

Étude des postes de travail en curiethérapie de prostate : Exemple d'une démarche de prévention

La curiethérapie selon la technique dite « en temps réel » est une technique validée de traitement du cancer de prostate. La mise en place de cette thérapeutique à l'Hôpital d'instruction des armées du Val-de-Grâce a été l'occasion d'une étude de poste détaillée avec dosimétrie des personnels soignants. Ce travail s'accompagne également d'un rappel de la réglementation et de conseils en termes de radioprotection.

En résumé

Le Service de protection radiologique des armées (SPRA) et l'Institut national de recherche et de sécurité (INRS) ont mené conjointement une étude afin d'évaluer l'exposition radiologique de l'équipe opératoire au cours de curiethérapies de prostate par implants permanents d'iode-125 à l'Hôpital d'instruction des armées du Val-de-Grâce. Le but de cette étude est d'estimer les doses reçues par une équipe nouvellement formée à cette technique, de mesurer les différents débits d'équivalent de dose ambiant et de définir le zonage radiologique. Au cours des six séances de curiethérapie étudiées, les doses efficaces corps entier et les doses équivalentes aux extrémités et au cristallin sont restées inférieures au seuil de détection pour l'ensemble des personnels. Le débit d'équivalent de dose ambiant mesuré en fin d'implantation est en moyenne de $170 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ au niveau du périnée du patient. C'est à 20 cm de ce dernier qu'est estimée la limite théorique de la zone contrôlée. À partir de ces résultats, des recommandations sont proposées concernant la catégorisation, le zonage radiologique et les modalités de surveillance dosimétrique des personnels. La curiethérapie de prostate par voie transpérinéale échoguidée en temps réel est une technique peu irradiante pour le personnel du fait des caractéristiques de la source radioactive et des moyens techniques utilisés qui assurent une radioprotection efficace de l'équipe opératoire.

Ces différentes techniques sont proposées au patient en fonction de critères bien établis. Parmi elles, la curiethérapie de prostate par implantation permanente de grains d'iode-125 sous contrôle échographique est aujourd'hui une option thérapeutique validée. Cette technique est de plus en plus utilisée du fait du dépistage précoce de ces tumeurs et des moindres complications en termes d'incontinence et de préservation de la fonction sexuelle [1]. Développée dans de nombreux centres en France, les premières séances ont débuté en avril 2010 à l'Hôpital d'instruction des armées (HIA) du Val-de-Grâce.

Bien que cette technique soit considérée comme peu irradiante pour l'équipe opératoire [2, 3], les publications concernant l'exposition radiologique de ces personnels restent rares dans la littérature scientifique. Aussi, le Service de protection radiologique des armées (SPRA), en partenariat avec l'Institut national de recherche et de sécurité (INRS), a mené une étude dosimétrique au cours de séances de curiethérapie. Cette étude illustre également l'importance de l'étude de poste et propose un exemple pratique d'une démarche de prévention.

Cadre réglementaire

La réglementation en vigueur relative à la protection des travailleurs contre les dangers des rayonnements ionisants intègre la transposition de la directive 96/29/Euratom (13 mai 1996) dans le droit français. Ces dispositions sont insérées dans le Code du travail [4].

G. GAGNA¹, C. GAURON²,
X. MICHEL¹, S. WASSILIEFF¹,
A. PADILLA¹, J.C. AMABILE¹,
P. LAROCHE¹

1) Service de protection radiologique des armées (SPRA), Clamart

2) Institut national de recherche et de sécurité (INRS), département Études et assistance médicales

La prise en charge du cancer de la prostate à un stade localisé repose sur différentes alternatives thérapeutiques (prostatectomie radicale, radiothérapie externe ou curiethérapie) aux résultats comparables en termes de contrôle tumoral.

ÉTUDE DE POSTE

La notion d'étude [5] ou d'analyse de poste est introduite dans le Code du travail, notamment par l'article R. 4451-11 : « Dans le cadre de l'évaluation des risques, l'employeur [...] procède à une analyse des postes de travail qui est renouvelée périodiquement et à l'occasion de toute modification des conditions pouvant affecter la santé et la sécurité des travailleurs [...] ».

