

La dosimétrie : Évaluation et prévention des risques professionnels dans les opérations de radiographie industrielle. Évaluation dosimétrique prévisionnelle

F. COLETTI^{1,a}, D. PAUL^{2,a}

RÉSUMÉ Cette publication s'attache à examiner les paramètres influant la dosimétrie des interventions de radiographie industrielles. Ces paramètres sont déterminés dans une description de la pratique, puis font l'objet de mesures sur le terrain, mais aussi de modélisations à l'aide du code de calcul MERCURAD. Cette approche a permis d'établir un estimatif dosimétrique incluant les différentes phases des contrôles radiographiques dans des conditions réelles de l'intervention elle-même, mais aussi pendant les phases de transport et de manutention des irradiateurs. Les conclusions insistent sur la nécessité d'une organisation optimisée pour la réduction de la dosimétrie individuelle.

ABSTRACT Risk assessment at workspace in industrial radiography. Previous dosimetry analysis. This publication attempts to examine the parameters influencing the dosimetry of the industrial interventions of radiography. These parameters are given in a description of the practice, then are the subject of measurements on the field, but also of modelings using the computer code MERCURAD. This approach made it possible to also establish estimated dosimetric including the various phases of the gamma-ray inspection under real conditions of the intervention it even, but during the phases of transport and handling of the irradiators. The conclusions insist on the need for an organization optimized for the reduction of individual dosimetry.

Keywords: radiographie industrielle / dosimétrie / estimatif dosimétrique / code de calcul / ALARA

1. Objectif

La gammagraphie du fait de l'utilisation de rayonnements ionisants de très forte énergie permet de contrôler des matériaux de grande épaisseur mais soumet les opérateurs à un risque d'exposition externe non négligeable.

L'utilisation de cette technique dans des conditions de travail difficiles, entraîne d'autres risques professionnels dits « classiques ». Il est donc impératif de mettre en place des outils garantissant la maîtrise des risques de cette activité.

^a Animateurs

¹ Laboratoire de biogénotoxicologie et mutagénèse environnementale, EA 1784 - IFR PMSE 112, Faculté de Médecine, Université de la Méditerranée Aix - Marseille II, 27 boulevard Jean Moulin, 13385 Marseille Cedex 05, France.

² CEA Cadarache, 13108 St Paul lez Durance, France.

Le travail présenté dans cette communication concerne l'évaluation prévisionnelle de ces risques (doses reçues par les opérateurs, analyse du poste de travail et organisation de l'activité) et la mise en place de moyens de prévention.

2. Contexte

Les opérateurs de radiographie industrielle sont considérés parmi les professionnels les plus exposés aux rayonnements ionisants tant sur le plan chronique que sur celui des risques d'exposition « aigue » accidentelle. Leurs conditions de travail sur site industriel, en atelier ou sur chantier sont souvent difficiles (travail isolé, en extérieur, de nuit, en hauteur, à l'intérieur de capacité, dans des ambiances hostiles) et les principes de radioprotection pas toujours faciles à appliquer. Ces difficultés ont motivé, sous l'impulsion de la Direction Régionale du travail, de l'emploi et de la formation professionnelle de la région PACA en 1996 (DRTEFP PACA, 1996), la rédaction d'une charte de bonnes pratiques dans le domaine de la radiographie industrielle ; sa mise en œuvre a permis de diminuer de moitié les valeurs de la dosimétrie des radiologues.

Aujourd'hui, il semble exister une certaine aggravation des conditions d'exposition des radiologues industriels, alors même qu'une nouvelle réglementation plus stricte entre en vigueur (Lacoste, 2004). Dans ce contexte, en 2005, dans le cadre du plan régional santé au travail, un programme recherche-action « Évaluer et prévenir le risque radiologique professionnel dans les opérations de radiographie industrielle » impliquant les institutionnels, les entreprises, une équipe universitaire et la Société Française de Radioprotection (SFRP) a été lancé pour remobiliser, responsabiliser tous les acteurs et maîtriser les risques (Colloque, 2005).

3. Méthodologie et résultats

L'étude a mobilisé un nombre important de professionnels (chefs et opérateurs d'entreprises de radiographie industrielle, donneurs d'ordres, entreprises de maintenance industrielle, ingénieurs de prévention, inspecteurs du travail, médecins du travail, physiciens et biologistes). Cette compétence pluridisciplinaire a permis d'appréhender l'activité dans sa globalité.

Une organisation en différents groupes de travail a été mise en place : études de postes avec dosimétrie physique, réflexions autour de l'organisation et des conditions de travail en vue de la révision de la charte de bonnes pratiques, réflexions sur la surveillance dosimétrique et médicale des salariés, évaluation biogénotoxicologique de l'exposition par la réalisation de tests visant à mettre en évidence les interactions des rayonnements ionisants avec le matériel génétique (Sari-Minodier, 2002 ; Sari-Minodier *et al.*, 2002).

