pratique au travail en BâG).

Approche ALARA de l'exposition interne par inhalation avec la valeur monétaire de l'Homme.Sievert (H.Sv)

On constate que les différentes actions menées depuis des années ont contribué à limiter l'exposition du personnel à des niveaux très bas. Le nombre d'événements radiologiques associés à des ruptures de confinement a globalement diminué. Pour les événements qui persistent, la présence de capteurs efficaces permet l'évacuation rapide du personnel en cas de détection de contamination atmosphérique et ainsi l'absence d'inhalation significative dans la majorité des cas. Actuellement, l'exposition interne collective annuelle du personnel par inhalation se limite à quelques mSv en moyenne.

Cette situation ne doit pas pousser à relâcher les efforts entrepris, car on ne peut exclure des concours de circonstances qui entraîneraient des expositions par inhalation beaucoup plus fortes que celles qui ont été constatées jusqu'ici.

Le risque d'exposition par inhalation, ou exposition potentielle annuelle par inhalation (*en mSv/an*), peut être présenté par la formule suivante :

$$\text{Risque par inhalation} = \text{Fréquence des ruptures de confinement} \quad \times \quad \text{Exposition potentielle moyenne par rupture de confinement}$$

(*en nombre/an*) (*en mSv*)

Le risque est fonction de la fréquence des ruptures de confinement et de l'exposition potentielle. On peut considérer qu'il a diminué de 30 % environ depuis 1995 (alors que la production augmentait fortement) grâce à l'automatisation, l'amélioration de la qualité des gants et les dispositions

d'organisation du travail qui ont permis de baisser la fréquence des ruptures de confinement. Le coût de ces mesures est difficile à évaluer mais on peut noter que c'est aussi l'intérêt de l'exploitation que de diminuer les arrêts de fonctionnement sur incident.

Pour utiliser le retour d'expérience disponible dans le cadre d'une analyse de type ALARA, nous avons examiné le cas de deux cellules de l'ATPu dans lesquelles les matières radioactives sont sous forme de poudre dans les BâG. 12 balises EDGAR assurent la surveillance de la contamination de l'air.

Pour l'année 2001, 16 événements radiologiques dans ces deux cellules ont entraîné une contamination atmosphérique significative. Les contaminations sont de type « bouffée », soit avec une concentration qui monte très vite puis revient à un niveau bas en moins d'un quart d'heure grâce à l'épuration assurée par la ventilation. L'activité de la cellule remonte ensuite par à-coup lors de remises en suspension jusqu'à la décontamination du local.

On peut estimer l'exposition potentielle de base sans EDGAR en considérant l'exposition qu'auraient subie les agents présents dans la cellule s'ils n'avaient pas évacué les lieux suite à l'alarme contamination. Pour cela on retient la valeur moyenne d'exposition en LDO.h, qui correspond à l'activité détectée par les capteurs de la cellule multipliée par le nombre d'agents présents.

Les valeurs moyennes lues sur le TCR vont de 2 à 16 LDO.h. On sait que 2000 LDO.h correspondent à une LAI et donc approximativement à 50 mSv engagés sur 50 ans. Compte tenu du nombre d'agents dans les cellules, on arrive en faisant la somme des expositions potentielles individuelles à une exposition potentielle de base de 7,2 H.mSv pour l'année 2001.

Nota : Cette valeur pourrait être augmentée si l'on prenait en compte ici le retour d'expérience décrit plus haut sur le fait que l'exposition réelle est en général plus importante que celle mesurée par les capteurs EDGAR.

Compte tenu du retour d'expérience, on négligera dans le raisonnement ci-après l'exposition potentielle restante quand on évacue comme aujourd'hui le local contaminé dès que l'alarme est donnée par les capteurs EDGAR.

En prenant un coût d'installation d'une voie de mesure EDGAR de l'ordre de 23 kiloeuros, l'équipement des deux cellules considérées se monte à environ 280 kiloeuros. Si considère une durée d'utilisation de 20 ans, le coût est de 14 kiloeuros par an qu'on peut comparer au 7,2 mSv d'exposition « économisés » en 2001. Le coût du mSv économisé dans ces conditions est de l'ordre de 1,9 kiloeuros.