Objectifs et intérêts

L'étude de poste est un élément essentiel pour s'assurer du respect des limites réglementaires et du principe d'optimisation de la radioprotection (article R. 4451-10). Elle intervient pour définir la délimitation des zones (article R. 4451-18) et la classification des travailleurs (articles R. 4451-44 à R. 4451-46). Les choix ainsi faits permettent de statuer sur le suivi individuel par dosimétrie passive, par dosimétrie opérationnelle (article R. 4451-67) et, le cas échéant, par l'évaluation de l'exposition interne (article R. 4451-62). Ces dosimètres individuels, passifs ou opérationnels, mis en œuvre « doivent permettre de mesurer [...] les rayonnements ionisants révélés par l'analyse des postes de travail et doivent être compatibles avec les conditions de travail envisagées »[6].

L'étude de poste permet en outre de définir le programme des contrôles techniques d'ambiance comprenant les mesures continues ou périodiques des débits de dose externe, de la concentration de l'activité dans l'air et de la contamination des surfaces.

Enfin, les résultats de l'étude de poste renseignent la fiche d'exposition établie par l'employeur (article R. 4451-57). Celle-ci est utilisée par le médecin du travail (article R. 4451-82) pour statuer sur l'aptitude médicale et les modalités de surveillance médicale de chaque travailleur.

Modalités

Une étude de poste doit être réalisée avant la mise en service de tout nouveau poste de travail, puis périodiquement, ainsi qu'à l'occasion de toute modification des conditions pouvant affecter la santé et la sécurité des travailleurs (article R. 4451-11).

L'étude de poste relève de la responsabilité de l'employeur, qui en confie la réalisation à la personne compétente en radioprotection (PCR) mentionnée à l'article R. 4451-103.

L'évaluation des doses de rayonnements susceptibles d'être reçues au poste de travail est réalisée à partir de mesures à ce même poste ou de calculs

numériques. Afin de consolider les résultats de l'évaluation, les PCR peuvent se référer à des études réalisées sur des postes similaires, ainsi qu'au retour d'expérience sur la dosimétrie au poste de travail. Ce dernier est notamment constitué de l'historique des données dosimétriques individuelles efficaces de la dosimétrie opérationnelle et d'ambiance, y compris les résultats de contrôles réglementaires.

En outre, conformément à l'article R. 4451-112, la PCR est également chargée de définir sur cette base « les mesures de protection adaptées à mettre en œuvre » ainsi que « les moyens nécessaires requis en cas de situation anormale ».

LIMITES RÉGLEMENTAIRES ANNUELLES ET DÉLIMITATION DES ZONES DE TRAVAIL

Les limites réglementaires des doses annuelles reçues par les travailleurs exposés sont rappelées dans le **tableau I**. Elles ne constituent en aucun cas une autorisation à délivrer ou à recevoir des doses jusqu'à ces valeurs. En tout état de cause, maintenir les doses en deçà de ces limites ne dispense pas d'appliquer le principe d'optimisation énoncé à l'article L. 1333-1 du Code de la santé publique et rappelé dans l'article R. 4451-10 du Code du travail : « Les expositions professionnelles individuelles et collectives aux rayonnements ionisants sont maintenues en deçà des limites prescrites (...) au niveau le plus faible qu'il est raisonnablement possible d'atteindre ».

Par ailleurs, un abaissement de la limite réglementaire de la dose équivalente reçue au niveau du cristallin évoqué par Wassilieff [7] vient d'être recommandé par la Commission internationale de protection radiologique (CIPR) dans son communiqué « *Statement on Tissue Reactions* » du 21 avril 2011 [8].

Les modalités de délimitation de zones sont fixées dans l'arrêté du 15 mai 2006 [9] 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.

Les valeurs limites de doses associées à ces zones sont rappelées dans la **figure 1**.

Méthodologie

L'intervention s'est déroulée en plusieurs étapes.

La première a été de décrire précisément la technique mise en œuvre, les sources radioactives employées et les postes de travail impliqués. Une étude de

Limites réglementaires des travailleurs exposés aux rayonnements ionisants.