Dans cette communication, c'est l'approche d'analyse des situations de travail avec dosimétrie qui sera détaillée. Un protocole visant à quantifier et à analyser les doses reçues par les opérateurs a été élaboré et validé (Azzopardi, 2005). Des mesures dosimétriques ont été réalisées lors des diverses opérations de radiographie industrielle afin de valider une modélisation des tirs en vue d'une évaluation prévisionnelle des doses.

L'analyse des conditions de travail a été réalisée par des études de postes ainsi que par des audits, entretiens et questionnaires (Klemenic, 2005).

3.1. Les radiologues et leurs matériels

Le matériel de gammagraphie (Fig. 1) est composé des éléments suivants :

- un projecteur gamma appelé plus communément gammatron ; il a pour fonction de stocker dans une protection la source radioactive (le plus souvent ^{192}Ir , ou ^{60}Co) et d'atténuer les rayonnements émis par cette dernière lorsque l'appareil n'est pas en fonctionnement (source en position stockage et dispositif d'obturation fermé) ;
- un dispositif de télécommande constitué de gaines, d'un câble (accroché au porte source), d'une manivelle ou d'un moteur, ayant pour fonction de commander à distance l'éjection et la rentrée de la source ;
- un dispositif d'éjection constitué d'une gaine et d'un embout d'irradiation ou d'un collimateur.

3.2. Déroulement d'un tir gammagraphique

La pièce à radiographier est placée entre la source de photons gamma et un film radiographique disposé dans une cassette. Après avoir connecté sur l'appareil la télécommande, la gaine d'éjection et l'accessoire d'irradiation, le radiologue industriel installe le film radiographique et balise la zone de travail. Il effectue ensuite le tir en actionnant la télécommande et la source vient alors se positionner à l'extrémité de l'accessoire d'irradiation équipé habituellement d'un collimateur destiné à réduire l'irradiation de l'opérateur. Le temps de pose varie de quelques secondes à plusieurs heures en fonction de la nature et de l'épaisseur du matériau à radiographier. Le radiologue commande ensuite le retour de la source dans le conteneur de stockage.

3.3. Méthode utilisée pour l'évaluation du risque radiologique

3.3.1. Les appareils de mesures : débitmètres

Afin d'analyser et de quantifier la dose reçue par les opérateurs, nous avons réalisé des mesures dosimétriques à l'aide de débitmètres de type RadiagemTM2000 et UltraRadicTM.

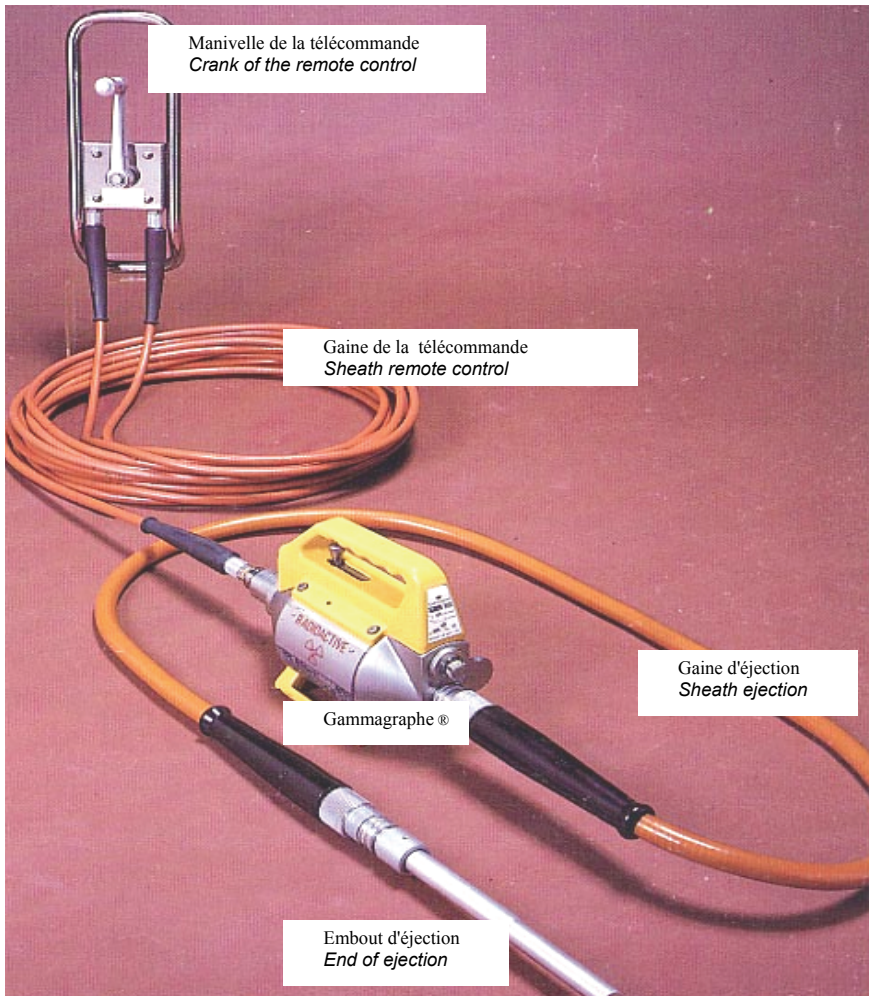


Figure 1 – Le matériel de gammagraphie.
The material of gammagraphy.