Même si elle n'est que le résultat de l'étude d'une seule année, il est intéressant de comparer cette valeur à la valeur monétaire de l'H.Sv établie par le CEPN pour EDF, mais qui est couramment utilisée au CEA pour les études ALARA qui concernent l'exposition externe. La valeur monétaire de référence part donc de 20,5 euros pour le personnel exposé à 1 mSv/an, monte à environ 320 euros pour 5 mSv/an, 1,2 kiloeuros pour 10 mSv/an et 2 kiloeuros pour les intervenants dont l'exposition annuelle est de 15 mSv.

L'exposition des agents qui travaillent dans les deux cellules considérées provient de l'irradiation externe et va de 5 à 15 mSv/an.

L'investissement en capteur EDGAR paraît donc financièrement élevé par rapport au gain dosimétrique constaté, mais proche de la valeur de référence pour les intervenants dans les cellules dont l'exposition annuelle est de 15 mSv.

Si on examine la sensibilité de l'option aux variations d'hypothèses, on peut envisager le cas d'une contamination très importante non détectée par l'opérateur avant son contrôle de contamination surfacique individuel en fin de manipulation. Cette situation est peu probable car les très fortes

contaminations associées à des ruptures de confinement sont en général détectées directement par l'opérateur. Elle justifie cependant l'installation systématique de capteur de surveillance.

D'une façon générale, l'exposition annuelle par inhalation à l'occasion de travaux en boîte à gants sur le CFCa ne correspond qu'à quelques mSv par an en moyenne. Traduits en valeur monétaire, les sommes correspondantes ne justifieraient pas à elles seules la recherche et le développement de nouvelles techniques de surveillance, comme le développement de dosimètres contamination individuels par exemple.

L'exposition interne par blessure

L'analyse menée sur le risque d'exposition par inhalation peut difficilement être reproduite pour le cas des blessures parce qu'on a suivi des centaines de contaminations atmosphériques alors qu'il n'y a que quelques blessures chaque année.

Le risque, ou exposition potentielle annuelle par blessure en BAG (*en mSv/an*), peut s'exprimer de la façon suivante :

$$\text{Risque par blessure} = \text{Fréquence des blessures} \quad \times \quad \text{Exposition potentielle moyenne}$$

(en nombre/an) *(en mSv)*

On a constaté 4 blessures en 2000 et 4 en 2001. Moins d'une blessure tous les deux ans entraîne une exposition significative mais celle-ci peut être très importante. La limite annuelle d'incorporation peut être atteinte par la contamination d'une plaie par une activité de l'ordre de 30 Bq seulement d'émetteur alpha de type Pu.

Le 21 février 1994, une blessure avec un tournevis contaminé a entraîné une dose engagée sur 50 ans estimée à 25 fois la limite annuelle.

Selon les conditions, l'exposition peut être très variable. Une blessure très dosante accompagnée de quelques autres peu dosantes en plusieurs années ne suffisent pas pour quantifier le risque précisément. On peut simplement retenir les conséquences très graves pour l'agent que peut engendrer ce type d'événement.

On voit ainsi que l'automatisation est très efficace, bien qu'elle engendre des opérations de maintenance parfois plus complexes à réaliser que des opérations d'exploitation courante. La préparation des interventions prend toute sa justification, de même que l'élimination systématique des objets coupants ou à angles trop vifs.

Enfin en cas de blessure, l'organisation doit permettre la prise en charge médicale rapide de l'agent pour limiter l'exposition par nettoyage de la plaie et injection de chélateur.

Conclusion et Orientations

L'intérêt de limiter les ruptures de confinement va au-delà de l'aspect purement sécurité. On peut considérer que le travail en BAG est optimisé du point de vue du risque d'inhalation même s'il faut rester vigilant. La gestion du risque de blessure s'apparente à la gestion de certains risques non radiologiques où des dispositions constructives et d'autres du domaine de l'organisation du travail doivent permettre de limiter l'apparition des accidents individuels graves.

L'exposition externe reste sur ce type d'installation un risque important qui passe par la connaissance et la maîtrise des conditions de travail des intervenants.