TABLEAU I

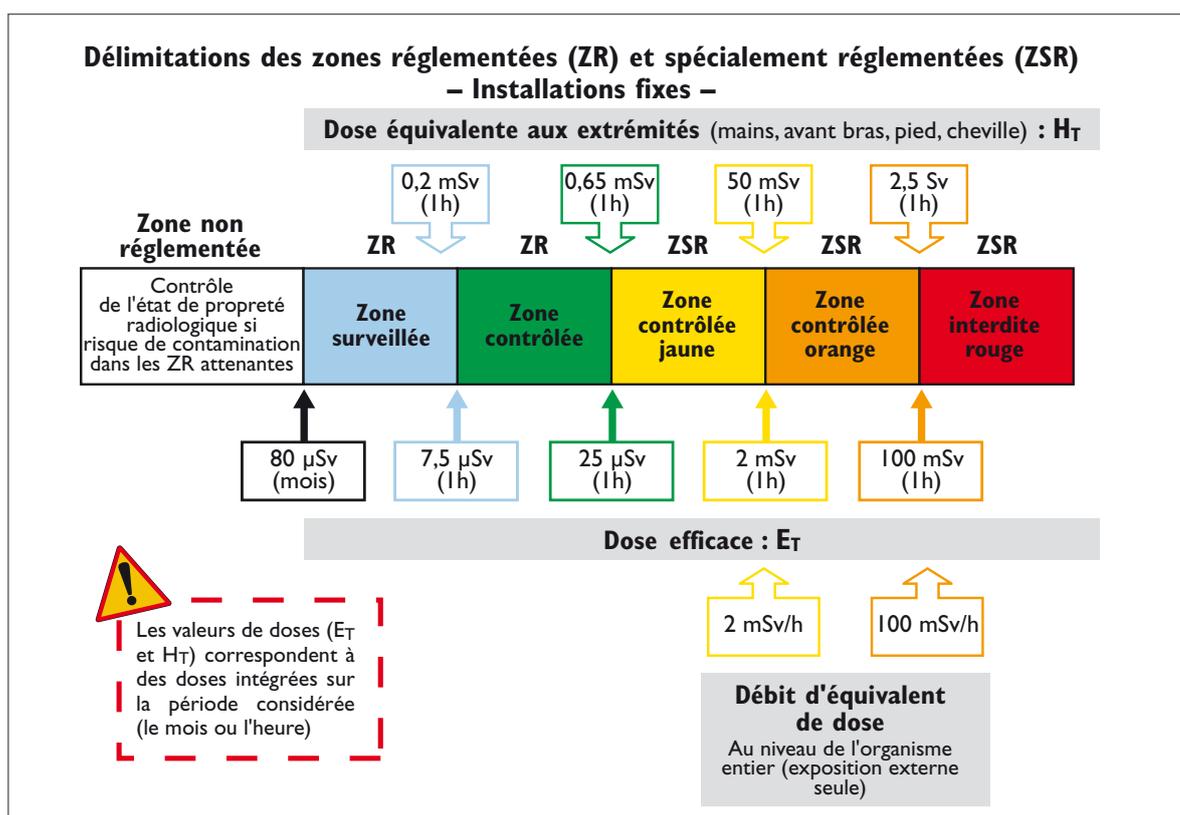
Dose en mSv	Travailleur de catégorie A	Travailleur de catégorie B	Public
Organisme entier (dose efficace)	20	6	1
Peau (dose équivalente pour 1 cm ²)	500	150	50
Cristallin (dose équivalente)	150	45	15
Extrémités (dose équivalente)	500	150	
Femme enceinte	< 1 mSv au niveau de l'abdomen en cas de grossesse déclarée		

poste a été effectuée pour chaque membre de l'équipe opératoire lors des séances de curiethérapie. Elle a permis de guider le choix du type de dosimètre à mettre en place pour la suite de l'étude.

La deuxième étape a consisté en une analyse des paramètres d'exposition des personnels et une étude dosimétrique, réalisée par le Service de protection radiologique des armées (SPRA), en partenariat avec l'Institut national de recherche et de sécurité (INRS) de mai à août 2010 au cours de 6 séances de curiethérapie de prostate. Ces dernières ont eu lieu au sein du bloc opératoire de l'Hôpital d'instruction des armées du Val-de-Grâce.

