

ARTICLE

Étude de poste et zonage aux blocs opératoires : application pratique d'une méthodologie en 6 étapes

C. Duverger¹, G. Moliner¹, F. Boury¹, P. Branchereau², P. Costa², J.P. Beregi¹ et J. Greffier¹*

¹ CHU Carémeau de Nîmes, Service d'imagerie médicale, Place du Pr. Robert Debré, 30929 Nîmes Cedex 9, France.

² CHU Carémeau de Nîmes, Service de chirurgie, Place du Pr. Robert Debré, 30929 Nîmes Cedex 9, France.

Reçu le 24 septembre 2015 – Accepté le 17 décembre 2015

Résumé – La réalisation pratique des études de poste et du zonage aux blocs opératoires est complexe du fait de l'environnement, des contraintes et de l'activité de ce secteur. L'objectif de notre étude est d'illustrer au sein du CHU de Nîmes l'application de la méthode définie dans Duverger *et al.* (2015) [Étude de poste et zonage aux blocs opératoires : méthodologie pratique en six étapes, *Radioprotection* **50** (4), 287-293] en présentant les résultats obtenus pour 3 spécialités chirurgicales (orthopédie, urologie et vasculaire). À partir de la base de données dosimétrique mise en place, une large proportion (>85 %) de l'activité avec rayonnements ionisants de chaque spécialité est regroupée en 3 (urologie) ou 5 (orthopédie et vasculaire) types d'intervention. Ces types d'intervention font l'objet de simulations permettant d'évaluer l'exposition à chaque poste de travail. Le zonage de chaque salle est obtenu à partir d'une proportion de chaque type d'intervention dans la salle la plus pénalisante de chaque spécialité. L'activité regroupée est ensuite extrapolée à l'activité totale pour obtenir les études de poste et le zonage de chaque spécialité. Les résultats obtenus permettent de proposer un classement en catégorie B de l'ensemble des agents. La zone contrôlée verte calculée est étendue aux parois de la salle et les zones attenantes sont classées en zone non réglementée. L'application de cette méthode basée sur 6 étapes permet de pallier les difficultés rencontrées dans ce secteur.

Abstract – **Occupational study and zoning in an operating theater: practical application based on a six-step methodology.** The practical implementation of occupational studies and zoning in the operating theater is complex because of the environment, the constraints and the activity in this sector. The aim of our study is to illustrate the application, within the University Hospital of Nimes, of the method defined in Duverger *et al.* (2015) [Étude de poste et zonage aux blocs opératoires : méthodologie pratique en six étapes, *Radioprotection* **50** (4), 287-293] by presenting the results obtained for 3 surgical specialties (orthopedics, urology and vascular). Based on the established dosimetric database, a large proportion (>85%) of the activity with ionizing radiation in each specialty is gathered into 3 (urology) or 5 (orthopedics and vascular) types of operations. These types of operations are simulated in order to assess the exposure at each workstation. The zoning of each room is obtained from a proportion of each type of operation in the most disadvantageous room for each specialty. The activity gathered is then extrapolated to the total activity for the occupational studies and zoning of each specialty. The results obtained allow us to propose a classification of all agents into category B. The green controlled area calculated is extended to the walls, and the adjacent areas are classified as non-restricted areas. The application of this method based on 6 stages overcomes the difficulties encountered in this sector.

Keywords: interventional radiology / radiation risk / dose assessment / fluoroscopy / occupational exposure

1 Introduction

Dans les blocs opératoires, le nombre d'examen avec utilisation des rayonnements ionisants ne cesse d'augmenter ces dernières années. Les risques liés à l'exposition pour les patients et les travailleurs préoccupent notamment l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) et les personnes compétentes en radioprotection (PCR). Dans ce secteur, le manque de formation et

d'implication du personnel médical et paramédical conduit à des utilisations mal maîtrisées des arceaux de blocs. La sensibilisation aux bonnes pratiques de radioprotection via la présence régulière d'une PCR apparaît indispensable aux blocs opératoires.

Les PCR souvent issues d'autres services, rencontrent des difficultés à s'intégrer à cette activité. La délimitation des zones de travail (JORF, 2006) et l'analyse des poste de travail vis-à-vis de l'ensemble des conditions pouvant affecter la santé

* joel.greffier@chu-nimes.fr

Tableau 1. Type d'intervention et extrapolation du nombre d'actes sélectionnés.

Spécialité	Type d'intervention	NbA _{Sélectionné}	NbA _{Sélectionné-Extrapolé}
Orthopédie	Bras	343	366
	Col fémoral	404	431
	Epaule	136	145
	Jambe	513	548
	Rachis	215	230
	NbA_{Total sélectionné}	1611	1720
	NbA_{Total de la spécialité}	1720	1720
Urologie	JJ	466	541
	PAC (URO)	18	21
	URSS	350	406
	NbA_{Total sélectionné}	834	968
	NbA_{Total de la spécialité}	968	968
Vasculaire	Angio ao/il	73	76
	Angio FAV	136	142
	Angio MI	232	241
	Carotide	100	104
	PAC (VASC)	151	157
	NbA_{Total sélectionné}	692	720
	NbA_{Total de la spécialité}	720	720

JJ : montée ou changement de sonde double J ; URSS : urétéroscopie et lithotripsies ; PAC : pose de chambre implantable ; Angio ao/il : angioplastie iliaque, aorte ou aorto bi-iliaque ; Angio FAV : fistule artério-veineuse ; Angio MI : angioplastie des membres inférieurs ; Carotide : endartériectomie carotidienne.

et la sécurité des travailleurs¹ est souvent difficile en pratique (IRSN, 2010 ; Schiedts, 2014). Pour faciliter la réalisation des zonages et études de postes au bloc opératoire, une méthodologie en plusieurs étapes a été proposée (Duverger *et al.*, 2015). Cette méthodologie est décomposée en 6 étapes : Observations – Préparation – Simulation – Extrapolation – Réalisation – Suivi dans le temps. Elle repose sur les éléments définis dans le guide pratique relatif aux réalisations des études dosimétriques de poste de travail (IRSN, 2015).