L'UltraRadiac™ (Fig. 2), de Canberra France, est un débitmètre qui fonctionne en compteur Geiger-Müller. Il peut mesurer un débit d'équivalent de dose ambiant instantané $\dot{H}^*(10)$ et un équivalent de dose ambiant cumulé depuis la dernière remise à zéro. Le compteur est un Geiger-Müller avec une précision supérieure à plus ou moins 15 % sur l'ensemble de la gamme de mesure et plus ou moins 20 % entre 80 keV et 3 MeV.



Figure 2 – L'UltraRadiac™.

Le Radiagem™2000, de Canberra France (Fig. 3), est un débitmètre fonctionnant aussi avec un compteur Geiger-Müller. Il fait les mêmes mesures que l'UltraRadiac™, mais il a la particularité de garder en mémoire le pic du débit d'équivalent de dose le plus élevé depuis sa mise en fonctionnement. Le compteur est un Geiger-Muller avec une précision supérieure à plus ou moins 15 % sur l'ensemble de la gamme de mesure qui se situe entre 40 keV à 1,25 MeV.

3.3.2. Le protocole de mesure

On considère comme une opération de tir, l'ensemble du poste de travail des radiologues industriels, il comprend la récupération du matériel au local source de



Figure 3 – Le Radiagem™2000.

l'entreprise, le transport en voiture jusqu'au lieu d'intervention, les manipulations pour la mise en place du gammatron et du collimateur et les tirs.

Dosimétrie lors de la préparation des tirs

Les mesures dosimétriques liées à la récupération du matériel (gammatron et accessoires) et au déplacement sont des mesures relativement simples qui n'engendrent pas de protocole particulier.

Cependant, la mesure des débits d'équivalent de dose à proximité du gammatron nous a semblé importante ; tout d'abord pour vérifier le respect de la norme relative aux valeurs limites de débit de doses absorbées dans l'air à proximité du projecteur (NF M 60-551), mais surtout pour quantifier l'équivalent de dose que peut intégrer un opérateur juste en portant et transportant le projecteur sans que la source ne soit sortie.

Nous avons réalisé les mesures suivantes :

- Le débit d'équivalent de dose ambiant au contact du projecteur.
- Le débit d'équivalent de dose ambiant à 5 cm du projecteur.
- Le débit d'équivalent de dose ambiant à 50 cm du projecteur.
- Le débit d'équivalent de dose ambiant à 1 m du projecteur.
- Le débit d'équivalent de dose ambiant aux places avant du véhicule de transport.

Grâce à ces valeurs, il est possible d'estimer un équivalent de dose représentatif de la dose efficace. Il suffit de pondérer les débits par le temps que les opérateurs passent à porter le projecteur pour monter une échelle, ou d'évaluer le temps passé dans la voiture avec le projecteur pour rejoindre le chantier ou l'atelier. Il est donc important de relever les temps correspondant au transport en voiture ainsi qu'à la manutention du gammatron et du collimateur.

La mesure du débit de dose au contact est intéressante car l'opérateur tient le gammatron contre lui, ce qui est souvent le cas en raison du poids assez élevé de l'appareil (17 kg).

Le débit d'équivalent de dose à 50 cm du projecteur nous donne une approximation de la dose efficace reçue par un opérateur lorsqu'il le tient à la main, la distance de 50 cm représentant environ la distance main-épaule.

Dosimétrie durant les tirs

Mesure de débit d'équivalent de dose :

Au poste de travail nous avons 4 points à mesurer (*cf.* schéma 1). Ces points ont été déterminés sur le parcours effectué par les opérateurs durant leurs manipulations.

Comme précédemment des débits d'équivalent de dose et des temps sont mesurés. Les points de mesure posent des problèmes de mise en place pratique. En effet, nous sommes confrontés à des débits de dose élevés lorsque la source est éjectée. De plus les appareils que nous avons utilisés ont un temps d'intégration et de stabilisation trop importants pour faire des mesures brèves. Cela nous oblige à faire des mesures à distance, pour que les appareils puissent se stabiliser en les laissant en un point donné et à relever leurs valeurs avant la rentrée de la source.