Dans l'étude dosimétrique, tous les personnels ont bénéficié d'une dosimétrie évaluant pour chacun la dose efficace reçue à l'organisme entier et, pour les opérateurs les plus exposés (urologue et radiothérapeute), d'une dosimétrie adaptée à la mesure de la dose équivalente aux extrémités et au cristallin. Une évaluation de la dosimétrie d'ambiance a également été réalisée ainsi qu'une détermination du zonage radiologique. Les types de dosimètres ont été choisis selon les types de mesures que l'on voulait réaliser, et les résultats de l'étude des postes et de l'analyse du risque radiologique préalablement réalisée.

Fig. 1 : Limites réglementaires pour la délimitation des zones de travail [d'après I0].



MATÉRIELS UTILISÉS POUR L'ÉTUDE DOSIMÉTRIQUE

Évaluation de la dose efficace

Les personnels soignants ont tous été équipés :

- d'un dosimètre passif OSL (*optical stimulation luminescence*) InLight®, porté au niveau de la poitrine, et sensible aux rayonnements γ et X de 5 keV à 40 MeV. Compte-tenu de contraintes techniques liées à sa lecture par le laboratoire de dosimétrie, le seuil de détection retenu est de 0,1 mSv (seuil théorique : 0,05 mSv). La grandeur mesurée par ce dosimètre est l'équivalent de dose individuelle en profondeur à 10 mm Hp (10), estimateur de la dose efficace à l'organisme entier ;

- d'un dosimètre opérationnel électronique DMC 2000 X®, porté lui-aussi au niveau de la poitrine. Il est adapté à la détection des photons de 20 keV à 6 MeV, pour un débit de dose s'étalant de 0,1 $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ à 10 $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ avec un seuil de détection théorique de 1 μSv . La grandeur mesurée est également l'équivalent de dose individuelle en profondeur Hp (10).

Évaluation de la dose équivalente aux extrémités

L'évaluation de la dose équivalente aux extrémités a été réalisée chez le radiothérapeute et l'urologue à l'aide de dosimètres de type nanoDot®. Ces derniers, également de type OSL, se présentent sous forme d'une pastille de 4 mm de diamètre insérée dans une fine plaque de moins de 1 cm de côté dont le seuil de détection retenu est lui aussi de 0,1 mSv (le seuil théorique étant de 0,05 mSv). Ils ont été préférés aux bagues thermoluminescentes pour des raisons liées aux conditions de l'évaluation elle-même et aux doses attendues. La grandeur mesurée est l'équivalent de dose Hp (0,07) reçue au niveau des extrémités.

Évaluation de la dose équivalente au cristallin

L'évaluation la dose équivalente reçue au niveau du cristallin a été effectuée chez l'urologue et le radiothérapeute, dont les yeux se trouvent lors de l'intervention près de la grille de repérage. Un dosimètre nanoDot® a été fixé sur leur front (*photo 1*) au moyen d'un film collant transparent type Opsite® pour mesurer l'équivalent de dose Hp (0,07) reçue à la peau. Compte tenu du positionnement du dosimètre et de la nature photonique du rayonnement, cette valeur est très proche de la valeur de l'équivalent de dose au cristallin

Hp (3), qu'il est particulièrement intéressant d'évaluer au vu des évolutions réglementaires futures.

Dosimétrie d'ambiance

Pour la surveillance de zone, la grandeur opérationnelle appropriée est l'équivalent de dose ambiant $H^*(10)$ mesuré au poste de travail. Elle constitue un bon estimateur des grandeurs de protection (dose efficace) et permet la comparaison avec les limites réglementaires. Les débits d'équivalent de dose ambiant $H^*(10)$ ont été mesurés, lors de chaque séance, en différents points et temps de l'intervention à l'aide d'un radiamètre AT1123®. En raison des rayonnements de basse énergie, ce dernier a été utilisé sans le capot écran du détecteur.