Notre étude a pour objectif d'appliquer en pratique cette méthode pour la réalisation des études de postes et zonages réglementaires de radioprotection aux blocs opératoires. Trois spécialités représentatives de l'activité et des différentes difficultés rencontrées dans les blocs opératoires du CHU de Nîmes sont sélectionnées pour illustrer cette méthodologie.

2 Matériels et méthodes

2.1 Blocs opératoires au CHU de Nîmes

Au sein de notre institution, les blocs opératoires sont composés de 20 salles opératoires. Sept spécialités chirurgicales utilisent les 8 arceaux de blocs disponibles : orthopédie (regroupement de la chirurgie orthopédique et traumatologique), neurochirurgie, ORL, vasculaire, urologie, digestif et gynécologie. En 2014, sur les 19149 actes réalisés aux blocs, 4387 actes (23 %) étaient réalisés avec arceaux de bloc.

Dans cette étude, pour illustrer la méthodologie définie dans un précédent article (Duverger *et al.*, 2015), 3 spécialités sont présentées : orthopédie, urologie et vasculaire. Ces 3 spécialités correspondent à 78 % des actes avec arceaux

(3408 actes) et sont représentatives des contraintes et des spécificités rencontrées aux blocs opératoires.

2.2 Activité aux blocs opératoires avec arceaux de blocs

2.2.1 Mise en place d'une base de données

Pour pouvoir s'approprier l'activité des blocs opératoires, depuis février 2013, une base de données (BDD) dosimétrique a été créée dans notre institution. Par l'intermédiaire d'un logiciel de gestion du bloc opératoire (Opéra, GE Healthcare) une requête mensuelle a été mise en place. Elle contient la date, la spécialité, la salle, l'intitulé de l'acte et le nom des agents en salle. Afin d'identifier les actes les plus réalisés et les plus irradiants dans chaque spécialité, cette BDD est complétée par les produits dose-surface (PDS) et les temps de radioscopie relevés pour chaque patient. Cette BDD dosimétrique nous permet par ailleurs de suivre l'évolution des pratiques dans le temps.

2.2.2 Sélection des types d'interventions par spécialité

À partir de la base de données, des types d'interventions ont été sélectionnés par spécialité. Un type d'intervention correspond à un regroupement de plusieurs intitulés d'actes présents dans la BDD. Il représente des actes équivalents, d'une même localisation anatomique (volume diffusant équivalent), pour un même positionnement du personnel en salle. Ainsi 5 types d'interventions ont été déterminés pour l'orthopédie, 3 pour l'urologie et 5 pour le vasculaire (Tableau 1). Ces types d'intervention ont été validés par l'équipe encadrant et les chirurgiens référents de chaque spécialité et correspondent aux examens les plus réalisés et/ou les plus irradiants.

¹ Article R4451-11 du Code du Travail.

Tableau 2. Position des intervenants lors des actes.

Spécialité	Type d'intervention	Position des intervenants par rapport au centre du milieu diffusant (cm)				
		Chirurgien	Aide opératoire	Instrumentiste	Circulant	Anesthésie
Orthopédie	Bras	40 ^a	40	90		160
	Col fémoral	50	100	–		170
	Epaule	50	50	90	180	110
	Jambe	50	100	–		250
	Rachis	50	100	100		160
Urologie	JJ	75 ^a	100 ^a	–		160
	PAC (URO)	60	80	–	180	110
	URSS	75 ^a	100 ^a	–		160
Vasculaire	Angio ao/il	65	75	125		125
	Angio FAV	40	80	140		110
	Angio MI	60	95	170	180	170
	Carotide	60	155	155		110
	PAC (VASC)	60	80	–		110

^a Position assise, 2ème support placé 20 cm plus près.

Tableau 3. Paramètres d'exposition et positionnement de l'arceau de bloc.

Spécialité	Type d'intervention	Paramètres d'exposition			Type	Arceau de bloc	
		Mode de radioscopie	kV	mA		Distance Détecteur-Sol	Distance Détecteur-Patient
Orthopédie	Bras		65	1,0		115	40
	Col fémoral		89	2,5		170	
	Epaule	Continue	89	2,0	Siremobil	140	
	Jambe		70	1,5	Compact L	130	25
	Rachis		89	2,5		145	
Urologie	JJ					127	25
	PAC (URO)	Continue	95	3,0	OEC 7900	140	20
	URSS					127	25
Vasculaire	Angio ao/il						
	Angio FAV	Tracé artériel	86	6,2	Arcadis	135	15
	Angio MI				Advantic		
	Carotide						
	PAC (VASC)	Continue	95	3,0	OEC 7900	140	20