Il a été décidé de réaliser quatre relevés de mesures dosimétriques : le premier point (1) de contrôle se situe derrière le gammatron lorsque l'obturateur est ouvert, le second point (2) est au niveau de la télécommande lors de l'éjection de la source, la troisième mesure (3) est effectuée au point de repli et enfin la quatrième (4) au niveau du balisage.

Déroulement des mesures :

Point 1 : Le relevé de débit d'équivalent de dose derrière le gammatron avec l'obturateur ouvert est une mesure délicate. Il n'est effectué qu'une seule fois car la mesure est toujours identique et la dose pour la réaliser est importante. Nous disposons le RadiagemTM2000 au point 1 comme sur le schéma 1. Il est en mode débit d'équivalent de dose. Ce débitmètre donne un pic correspondant au plus haut débit de dose. Un opérateur ouvre l'obturateur, va à la manivelle et au bout d'un temps de quelques secondes referme l'obturateur en tournant la manivelle. Il suffit alors de lire la valeur enregistrée sur le RadiagemTM2000.

Point 2 : À la télécommande, les mesures se font au moment des tirs des radiologues. De même que précédemment, nous avons placé un débitmètre (UltraRadiacTM ou RadiagemTM2000) à la télécommande (point 2 du schéma 1). L'opérateur sort la source, part au point de repli le temps de la pose. Une fois la pose terminée, il retourne à la télécommande et lit la valeur. Ensuite il rentre la source.

Point 3 : Au repli, la mesure est simple (point 3 du schéma 1), on lit la valeur du débit d'équivalent de dose ambiant donnée par un des deux débitmètres.

Point 4 : Au balisage on procède de la même façon qu'au repli.

Pour évaluer les équivalents de doses, il faut mesurer les temps ci-dessous :

- pour l'ouverture du dispositif d'obturation du gammatron (invariant),
- pour rejoindre la manivelle de la télécommande (peut varier selon le milieu),
- pour sortir la source (invariant),
- pour aller au repli (variant selon milieu),
- pour revenir à la télécommande (variant selon milieu et opérateur),
- et fermer le dispositif d'obturation du gammatron (invariant).

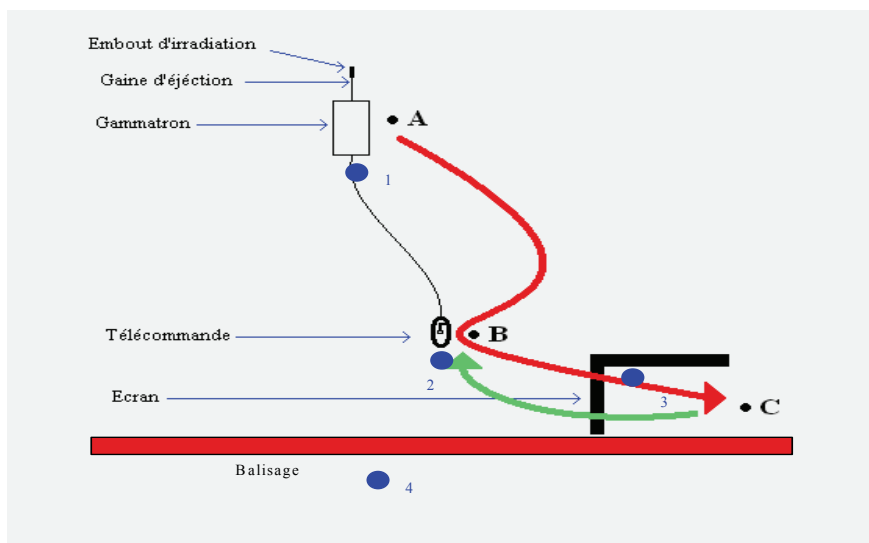


Schéma 1 – Parcours effectué par les opérateurs et les 4 points de mesures.

Course carried out by the operators and the 4 points of measurements.

Les équivalents de doses associés à ces différentes phases donnent une estimation de l'équivalent de dose reçu par les radiologues au cours de leurs manipulations. Ces résultats sont comparés aux équivalents de doses relevés et à la modélisation.

Mesures d'équivalent de dose lors des manipulations

Dans cette partie nous nous intéressons aux équivalents de dose reçus par les opérateurs durant leur parcours lors des manipulations. Ces valeurs sont plus proches de la réalité car elles vont intégrer les équivalents de doses reçus dans les différentes ambiances traversées par l'opérateur. Le schéma 1 représente les différents parcours.

De A à C : Équivalent de dose H_1

La mesure démarre lorsque l'opérateur ouvre l'obturateur, il se déplace du gammatron jusqu'à la télécommande, il sort la source et ensuite se déplace jusqu'au repli.

De C à B : Équivalent de dose H_2

La mesure démarre lorsque l'opérateur part du repli jusqu'à la télécommande et rentre la source avec fermeture automatique de l'obturateur.