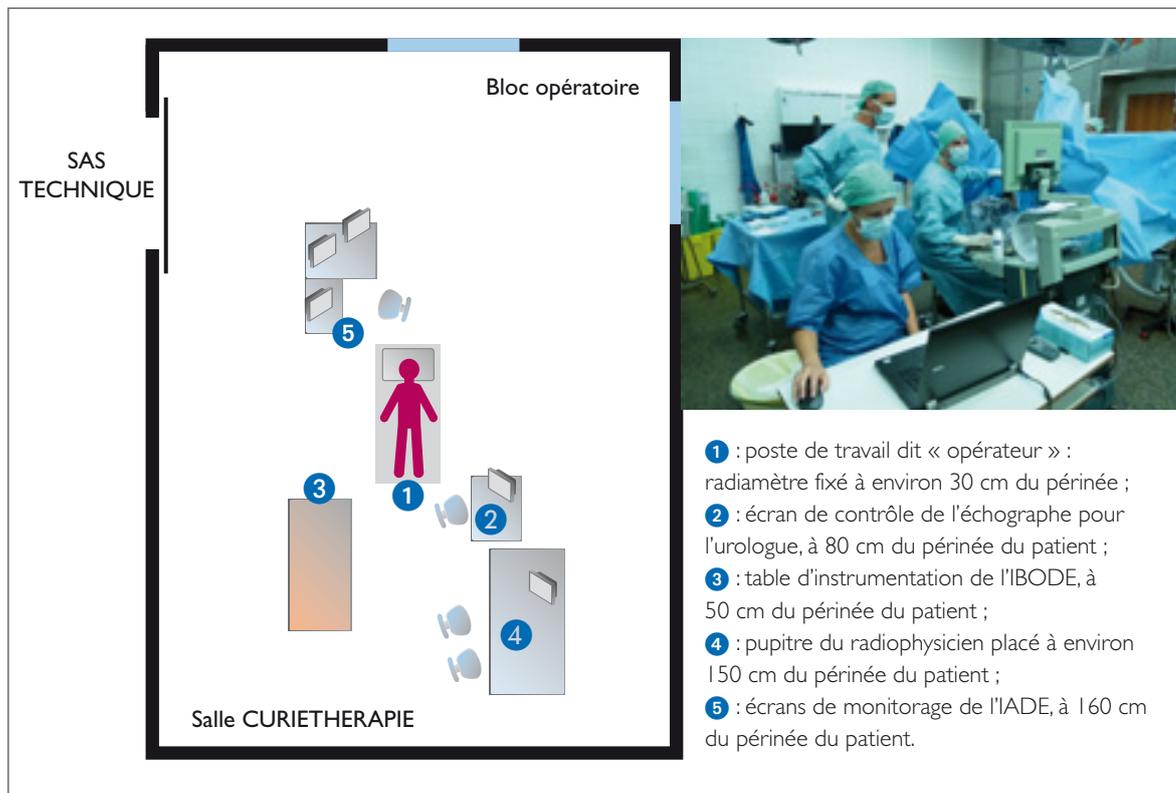
Détermination du zonage radiologique

Conformément à l'arrêté « zonage » du 15 mai 2006, l'équivalent de dose ambiant a été mesuré par l'intégration de la dose enregistrée sur l'heure d'activité la plus pénalisante (dernière heure de l'intervention) au moyen d'un radiamètre AT1123®. L'appareil de mesure est ainsi placé, séance après séance, au niveau des différents postes de travail (*figure 2*).



Photo 1 : Fixation d'un dosimètre nanoDot® fixé sur le front au moyen d'un film collant transparent.

Fig. 2 : Représentations schématique et photographique des différents postes de travail.



Résultats

DESCRIPTION DE LA TECHNIQUE CHIRURGICALE

La technique utilisée est dite « en temps réel » et se déroule en un seul temps [11]. Le patient, placé sous anesthésie générale, est en position de la taille (décubitus dorsal, hanches et genoux fléchis). Intervient en permanence auprès de lui une équipe pluridisciplinaire comprenant un radiothérapeute, un urologue, un radiophysicien ainsi qu'une équipe opératoire classique constituée d'un infirmier anesthésiste diplômé d'état (IADE) et d'un infirmier de bloc opératoire diplômé d'état (IBODE).

Le volume prostatique est mesuré par échographie endorectale permettant la réalisation d'une dosimétrie prévisionnelle et la détermination du nombre de grains d'iode à implanter.

L'urologue insère d'abord, par voie transpérinéale et sous contrôle échographique, les aiguilles vectrices en périphérie de la glande à travers une grille de repérage (photo 2).



Photo 2 : Implantation des aiguilles vectrices par l'urologue.