2.2.3 Extrapolation de l'activité

Le nombre d'actes sélectionnés par spécialité ($NbA_{\text{Sélectionné}}$) ne représente pas la totalité des actes réalisés avec arceaux. Une extrapolation de l'activité doit donc être réalisée (Tableau 1). Cette extrapolation permet de répartir pour chaque type d'intervention sélectionné le nombre d'actes non pris en compte, à partir du rapport du nombre total d'acte de la spécialité ($NbA_{\text{Total de la spécialité}}$) divisé par le nombre total des actes sélectionnés pour chaque spécialité ($NbA_{\text{Total sélectionné}}$) sur l'année 2014.

$$NbA_{\text{Sélectionné-Extrapolé}} = NbA_{\text{Sélectionné}} \times \frac{NbA_{\text{Total de la spécialité}}}{NbA_{\text{Total sélectionné}}} \quad (1)$$

L'extrapolation de l'activité induit une surestimation des pratiques réelles puisque l'exposition des actes non pris en compte est inférieure à celle des actes sélectionnés.

2.3 Observations aux blocs opératoires

Pour pouvoir connaître les différents éléments utiles à la réalisation du zonage et des études de postes, la PCR doit

observer les pratiques en salle opératoire pour chaque type d'intervention sélectionné. Pour chaque type d'intervention observé, nous avons relevé : le positionnement des intervenants par rapport au volume diffusant (Tableau 2), le positionnement des arceaux de blocs ainsi que les paramètres d'exposition utilisés (Tableau 3). Un plan à l'échelle reproduisant les observations a été réalisé pour tous les types d'interventions (Figure 1).

2.4 Simulations des types d'interventions sélectionnés

Pour tous les types d'intervention sélectionnés, dans chaque spécialité, le positionnement des opérateurs par rapport au volume diffusant (Tableau 2) ainsi que les paramètres d'exposition et le positionnement de l'arceau de bloc (Tableau 3) ont été simulés. Cette étape permet de mesurer les doses susceptibles d'être reçues par les opérateurs aux différents postes de travail ainsi que les doses utiles pour réaliser le zonage.

2.4.1 Simulation du volume diffusant

Pour simuler le volume diffusant, différents fantômes ont été utilisés. Un patient standard a été modélisé par 4 plaques de

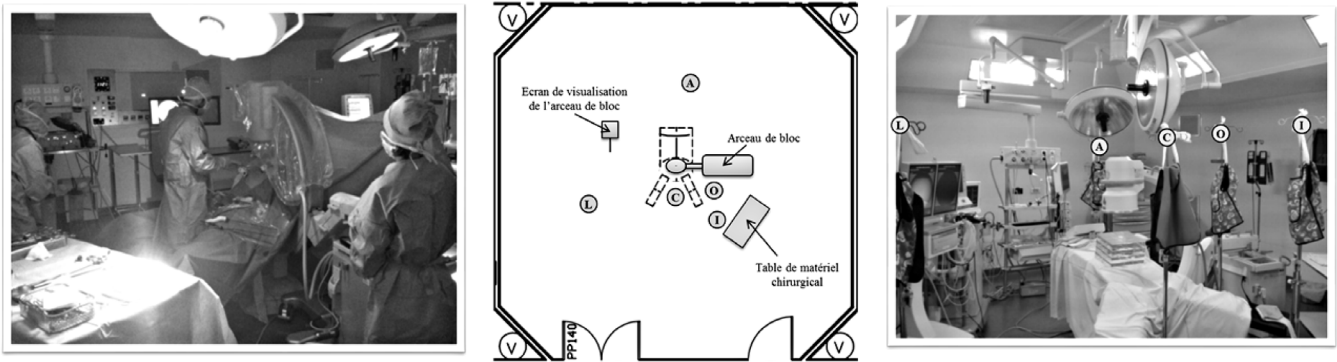


Figure 1. Observation en salle, plan à l'échelle et simulation.

polyméthacrylate de méthyle (PMMA) (volume total 30 cm × 30 cm × 20 cm). Pour reproduire les actes sur les membres (bras, jambe, main, pied...), les membres d'un fantôme anthropomorphique de type Rando[®] ont été utilisés.

2.4.2 Simulation du positionnement des opérateurs en salle et conditions de mesures des doses susceptibles d'être reçues aux différents postes de travail

Pour chaque type d'intervention, les opérateurs ont été modélisés par des pieds à perfusion positionnés à partir des observations réalisées (Tableau 2). Trois détecteurs de type EPD-Mk2[®] (APVL) ont été positionnés sur chaque pied à perfusion, face au milieu diffusant, à une hauteur de 1,6 m, 1,3 m et 1,0 m (Figure 1) pour évaluer respectivement les doses reçues au cristallin, au corps entier et aux extrémités des différents intervenants. Le détecteur mesurant la dose reçue au corps entier a été recouvert d'un tablier plombé (Anti-X Bloc 720, Varay Laborix[®]). Pour tenir compte des situations où l'agent est en position assise, les détecteurs : cristallin et corps entier, ont été abaissés à une hauteur de 1,3 m et 1 m, respectivement. Pour les actes, où les mains du chirurgien sont plus proches du patient, un détecteur a été placé à 20 cm plus proche du milieu diffusant.