De A à B : Équivalent de dose H₃

La mesure démarre lorsque l'opérateur ouvre l'obturateur, il se déplace du gammatron jusqu'à la télécommande.

Déroulement des mesures

Équivalent de dose H1 : À l'ouverture de l'obturateur en *A*, l'opérateur possède un UltraRadiac™ qui enregistre l'équivalent de dose lors de son déplacement jusqu'en *C* (point de repli).

Équivalent de dose H2 : De *C* à *B* (manivelle) nous connaissons l'équivalent de dose intégré par le radiologue jusqu'à la fermeture de l'obturateur, grâce au UltraRadiac™.

Équivalent de dose H3 : Pour connaître l'équivalent de dose intégré entre *A* et *B*, il suffit de faire :

$$H3 = H1 - H2$$

H3 pourra être mesuré directement mais cette valeur sera le plus souvent calculée.

Une feuille récapitulative regroupant les informations et les mesures à relever lors de nos visites a été mise au point. Plusieurs versions ont été élaborées avant d'obtenir les résultats résumés dans le tableau ci-après.

3.3.3. Les résultats dosimétriques

Un exemple de résultats obtenus pour une séance de tirs est présenté dans le tableau I.

En élaborant le protocole de mesure et en réalisant les mesures dosimétriques associées, nous nous sommes aperçus tout d'abord, que les entreprises de radiographie industrielle ne tenaient pas compte des doses reçues pendant le transport et lors de la manipulation du gammatron et du collimateur.

Nous avons pu remarquer que les opérateurs cumulent des doses importantes lors de la sortie et rentrée de la source. Les débits d'équivalent de dose au contact du gammatron sont élevés, demandant une prise de conscience individuelle et collective et une organisation efficace gérant au mieux les temps de transport du gammatron.

Une étude complémentaire particulière a permis de mesurer les doses reçues au niveau de la main et de la hanche (parties en contact avec le gammatron lors de sa manipulation).

TABLEAU I
Résultats des mesures dosimétriques.
Results of dosimetric measurements.

Séance de tirs du : 11/05/05	Entreprise de radiographie : B Radiologues : 1- Mr X 2- Mr Y		Projecteur N° : 2610 Type : GAM 80 Source : Ir-192 Activité : 1,59 TBq		Débits de dose : Gammatron: 0 cm : 400 µSv/h 5 cm : 130 µSv/h 50 cm : 13 µSv/h Place conducteur : 0,9 µSv/h	
		N° du tir	1	2	3	4
Débit d'équivalent de dose ambiant H* Radiagem™/ UltraRadiac™	Bruit de fond Radiagem™/UltraRadiac™		0,14 / 0,25 µSv/h	0,14 / 0,25 µSv/h	0,14 / 0,25 µSv/h	0,14 / 0,25 µSv/h
	Derrière le Gam obturateur ouvert		250 µSv/h	250 µSv/h	250 µSv/h	250 µSv/h
	À la télécommande		56 µSv/h	/	23,2 µSv/h	66,7 µSv/h
	Au repli		0,3 µSv/h	0,7 µSv/h	0,7 µSv/h	0,22 µSv/h
	Au balisage		/	0,32 µSv/h	3,5 µSv/h	/
Équivalent de dose ambiant H* Radiagem™/ UltraRadiac™	Ouverture de l'obturateur-repli (H1)		0,53 µSv	1,12 µSv	0,76 µSv	0,42 µSv
	Repli-fermeture manivelle (H2)		0,47 µSv	1,18 µSv	0,72 µSv	0,54 µSv
	Ouverture obturateur manivelle (H3)		0,26 µSv	0,11 µSv	0,14 µSv	0,1 µSv
Temps de présence	Ouverture Obturateur à télécommande		5-7 s	5-7 s	5-7 s	5-7 s
	Télécommande		5 s	5 s	5 s	5 s
	Télécommande à repli		15 s	15 s	15 s	20 s
	Tir		3 min 40 s	6 min	3 min	5 min 30 s
	Repli à télécommande		10 s	10 s	8 s	10 s
Équivalent de dose	Mr X	Dosimétrie opérationnelle			6 µSv	
	Mr Y	Dosimétrie opérationnelle			4 µSv	

3.3.4. Les modélisations

En plus des relevés dosimétriques effectués sur le terrain, nous avons modélisé les situations de tirs. Ces modélisations ont été effectuées à l'aide du code de calcul Mercurad (version 6.1) (Pizzorno, 2006).

L'interface Mercurad est employée principalement dans l'analyse de l'influence des dimensions des sources et de leurs activités sur la mesure de débits d'équivalent de dose. Ce code permet d'effectuer des calculs 3D incluant des géométries très complexes. En effet, à partir des quatre formes élémentaires de base, les calculs des géométries réelles sont réalisables avec facilité.