Photo 3 : Implantation des grains d'iode par le radiothérapeute.

Le radiothérapeute débute le temps radiologique de l'intervention en implantant dans cette région, à l'aide d'un projecteur de source (« Mick applicator® »), environ 75 % des grains à travers ces aiguilles vectrices (photo 3).

Le radiophysicien visualise sur écran d'ordinateur le positionnement des grains par reconstruction tridimensionnelle des images échographiques. Ceci lui permet de déterminer, en temps réel et au moyen de courbes dose-volume, la répartition de la dose délivrée à la prostate et aux organes sensibles avoisinants (urètre et rectum). Ce résultat dosimétrique intermédiaire permet de prévoir le positionnement des grains centraux (à la base et l'apex de la prostate) afin d'optimiser la distribution de la dose.

L'urologue met en place alors les aiguilles vectrices centrales. Puis le radiothérapeute positionne les grains centraux selon la géométrie prévue par ce plan. En fin d'intervention, un cliché radiographique du pelvis de face permet de contrôler que la répartition des grains d'iode au sein de la prostate est homogène.

CARACTÉRISTIQUES DES SOURCES RADIOACTIVES UTILISÉES

Les grains d'iode-125 mesurent 4 à 5 mm de long avec un diamètre inférieur à 1 mm et sont enrobés d'une capsule de titane [12]. La période radioactive de l'iode-125 est d'environ 60 jours et l'activité de chaque grain est proche de 18,5 MBq (0,5 mCi). L'énergie des photons émis est faible (27 à 35 keV). Ces grains sont stockés dans des cartouches pré-chargées en acier de 15 grains maximum. Ils sont implantés sous forme de grains libres, délivrant à la glande une irradiation permanente à bas débit de dose (0,4 à 2 Gy.h⁻¹ au volume cible).

ÉTUDE DES POSTES DE TRAVAIL

Radiothérapeute

Le radiothérapeute est l'opérateur le plus exposé. Sa main non dominante (gauche) est au contact des cartouches pré-chargées lors du transfert vers le projecteur de source, et lors de l'implantation des grains d'iode périphériques et centraux.

Urologue

L'urologue est plus particulièrement exposé lorsqu'il met en place les aiguilles vectrices centrales alors que les grains d'iode, implantés par le radiothérapeute en périphérie de la prostate, sont déjà en place. Les extrémités de sa main non dominante (gauche) sont les plus exposées.

Par la suite, pendant que le radiothérapeute implante les grains, il assure la transmission de l'information concernant le positionnement de ces grains vers le radiophysicien, depuis l'écran de contrôle de l'échographe. En fin d'intervention, il met en place le pansement directement au niveau du périnée du patient.

Radiophysicien

Le radiophysicien se charge de la gestion dosimétrique de l'intervention devant son écran d'ordinateur. Il participe au transfert des cartouches d'iode depuis leur porte-source vers la table d'instrumentation, au contrôle régulier, au moyen d'un radiamètre, de l'absence de perte de grains sur cette table et dans les sacs à déchets. Il mesure des débits de dose en regard de l'abdomen du patient en fin d'intervention.

IBODE

L'IBODE exerce les fonctions traditionnelles d'infirmier de bloc opératoire pour tout ce qui concerne les phases non radiologiques. En fin d'intervention, il peut aider à la réalisation du cliché de contrôle du pelvis de face, équipé de son tablier plombé.

IADE

L'IADE, à la tête du patient, assure, sous le contrôle du médecin anesthésiste, l'induction de l'anesthésie générale, surveille les paramètres vitaux en cours d'intervention et le transfert du patient en salle de réveil.

ANALYSE DES PARAMÈTRES GÉNÉRAUX D'EXPOSITION

Au cours de chaque séance de curiethérapie, ont été recueillis :

- l'activité administrée,
- le nombre de grains implantés,
- la durée totale de l'intervention,
- le temps « radiologique » (après ouverture des sources),
- le temps d'exposition de l'urologue (mise en place des aiguilles centrales),
- le temps d'exposition du radiothérapeute (implantation des grains périphériques et centraux).