La valeur $H_p(10)$ a été relevée pour l'estimation de la dose efficace au corps entier. La valeur $H_p(0.07)$ a été relevée pour l'estimation des doses équivalentes au cristallin et aux extrémités. Les doses mesurées avec les EPD-Mk2[®] inférieures à $1/64 \mu\text{Sv}$ (seuil d'enregistrement de la dose cumulée) ont été ramenées à $0,02 \mu\text{Sv}$. La sous-estimation des doses mesurées (moins de 10 %) avec ces détecteurs en fonction de l'angle et de la distance a été négligée.

2.4.3 Conditions de mesures des doses utiles pour le zonage

Les mesures en vue du zonage ont été réalisées à 1 m du milieu diffusant et en l'absence de protection avec un détecteur de type AT11-23[®] (APVL) en mode intégration afin d'évaluer $H^*(10)$.

2.4.4 Conditions d'exposition et obtention de la dose par acte

Pour chaque type d'intervention simulé, le volume diffusant a été exposé en choisissant et en positionnant l'arceau à partir des conditions observées (Tableau 3). Les paramètres d'exposition relevés (Tableau 3) ont été utilisés. Pour chaque simulation, les doses simulées ($D_{\text{Simulée}}$) ont été mesurées par les différents détecteurs pour un temps de simulation (Temps radioscopie_{Simulé}) fixé à trois minutes. Toutes les simulations ont été doublées afin de s'assurer de leur reproductibilité.

Les doses par acte (D_{Acte}) ont été obtenues en extrapolant les doses simulées ($D_{\text{Simulée}}$) à la durée réelle de l'acte (Temps radioscopie_{Acte}) déterminée à partir du recueil des indicateurs dosimétriques (Éq. (2)) :

$$D_{\text{Acte}} = D_{\text{Simulée}} \times \frac{\text{Temps radioscopie}_{\text{Acte}}}{\text{Temps radioscopie}_{\text{Simulé}}} \quad (2)$$

Pour chaque type d'intervention, la valeur maximale entre la moyenne et le troisième quartile des temps de radioscopie relevés est utilisée (Tableau 4).

2.5 Réalisation du zonage

Pour chaque type d'intervention, les doses par acte (D_{Acte}) obtenues, à partir de la mesure des équivalents de dose ambiant $H^*(10)$ avec l'AT1123 ont permis de réaliser un zonage pour chaque spécialité. Ce zonage a été réalisé à partir du nombre total d'actes de la salle la plus pénalisante couramment utilisée par chaque spécialité.

La durée de l'ensemble des actes a été ramenée à 1 h quel que soit l'acte. La dose intégrée sur 1 h ($D_{\text{Salle/1h}}$) a été calculée à partir de la dose cumulée pour un acte (D_{Acte}) (Éq. (3)) :

$$D_{\text{Salle/1h}} = \sum_{\text{TI}} \frac{\text{NbA}_{\text{Sélectionné-Extrapolé}}}{\text{NbA}_{\text{Total de la spécialité}}} \times D_{\text{Acte}} \quad (3)$$

La distance entre le point de mesure et le volume diffusant (1 m) a été prise comme référence et les rayons des différentes zones (JORF, 2006) ont été déterminés (Éq. (4)) en fonction des valeurs délimitant les zones réglementées (Dose(Zone)) définies dans l'arrêté du 15 mai 2006 :

$$\text{Rayon (Zone)} = \sqrt{\frac{D_{\text{Salle/1h}}}{\text{Dose (Zone)}}} \quad (4)$$

Tableau 4. Proportion de chaque type d'intervention et calcul de la dose efficace par acte.

Spécialité	Type d'intervention	D _{Simulée} (μSv)	Temps radioscopie _{Acte} (min)	D _{Acte} (μSv)
Orthopédie	Bras	9,5	0,31	1,0
	Col fémoral	29,4	1,15	11,2
	Epaule	26,2	0,99	8,6
	Jambe	15,8	0,65	3,4
	Rachis	29,4	0,76	7,4
Urologie	JJ	35,1	1,04	12,2
	PAC (URO)	35,5	0,26	3,1
	URSS	35,1	1,78	20,8
Vasculaire	Angio ao/il	45,6	11,24	171,0
	Angio FAV	43,8	3,98	58,0
	Angio MI	46,4	8,63	133,5
	Carotide	43,6	0,63	9,1
	PAC (VASC)	35,5	0,77	9,1

2.6 Réalisation des études de postes

Les études de poste de travail ont été décomposées par spécialité et par type d'intervention. Pour chaque spécialité, pour chaque type d'intervention et pour chaque poste de travail une exposition (D_{Acte} calculée à l'Éq. (2)) a été obtenue pour le corps entier, les extrémités et le cristallin. L'activité d'un agent sur une période est extrapolée (Éq. (1)). La dose cumulée sur l'année 2014 ($D_{Cumulée}$) est obtenue par l'équation (5).

$$D_{Cumulée} = \sum NbA_{Sélectionné-Extrapolé} \times D_{Acte} \quad (5)$$

Les doses efficaces cumulées inférieures à 0,01 mSv ont été ramenées à cette valeur.

3 Résultats

3.1 Activité aux blocs opératoires avec arceaux de blocs

Les types d'interventions utilisés dans les trois spécialités sont représentatifs de l'activité réalisée dans chaque spécialité (Tableau 1). Pour l'orthopédie, les types d'interventions sélectionnés représentent 93,7 % de l'activité totale, 86,2 % pour l'urologie et 96,1 % pour le vasculaire.