Chaque source correspond à un volume donné. L'émission de la source est isotrope et homogène sur l'ensemble du volume.

Le code de calcul Mercurad utilise la méthode d'atténuation en ligne droite avec intégration de noyaux ponctuels par une méthode de Monte Carlo dans une géométrie à trois dimensions.

Le code permet de calculer des grandeurs correspondant au flux sans choc et/ ou au flux total (flux sans choc + flux diffusé dans la matière) en un ou plusieurs points pour une ou plusieurs sources d'émission gamma.

Le rayonnement gamma diffusé dans les milieux traversés est pris en compte par l'intermédiaire de facteurs d'accumulation (Build-up Factor) de milieux multicouches.

La grandeur calculée est le débit d'équivalent de dose ambient $\dot{H}^*(10)$.

Les résultats de ces modélisations étant en accord avec les mesures effectuées sur le terrain, nous avons établi « un tableau de référence des doses » (Tab. II). L'utilisation de celui-ci permet de réaliser des prévisionnels dosimétriques pour les opérations de gammagraphie.

3.3.5. Évaluation prévisionnelle des doses

La dosimétrie prévisionnelle consiste en l'évaluation de l'exposition externe susceptible d'être reçue par un travailleur pour une intervention supervisée par la personne compétente en radioprotection.

Le tableau II présente des exemples de valeurs aux différentes étapes d'une opération de gammagraphie, pour une source d'iridium-192 d'activité 1,85 TBq (Azzopardi *et al.*, 2005 ; Coletti *et al.*, 2006 ; Pizzorno, 2006).

Ce tableau est la base d'une application informatique permettant aux entreprises de radiographie industrielle de réaliser les prévisionnels dosimétriques pour leurs opérations de contrôles gammagraphiques.

TABLEAU II
Tableau de référence des doses.
Table of reference for the doses amounts.

Étapes	Débit d'équivalent de dose corps entier	Débit d'équivalent de dose extrémités
Lors du transport en voiture	1,5 µSv/h	–
Lors de la manipulation du Gammatron	5 µSv/h (9,6 maxi)	270 µSv sur 1 h
Lors de la manipulation du collimateur	2 µSv/h	10 µSv sur 1 h
Lors de l'éjection de la source	2 µSv/tir	–
Au point de repli	5 µSv/h	–

De plus, cette application permet de calculer la distance de balisage en fonction de l'activité de la source et du collimateur utilisé.

Elle est aussi un outil de gestion de la dosimétrie prévisionnelle, opérationnelle et passive, permettant de gérer les écarts entre la dosimétrie prévisionnelle et opérationnelle et d'enregistrer la dosimétrie individuelle des manipulateurs.

3.4. Analyse de l'activité et risques associés

Afin d'évaluer les risques liés aux conditions de travail et à l'organisation de l'activité, nous avons tout d'abord décidé de nous rendre sur les lieux d'intervention des radiologues afin d'observer et d'étudier les postes de travail.

Les radiologues sont amenés pour réaliser leurs missions à intervenir dans des lieux différents. Ils peuvent réaliser leurs contrôles en atelier, sur pipeline, sur chantier bâtiment et travaux publics (BTP) ou encore sur site industriel. Nous nous sommes rendus sur ces différents chantiers à l'exception des sites BTP.

Pour compléter nos études de postes, nous avons décidé de réaliser un audit auprès des opérateurs et des responsables d'entreprises de radiographie industrielle, des entreprises de maintenance industrielle et des donneurs d'ordres (Klemenic, 2005).

3.4.1. Les conditions de travail

Les conclusions des études de poste des radiologues ainsi que les informations recueillies lors des audits sont présentées ci-dessous. Les risques ont pu être classés en trois catégories.

Les risques liés aux facteurs d'ambiance

Il faut signaler que l'activité est réalisée la plupart du temps de nuit, à des moments de plus faible occupation des locaux afin de limiter le risque d'exposition de personnel, de s'affranchir des risques liés à la co-activité mais aussi de limiter l'impact sur le planning de la condamnation des locaux.

Cependant, cette activité nocturne entraîne des risques non négligeables pour les radiologues dus à un manque possible et remarqué d'éclairage pour réaliser les contrôles dans de bonnes conditions.

L'activité est la plupart du temps effectuée en extérieur (sauf en atelier), ce qui soumet les radiologues aux caprices de la météo (vent, pluie, chaleur...), entraînant l'exposition aux risques associés (chute, glissade et fatigue).

Un risque non négligeable sur site industriel est le risque lié aux produits utilisés dans les procédés de fabrication. Par exemple, pour les sites pétrochimiques, il y a une forte présence de produits chimiques parfois toxiques.

Le bruit est un paramètre important, car malgré le port des protections auditives individuelles, il peut entraîner une perte d'information et une fatigue des radiologues.