Ces données générales sont présentées dans le **tableau II**. Ces résultats montrent l'existence d'une courbe d'apprentissage au cours des six séances de curiethérapie avec une décroissance régulière des temps d'intervention. Ces derniers ont en effet été réduits de moitié, diminuant de manière significative la durée d'exposition des opérateurs aux rayonnements ionisants. Le radiothérapeute abaisse en moyenne son temps d'exposition de 10 minutes par séance, passant ainsi d'une durée de 70 à 30 minutes d'exposition. L'urologue divise lui plus rapidement son temps d'exposition par deux (30 minutes lors de la première séance, 15 minutes dès la deuxième).

Ces données sont en accord avec celles retrouvées dans la littérature [13]. L'habileté et la rapidité des opérateurs augmentent avec le nombre de cas, particulièrement du fait de la familiarisation des gestes avec la technique d'implantation et l'utilisation du « Mick applicator® ». L'apprentissage de cette gestuelle est un allié précieux en radioprotection !

ÉTUDE DOSIMÉTRIQUE

Évaluation de la dose reçue par les personnels

Évaluation de la dose efficace

Les doses cumulées lors des 6 séances de curiethérapie étant restées en dessous du seuil de détection des dosimètres passifs corps entier soit 0,1 mSv, les doses maximales susceptibles d'être reçues sont estimées inférieures à 17 µSv / acte en Hp (10).

Concernant les résultats de la dosimétrie opérationnelle, les doses relevées lors de chaque séance n'ont pas dépassé le seuil de détection de 1 µSv pour l'ensemble des personnels.

Évaluation de la dose équivalente aux extrémités

Les dosimètres ont été fixés au moyen de bandellettes adhésives type Stéri-Strips® avant chaque intervention, après lavage chirurgical des mains, sur l'ongle de l'index gauche du radiothérapeute (*photo 4*) et la pulpe de l'annulaire gauche de l'urologue, ces localisations résultant de l'évaluation préalable du risque mais aussi de la demande des praticiens de conserver leur dextérité.

Les doses équivalentes aux extrémités sont également restées inférieures au seuil de détection de 0,1 mSv. Ainsi les doses maximales susceptibles d'être reçues sont considérées inférieures à 17 µSv / acte en Hp (0,07).

Évaluation de la dose équivalente au cristallin

Les doses équivalentes à la peau mesurées au niveau du front des opérateurs n'ont également pas dépassé le seuil de détection de 0,1 mSv du dosimètre. La dose

Données générales des séances de curiethérapie de prostate.

Séances de curiethérapie	1	2	3	4	5	6	
Nombre de grains d'iode implantés	76	72	62	67	61	74	
Activité totale administrée (MBq)	1 221	1 118	962	1 040	946	1 149	
Temps d'intervention	Total	2 h 50 min	2 h 05 min	1 h 45 min	1 h 30 min	1 h 15 min	1 h 35 min
	Radiologique	1 h 40 min	1 h 15 min	1 h 05 min	55 min	45 min	1 h
Temps d'exposition	Radiothérapeute	1 h 10 min	1 h	50 min	40 min	30 min	40 min
	Urologue	30 min	15 min	15 min	15 min	15 min	20 min

TABLEAU II



Photo 4 : Dosimètre nanoDot® fixé sur un doigt du radiothérapeute.

équivalente au cristallin est donc considérée inférieure à $17 \mu\text{Sv}/\text{acte}$.

La littérature ne rapporte pas d'autre étude dosimétrique utilisant une technique similaire (technique en un seul temps utilisant un projecteur de source). Dans une étude non publiée, réalisée par l'Institut Curie (Paris), les doses équivalentes mesurées à l'aide d'une bague TLD portée à chaque main et lue après six séances de curiethérapie réalisées en un mois sont également inférieures au seuil de détection de $0,1 \text{ mSv}$, confirmant les résultats de l'étude présentée ici.

En revanche, les publications concernant une technique différente de curiethérapie de prostate, dite de « préplanning », et utilisant la fluoroscopie, sont plus nombreuses. Après une première phase précise de planification, des aiguilles préchargées (grains liés dans un matériel de suture type « rapid-strands® ») sont implan-

tées manuellement en suivant strictement ce qui a été planifié. Le respect de la position exacte des aiguilles nécessite souvent l'emploi de la fluoroscopie [14], cette dernière constituant le principal facteur d'exposition des professionnels [15] et délivrant à l'organisme entier une dose efficace estimée à $7,6 \mu\text{Sv}\cdot\text{min}^{-1}$ et une dose équivalente aux extrémités de $50 \mu\text{Sv}\cdot\text{min}^{-1}$.