3.2 Observations aux blocs opératoires

Les chirurgiens sont les opérateurs les plus proches du volume diffusant : 40 à 50 cm en orthopédie, 60 à 75 cm en urologie et 40 à 65 cm en vasculaire (Tableau 2). Les aides opératoires sont proches pour des actes sur les membres supérieurs en orthopédie (40 à 50 cm) et plus éloignés pour les autres interventions (75 à 155 cm). Les instrumentistes ne sont pas présents pour tous les actes et se situent entre 90 et 100 cm en orthopédie et 125 à 170 cm en vasculaire. Les circulantes sont toujours positionnées à 180 cm et les anesthésistes, toujours à la tête du patient, sont situés entre 110 et 250 cm selon l'acte.

Trois amplis sont utilisés pour les simulations : le Siremobil Compact L (Siemens) pour l'orthopédie, l'OEC 7900 (GE) pour l'urologie et le PAC vasculaire et l'Arcadis Advantic (Siemens) pour le vasculaire (Tableau 3). Selon l'intervention, les distances détecteurs-patient sont comprises entre 15 et 40 cm et les distances détecteurs-sol entre 115 et 170 cm. Les constantes d'exposition utilisées sont dépendantes du volume diffusant exposés : 65 kV et 1 mA pour le bras et 95 kV et 3 mA pour les interventions en urologie.

3.3 Simulations et réalisation du zonage

Les équivalents de doses ambiants $H^*(10)$ mesurés sur 3 min avec l'AT1123 à 1 m du volume diffusant sont compris entre 9,5 μSv pour un acte au niveau du bras et 46,4 μSv pour une angioplastie des membres inférieurs (Tableau 4).

Le temps de radioscopie est compris entre 0,31 min et 1,15 min pour l'orthopédie, entre 0,26 et 1,78 min pour l'urologie et 0,63 et 11,24 min pour le vasculaire.

Les doses par acte (D_{Acte}) obtenues en appliquant l'équation (2), étaient comprises entre 1,0 et 11,2 μSv pour l'orthopédie, 3,1 et 20,8 μSv pour l'urologie et 9,1 et 171,0 μSv pour le vasculaire.

La dose sur une heure ($D_{Salle/1h}$) dans la salle la plus pénalisante était égale à 5,9 μSv pour l'orthopédie, 17,6 μSv pour l'urologie et 77,9 μSv pour le vasculaire (Tableau 5).

En tenant compte de la dose sur une heure ($D_{Salle/1h}$) pour les zones contrôlées, le zonage a pu être réalisé (Tableau 6). En orthopédie, la zone contrôlée verte (ZCV) correspond à un cercle de 0,90 m de rayon et la zone contrôlée jaune (ZCJ) à un cercle de rayon de 0,50 m. En urologie, la ZCV correspond à un cercle de 1,50 m de rayon et de 0,80 m pour la ZCJ. En vasculaire, la ZCV correspond à un cercle de 3,20 m de rayon et de 1,80 m pour la ZCJ. Dans notre institution, les ZCV dans chaque salle ont été étendues aux parois et les zones contrôlées orange ne sont pas représentées sur les plans de zonage (Figure 2).

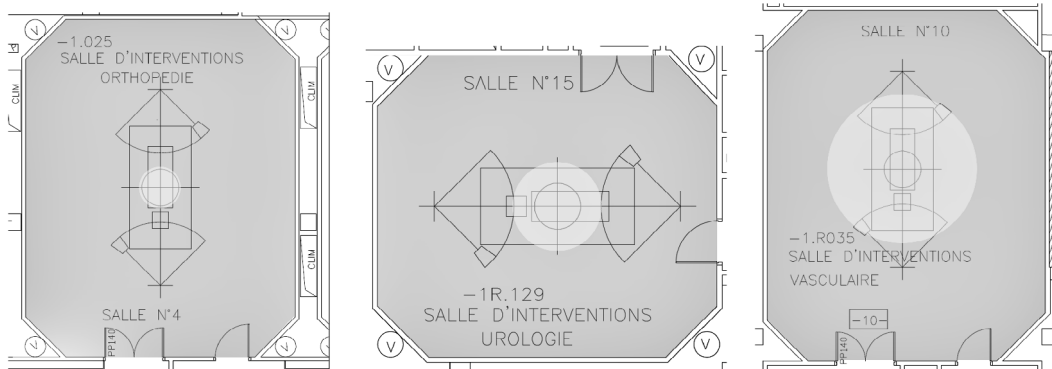
Tableau 5. Activité de chaque spécialité dans sa salle la plus pénalisante, dose efficace sur une heure et sur un mois.

Spécialité	Type d'intervention	D _{Acte} (μSv)	R ^a	D _{Salle/1h} (μSv)
Orthopédie	Bras	1,0	25 %	5,9
	Col fémoral	11,2	30 %	
	Epaule	8,6	10 %	
	Jambe	3,4	28 %	
	Rachis	7,4	7 %	
Urologie	JJ	12,2	33 %	17,6
	PAC (URO)	3,1	2 %	
	URSS	20,8	65 %	
Vasculaire	Angio ao/il	171,0	14 %	77,9
	Angio FAV	58,0	18 %	
	Angio MI	133,5	30 %	
	Carotide	9,1	20 %	
	PAC (VASC)	9,1	18 %	

^aR : NbA_{Sélectionné-Extrapolé}/NbA_{Total de la spécialité}.

Tableau 6. Zonage de chaque secteur.