Lorsque les contrôles sont effectués dans des capacités ou dans des fours, ils génèrent deux risques bien distincts, le risque d'anoxie et le risque de chute ou de choc lié à l'accessibilité.

Les risques liés à l'accessibilité

Que ce soit sur site industriel ou en atelier, les risques liés à l'accessibilité sont une évidence. On constate en effet un encombrement des voies de circulation. Ces encombrements obligeant les radiologues à les éviter ou à les enjamber, augmentent donc le risque de chute de plain-pied.

En ce qui concerne l'accessibilité des sites de tir, ce sont essentiellement les échafaudages qui posent problème ; le matériel de radiographie étant assez lourd, il n'y a aucun système permettant de le hisser facilement. Nous avons pu ainsi remarquer à plusieurs reprises, que les échafaudages mis à la disposition des radiologues n'étaient pas adaptés que se soit pour déplacer le gammatron ou que ce soit pour permettre au radiologue de s'éloigner de la source lors du tir en toute sécurité, l'échafaudage étant de taille insuffisante. Le radiologue doit donc descendre de l'échafaudage pour se mettre à l'abri des rayonnements ionisants, puis remonter pour réintégrer la source dans le projecteur. En augmentant les déplacements des radiologues sur les échafaudages (montée et descente), les risques de chutes sont accrus.

Les radiologues sont amenés régulièrement à faire des contrôles de tuyauteries dans des lieux exigus. La préparation pour réaliser le contrôle demande de la précision. Cet environnement de travail dans des locaux encombrés engendre un risque de choc.

Les risques liés à la manutention du matériel

Le matériel de radiographie est un matériel encombrant (le gammatron, la télécommande, la gaine d'éjection et le collimateur) auquel il faut rajouter le matériel de balisage (bande réglementaire et balise d'irradiation), le matériel de contrôle des rayonnements ionisants (débitmètre) et le matériel de protection (plaques de plomb, gamma-stops et un trépied).

Tout ce matériel doit être porté et installé par une équipe de radiologues industriels. Une équipe est composée de deux personnes. Ces manipulations ainsi que l'encombrement du matériel entraînent un risque non négligeable de chute et de choc.

3.4.2. L'organisation de l'activité

Lors de nos études, la première constatation concerne le fait qu'il n'y a personne, que ce soit en atelier ou sur site industriel, qui accompagne les radiologues afin de leur montrer le travail à effectuer. Dans le meilleur des cas, ils peuvent se référer à un plan.

En atelier, souvent il n'y a personne pour les accueillir à leur arrivée, donc aucun renseignement ne peut être demandé au tuyauteur que ce soit au sujet des pièces à radiographier ou que ce soit au sujet des consignes de sécurité.

La seconde constatation, sur certains sites industriels et dans tous les ateliers, concerne les délais entre la commande et l'intervention qui ne sont pas respectés. Les tirs sont souvent commandés la journée pour le soir. La préparation de la mission du soir se fait dans la journée, provoquant du stress et risquant de fausser la préparation de travail ou d'entraîner des manquements du point de vue de la sécurité des radiologues.

La pression temporelle est un problème rencontré régulièrement par les radiologues.

La mission des radiologues s'effectue sans co-activité et donc après les heures ouvrables. Il est régulièrement constaté que les autres corps de métier terminent leurs interventions en retard engendrant par la même occasion une attente et une perte de temps de travail pour les radiologues.

Cette perte de temps n'étant pas prise en compte par les donneurs d'ordres, les radiologues doivent tout de même réaliser les contrôles initialement prévus.

Cette activité est peu connue et souvent redoutée par les autres corps de métier. Les radiologues se trouvent très souvent isolés pour exercer leurs tâches. De ce fait, toute demande de renseignement complémentaire ou tout aléa même mineur devient problématique et induit une perte de temps.

3.5. Prévention des risques : la charte de bonnes pratiques

Les moyens de prévention mis en place pour maîtriser les risques précédemment cités sont repris dans la charte de bonnes pratiques en radiographie industrielle (Pizzorno, 2006 ; Charte, 2007).

Conditions de travail

La charte impose que les tirs gammagraphiques soient effectués en bunker ou sur des aires de tirs spécialement aménagées dès que cela est techniquement possible.

Ces solutions apportent un maximum de garanties pour la sécurité des radiologues et des autres salariés.

La charte préconise l'emploi de matériels de protection (collimateur pour tous les tirs, mise en place de gamma-stops, utilisation d'un trépied).

La charte indique que le donneur d'ordre doit identifier les caractéristiques spécifiques du travail à réaliser pouvant nécessiter la mise en place de moyens techniques spécifiques (échafaudage adapté, éclairage, écran...).

Avant la réalisation des travaux, il doit s'assurer que la configuration des lieux est correcte pour réaliser des contrôles gammagraphiques.

La charte stipule que les radiologues peuvent arrêter les tirs si des écarts importants sont constatés par rapport aux conditions de travail initialement prévues.