Zone	Dose efficace	Rayon de la zone (m)		
		Orthopédie	Urologie	Vasculaire
Contrôlée Verte	7.5 μSv sur 1 h	0,9	1,5	3,2
Contrôlée Jaune	25 μSv sur 1 h	0,5	0,8	1,8
Contrôlée Orange	2000 μSv sur 1 h	<0,1	0,1	0,2

**Figure 2.** Zonage affiché dans chaque secteur.

3.4 Simulation et réalisation des études de postes

Les valeurs Hp(10) pour l'estimation de la dose efficace au corps entier et les valeurs Hp(0,07) pour l'estimation des doses équivalentes au cristallin et aux extrémités ont été relevées pour tous les types d'interventions et tous les opérateurs (Tableaux 7 à 9). À partir du NbA_{Sélectionné-Extrapolé}, la dose cumulée sur l'année 2014 par opérateur a été calculée.

Quelle que soit la spécialité, le chirurgien est le personnel le plus exposé. En orthopédie, la D_{Cumulée} est de 0,02 mSv au corps entier, 12,37 mSv aux extrémités et 3,75 mSv au cristallin (Tableau 7). En urologie, la D_{Cumulée} est de 0,07 mSv au corps entier, 17,38 mSv aux extrémités et 10,28 mSv au cristallin (Tableau 8) et respectivement 0,09 mSv, 121,98 mSv et 42,80 mSv en vasculaire (Tableau 9).

4 Discussion

4.1 Regroupement par type d'intervention et extrapolation

Le nombre d'actes réalisés par spécialité aux blocs opératoires est élevé. Pour pouvoir tenir compte des actes les plus réalisés et les plus irradiants, un regroupement par type d'intervention (Tableau 1) est nécessaire. Ce regroupement nécessite une bonne compréhension de l'activité dans chaque secteur. Il doit être réalisé en concertation avec les équipes opératoires. Au moins 85 % de l'activité de chaque spécialité a été pris en compte pour la réalisation du zonage et des études de poste. Si plusieurs spécialités chirurgicales interviennent régulièrement dans la même salle opératoire et si leurs pratiques sont très différentes, un zonage par spécialité peut être appliqué.

Tableau 7. Résultats des simulations en vue des études de poste : orthopédie.

		D _{Acte} (μSv)			NbA _{Sélectionné-Extrapolé}	D _{Cumulée} (mSv)		
		Corps entier	Extrémités	Cristallin		Corps entier	Extrémités	Cristallin
Chirurgien	Bras	0,02	4,57	2,73	81			
	Col fémoral	0,15	77,71	30,27	69			
	Epaule	0,06	56,90	7,65	38	0,02	12,37	3,75
	Jambe	0,02	10,77	3,68	133			
	Rachis	0,02	37,52	8,21	81			
Aide opératoire	Bras	0,02	0,75	0,80	81			
	Col fémoral	0,03	17,44	11,67	69			
	Epaule	0,03	32,26	5,42	38	0,01	3,52	1,77
	Jambe	0,02	2,71	2,54	133			
	Rachis	0,02	8,28	4,34	81			
Instrumentiste	Bras	–	–	–	81			
	Col fémoral	–	–	–	69			
	Epaule	0,02	9,58	4,66	38	0,01	1,00	0,50
	Jambe	–	–	–	133			
	Rachis	0,03	7,88	3,99	81			
Circulant	Bras	0,02	0,02	0,04	81			
	Col fémoral	0,02	4,42	4,64	69			
	Epaule	0,02	2,06	2,12	38	0,01	0,59	0,59
	Jambe	0,02	0,04	0,18	133			
	Rachis	0,02	2,46	1,98	81			
Anesthésie	Bras	0,02	0,27	0,31	81			
	Col fémoral	0,02	5,66	4,50	69			
	Epaule	0,02	4,21	3,27	38	0,01	0,88	0,70
	Jambe	0,02	0,34	0,31	133			
	Rachis	0,02	3,29	2,44	81			

D_{Acte} et D_{Cumulée} estiment la dose efficace pour le corps entier et les doses équivalentes pour les extrémités et le cristallin.

Tableau 8. Résultats des simulations en vue des études de poste : urologie.

		D _{Acte} (μSv)			NbA _{Sélectionné-Extrapolé}	D _{Cumulée} (mSv)		
		Corps entier	Extrémités	Cristallin		Corps entier	Extrémités	Cristallin
Chirurgien	JJ	0,25	59,23	35,29	130			
	PAC	0,02	14,65	3,48	13	0,07	17,38	10,28
	URSS	0,43	100,94	60,13	94			
Aide opératoire	JJ	0,02	15,39	10,91	130			
	PAC	0,02	6,78	2,65	13	0,01	4,56	3,20
	URSS	0,04	26,23	18,59	94			
Circulant	JJ	0,02	7,03	6,02	130			
	PAC	0,02	0,70	1,40	13	0,01	2,05	1,76
	URSS	0,02	11,98	10,25	94			
Anesthésie	JJ	0,02	8,53	7,20	130			
	PAC	0,02	5,05	3,02	13	0,01	2,54	2,13
	URSS	0,02	14,54	12,28	94			

D_{Acte} et D_{Cumulée} estiment la dose efficace pour le corps entier et les doses équivalentes pour les extrémités et le cristallin.

Par ailleurs, pour tenir compte de l'activité totale non prise en compte par ces regroupements, une extrapolation est réalisée (Tableau 4). Ces extrapolations conduisent à des estimations majorantes de l'activité et des doses susceptibles d'être reçues.

4.2 Estimation des doses reçues

Aux blocs opératoires, les doses reçues par acte varient selon plusieurs facteurs : complexité de l'intervention, morphologie du patient, expérience de l'opérateur et sensibilisation du personnel aux bonnes pratiques de radioprotection.

La phase d'observation, comprenant la réalisation de plan à l'échelle (Figure 1) et la collecte d'informations relatives à chaque type d'intervention (Tableaux 2 et 3), a pour objectif de se rapprocher au plus près des pratiques réelles. Cependant, celles-ci sont très variées et il est très difficile de définir des situations représentatives des conditions normales d'utilisation (DGT/ASN, 2010). C'est pourquoi, les mouvements du personnel, les variations d'incidences de l'arceau, ainsi que l'optimisation des paramètres (radioscopie pulsée, demi-dose, ...) ne sont pas pris en compte dans ces observations. Le choix d'utiliser la radioscopie continue et de positionner

Tableau 9. Résultats des simulations en vue des études de poste : vasculaire.

		D _{Acte} (μSv)			NbA _{Sélectionné-Extrapolé}	D _{Cumulée} (mSv)		
		Corps entier	Extrémités	Cristallin		Corps entier	Extrémités	Cristallin
Chirurgien	Angio ao/il	0,51	668,20	342,14	29	0,09	121,98	42,80
	Angio FAV	0,19	561,93	163,74	58			
	Angio MI	0,60	703,06	238,81	92			
	Carotide	0,09	58,30	17,61	39			
	PAC	0,02	43,62	10,37	70			
Aide opératoire	Angio ao/il	0,62	378,41	243,31	29	0,06	44,08	25,62
	Angio FAV	0,08	149,71	47,05	58			
	Angio MI	0,40	247,49	164,78	92			
	Carotide	0,02	6,04	3,07	39			
	PAC	0,05	20,19	7,88	70			
Instrumentiste	Angio ao/il	0,41	155,27	155,60	29	0,06	14,53	13,72
	Angio FAV	0,36	45,57	34,55	58			
	Angio MI	0,24	77,08	75,12	92			
	Carotide	0,02	7,53	7,53	39			
	PAC	–	–	–	70			
Circulant	Angio ao/il	0,19	92,01	85,16	29	0,03	10,32	9,42
	Angio FAV	0,04	27,61	22,34	58			
	Angio MI	0,17	62,97	56,98	92			
	Carotide	0,02	2,91	3,22	39			
	PAC	0,02	2,09	4,18	70			
Anesthésie	Angio ao/il	0,41	70,54	158,62	29	0,05	9,71	15,67
	Angio FAV	0,13	78,48	71,69	58			
	Angio MI	0,23	14,32	62,28	92			
	Carotide	0,04	19,01	14,14	39			
	PAC	0,06	15,04	8,98	70			

D_{Acte} et D_{Cumulée} estiment la dose efficace pour le corps entier et les doses équivalentes pour les extrémités et le cristallin.

statiquement le personnel permet de surestimer les doses susceptibles d'être reçues à chaque poste de travail.

D'autres surestimations sont prises en compte dans cette étude pour permettre d'avoir une dose simulée supérieure à la dose par acte (Éq. (2)). Les temps de radioscopie et les constantes d'exposition (kV, mA) utilisés sont supérieurs à ceux observés. Quatre plaques de PMMA (volume total 30 cm × 30 cm × 20 cm), plus pénalisantes que le volume minimal réglementaire (25 cm × 25 cm × 15 cm) (AFNOR, 2011), ont été utilisées lors des simulations. Ceci permet de tenir compte de la morphologie moyenne des patients (vasculaire) et de la présence de matériel chirurgical dans le faisceau primaire (orthopédie).

Les résultats de cette étude mettent en avant que les rapports entre les doses mesurées (proches du seuil d'enregistrement du détecteur) sous le tablier plombé pour l'évaluation de la dose efficace et celui des doses mesurées pour l'évaluation des doses équivalentes aux extrémités et au cristallin (Tableaux 7 à 9) sont parfois très supérieurs à l'atténuation théorique de l'écran. C'est pourquoi la valeur minimale cumulée de la dose efficace sur 12 mois a été arrondie à 0,01 mSv à chaque poste de travail lorsque la valeur calculée était inférieure afin de ne pas sous-estimer le risque et de se limiter à deux chiffres après la virgule.

4.3 Réalisation du zonage

Aux blocs opératoires, l'émission brève de rayonnements ionisants avec des débits de dose importants ne permet pas

de réaliser un zonage tenant compte du débit de dose (JORF, 2006). Seules les doses efficaces sur une heure sont considérées pour la délimitation des zones spécialement réglementées.

Par ailleurs, comme défini dans l'arrêté « zonage » (JORF, 2006 ; DGT/ASN, 2008), l'heure la plus pénalisante doit être prise en compte pour réaliser le zonage. Aux blocs opératoires, pour pouvoir tenir compte de l'ensemble des actes susceptibles d'être réalisés sur une heure, nous avons fait le choix de sélectionner l'heure la plus représentative de l'activité. Celle-ci repose sur la proportion de l'activité totale de chaque type d'intervention et permet de majorer l'exposition moyenne (Éq. (3)).