Organisation de l'activité

Pour remédier aux problèmes rencontrés par les radiologues pour la préparation des travaux, que ce soit sur site industriel ou sur atelier, la charte préconise le respect d'un délai minimum entre la commande et la réalisation des contrôles. Elle met en place aussi des fiches d'interventions complètes comportant les renseignements essentiels pour une bonne préparation et réalisation des travaux, cette fiche d'intervention constitue un élément du plan de prévention.

En ce qui concerne les contrôles en atelier, la charte demande la présence d'un accueillant de l'entreprise pour permettre la prise compte des éléments de sécurité et le travail à réaliser.

Lors des arrêts d'unité sur site pétrochimique, le risque radiologique est un risque prépondérant. En raison du nombre important de contrôles à réaliser dans ce contexte ainsi que la possibilité de la présence concomitante de plusieurs équipes de radiographie industrielle, la charte propose de mettre en place un coordinateur de tirs radio pour gérer uniquement les opérations de radiographie industrielle.

Prévention de l'exposition externe

Afin de réaliser des prévisionnels dosimétriques rigoureux, une application informatique a été créée. Elle permet d'appliquer la méthode ALARA (As Low As Reasonably Achievable) à ces opérations de radiographie industrielle en facilitant l'estimation de la dosimétrie prévisionnelle et le calcul de la distance de balisage et la gestion de la dosimétrie (Pizzorno, 2006).

4. Conclusion

Ce travail a impliqué différents acteurs, aux compétences complémentaires. Cette pluridisciplinarité a permis de remplir les objectifs suivants :

- la détermination, suite à des études de postes et des modélisations, des doses reçues par les radiologues durant les différentes phases constituant un tir gammagraphique, dont certaines n'étaient pas prises en compte jusqu'à présent pour établir la dosimétrie prévisionnelle ;
- la mise à jour de la charte de bonnes pratiques en radiographie industrielle, en vue d'optimiser la prévention en tenant compte des différentes phases de l'activité, de la préparation jusqu'à l'exécution des tirs.

Remerciements. Nous tenons à remercier pour leur aide et leur disponibilité : les institutionnels de la prévention (la DRTEFP PACA, l'Inspection de Travail, la DRIRE - DSNR Marseille et la CRAM Sud Est), les donneurs d'ordres, les entreprises de maintenance industrielle, les entreprises de radiographie industrielle, la Confédération Française pour les Essais Non Destructifs (COFREND) et la Société Française de Radioprotection (SFRP).

RÉFÉRENCES

- Azzopardi G. (2005) Évaluer et prévenir le risque radiologique professionnel dans les opérations de radiographie industrielle, rapport de stage BTS Radioprotection, INSTN Cadarache.
- Azzopardi G., Klemenic O., Coletti F., Paul P. (2005) Analyse de l'exposition, optimisation de la dosimétrie en radiographie industrielle, XXIIèmes Journées des Laboratoires Associés en Radiophysique et Dosimétrie (LARD), 20-21 octobre 2005, Pôle Universitaire de Montbéliard.
- Charte (2007) www.sante-securite-paca.org, charte de bonnes pratiques Radiographie industrielles.
- Coletti F., Paul P., Sari-Minodier I., Botta A. (2006) Risk assessment at workplaces in industrial radiography: from research to action, Second European IRPA Congress on Radiation Protection, 15-19 mai 2006, Paris.
- Colloque (2005) Colloque de lancement du programme régional de recherche action « Évaluer et prévenir le risque radiologique professionnel dans les opérations de radiographie industrielle », CEREGE Aix en Provence, 3 février 2005 (www.sante-securite-paca.org).
- DRTEFP PACA (1996) Radiographie industrielle - charte de bonnes pratiques pour la prévention des risques professionnels.
- Klemenic O. (2005) Le risque radiologique professionnel en radiographie industrielle: éléments nécessaires pour la nouvelle charte de bonnes pratiques. Rapport de stage élève ingénieur, ESAIP.
- Lacoste A.C. (2004) Rappel de la réglementation applicable aux activités de gammagraphie, Note DGSNR/SD8/ N° 086/2004, 26 avril 2004.
- Pizzorno M. (2006) Évaluer et prévenir le risque dans les opérations de radiographie industrielle, rapport de stage, Master des Risques et Nuisances Technologiques.
- Sari-Minodier I. (2002) Évaluation biogénotoxicologique des expositions professionnelles aux rayonnements ionisants dans le secteur de la santé et de la radiographie industrielle. Thèse, École Doctorale des sciences de l'environnement, biosciences de l'environnement et santé.
- Sari-Minodier I., Orsière T., Bellon L., Pompili J., Sapin C., Botta A. (2002) Cytogenetic monitoring of industrial radiographers using the micronucleus assay, *Mutation Research* **521**, 37-46.