Dans notre institution, afin de simplifier la délimitation des zones et la signalisation (JORF, 2013), la zone contrôlée verte a été étendue aux parois (Figure 2). Le zonage ainsi que les informations relatives au risque radiologique ont été affichés à l'entrée des salles (Figure 2).

Pour valider le zonage dans les zones attenantes, des dosimètres passifs ont été positionnés au niveau de chaque paroi extérieure autour des salles. Ces mesures permettent de s'assurer que les zones attenantes sont en zone non réglementée.

4.3.1 Réalisation des études de poste

Dans cette étude, les niveaux de doses obtenus pour un acte sont globalement faibles aux blocs opératoires et sont cohérents avec la littérature (Hellawell *et al.*, 2005). Cependant, la répétition des actes génèrent des doses cumulées annuelles importantes. Au vu de ces résultats (Tableau 7), un classement

en catégorie B a été proposé pour l'ensemble du personnel opératoire.

Toutefois, les résultats de l'étude de poste du chirurgien pour la spécialité vasculaire (Tableaux 7 à 9) sont au-delà de la limite de 20 mSv par an au cristallin fixée par la directive 2013/59/EURATOM (Euratom, 2013) prochainement transposée au niveau national. La mise en place d'une suspension plafonnée et/ou le port systématique de lunettes de protection plombées permettraient de réduire l'exposition du cristallin. Une campagne de mesure avec des dosimètres cristallins pourrait être réalisée.

Pour réduire les doses reçues par le personnel, des équipements de protection collective (EPC) pourraient être mis en place. Ces équipements doivent être compatibles avec les contraintes liées au geste chirurgical (hygiène, placement) et sont généralement difficiles à mettre en place aux blocs opératoires.

Par ailleurs, une meilleure application des bonnes pratiques de radioprotection permettrait de réduire les doses reçues à la fois par le personnel et par le patient en lien avec la personne spécialisée en radiophysique médicale (PSRPM). Cette sensibilisation nécessite un suivi régulier et prend un temps conséquent sur le temps dédié à la radioprotection de ce secteur. Toutefois, ce suivi régulier est un atout indispensable pour l'évolution durable des pratiques.

5 Conclusion

L'application de la méthodologie basée sur 6 étapes (Duverger *et al.*, 2015) permet de pallier les difficultés méthodologiques rencontrées et de répondre à la réglementation. Elle est adaptable à chaque spécialité réalisant des actes radioguidés et permet d'être représentative de l'activité globale tout en majorant le risque. La mise en place d'une base de données dosimétrique est une étape indispensable à la réalisation et au suivi des études de postes et du zonage.

Références

AFNOR (2011) Norme NF C 15-160 Installations pour la production et l'utilisation de rayonnements X – Exigences de radioprotection.

DGT/ASN (2008) Circulaire DGT/ASN n° 01 du 18 janvier 2008 relative à l'arrêté du 15 mai 2006 relatif aux conditions de délimitation et de signalisation des zones surveillées et contrôlées et des zones spécialement réglementées ou interdites compte tenu de l'exposition aux rayonnements ionisants, ainsi qu'aux règles d'hygiène, de sécurité et d'entretien qui y sont apposées.

DGT/ASN (2010) Circulaire DGT/ASN n° 04 du 21 avril 2010 relative aux mesures de prévention des risques d'exposition aux rayonnements ionisants.

Duverger *et al.* (2015) Étude de poste et zonage aux blocs opératoires : méthodologie pratique en six étapes, *Radioprotection* **50**(4), 287-293.

Euratom (2013) Directive 2013/59/EURATOM du Conseil du 5 décembre 2013 fixant les normes de base relatives à la protection sanitaire contre les dangers résultant de l'exposition aux rayonnements ionisants et abrogeant les directives 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom et 2003/122/Euratom.

Hellawell *et al.* (2005) Radiation exposure and the urologist: what are the risks? *J. Urology* **174**, 984-952.

IRSN (2015) Guide pratique pour la réalisation des études dosimétriques de poste de travail (version 4), Rapport PRP-HOM/DIR n° 2015-00009.

JORF (2006) Arrêté du 15 mai 2006 relatif aux conditions de délimitation et de signalisation des zones surveillées et contrôlées et des zones spécialement réglementées ou interdites compte tenu de l'exposition aux rayonnements ionisants, ainsi qu'aux règles d'hygiène, de sécurité et d'entretien qui y sont imposées. Journal Officiel de la République Française du 15 juin 2006.

JORF (2013) Arrêté du 22 août 2013 portant homologation de la décision n° 2013-DC-0349 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 4 juin 2013 fixant les règles techniques minimales de conception auxquelles doivent répondre les installations dans lesquelles sont présents des rayonnements X produits par des appareils fonctionnant sous une haute tension inférieure ou égale à 600 kV et abrogation de l'arrêté du 30 août 1991 déterminant les conditions d'installation auxquelles doivent satisfaire les générateurs électriques de rayons X. Journal Officiel de la République Française du 3 septembre 2013.

Schiedts D. (2014) Le bloc : cancre de la radio protection? Dans : *Sixièmes journées sur l'optimisation de la radioprotection dans les domaines nucléaire, industriel et médical*. Saint-Malo. France.

Cite this article as: C. Duverger, G. Moliner, F. Boury, P. Branchereau, P. Costa, J.P. Beregi, J. Greffier. Étude de poste et zonage aux blocs opératoires : application pratique d'une méthodologie en 6 étapes. *Radioprotection* 51(1), 65-73 (2016).