Évaluation de la dosimétrie d'ambiance

Les résultats des débits d'équivalent de dose $H^*(10)$ sont les suivants :

- au contact du porte source : $59 \text{ nSv}\cdot\text{h}^{-1}$, soit inférieur au bruit de fond évalué à $62 \text{ nSv}\cdot\text{h}^{-1}$;
- au contact de l'extrémité de la cartouche préchargée (avec protection) : $2,88 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$. Lorsque le grain d'iode est à nu (cartouche prête à l'insertion dans le « Mick applicator® »), le débit atteint $4,67 \text{ mSv}\cdot\text{h}^{-1}$.

L'ensemble des résultats relevés à proximité et à distance du patient, après l'implantation des grains périphériques et en fin d'intervention, est présenté dans le [tableau III](#).

Les valeurs retrouvées sont relativement importantes au pseudo-contact du périnée en fin d'intervention puisque de l'ordre de $170 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$, mais diminuant avec la distance ($31 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ à 20 cm et $2,7 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ à 1 m).

L'originalité de cette étude réside dans la mesure des débits directement au niveau du périnée du patient, en per et post-opératoire immédiat, rarement évalués dans d'autres études. Il est cependant possible de comparer ces valeurs à celles de la littérature pour les débits de dose mesurés à 20 cm au niveau de la surface antérieure de l'abdomen et à 1 m sur le côté du patient. Ainsi, le débit d'équivalent de dose moyen de $23,7 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ mesuré à 20 cm en avant de l'abdomen est concordant

TABLEAU III

Moyennes des mesures des débits d'équivalent de dose ambiant (min – max).

		Fin d'implantation des grains périphériques	Fin d'intervention (grains périphériques et centraux en place)
Pseudo-contact du périnée		$80 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ (33 – 145)	$170 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ (100 – 230)
En direction des pieds	à 20 cm^*	$21 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ (9,5 – 50)	$31 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ (15 – 53)
	à 1 m^*	$1,75 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ (0,65 – 3,5)	$2,7 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ (1,4 – 6)
En regard de l'abdomen	à 20 cm^*	$9,4 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ (3 – 17,5)	$23,7 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ (13,5 – 52)
En direction de la tête	à 20 cm^*	$1,8 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ (0,8 – 3,5)	$8,6 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ (2,6 – 16)
	à 1 m^*	$0,14 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ (0,06 – 0,34)	$0,2 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ (0,07 – 0,45)
Latéral	à 20 cm^*	mesure non réalisée	$6,6 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ (0,5 – 30)
	à 1 m^*	$0,15 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ (0,09 – 0,25)	$0,26 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ (0,16 – 0,5)

* Mesures réalisées à la distance X (en m ou cm) du site d'implantation (prostate) dans la direction indiquée.

avec les moyennes retrouvées dans d'autres études : 15,9 $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ pour Cattani et al. [16] et 22 $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ pour l'Institut Curie publié dans un rapport de l'IRSN [17]. De même, Smathers et al. [18] et Dauer et al. [19], mesurent des débits de dose latéraux à 1 m proches de 0,25 $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ (respectivement 0,3 et 0,9 $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$).

Les débits de dose mesurés à distance du patient dépendent du nombre de grains d'iode et de l'activité totale implantés, de la distribution géographique des grains, de la position de la prostate et de l'épaisseur de tissus traversée.

DÉTERMINATION DU ZONAGE RADIOLOGIQUE

Le classement des zones au niveau des 5 types de postes de travail est déterminé sur la base de 40 heures de travail mensuel. Cette valeur correspond à l'hypothèse maximaliste d'un doublement de l'activité par rapport à l'objectif de deux séances par semaine, chaque séance durant en moyenne 2 heures sur 5 semaines par mois.

Les doses efficaces susceptibles d'être reçues sur l'heure la plus pénalisante au niveau des différents postes de travail et le classement des zones sont présentés dans le **tableau IV**.

La dose la plus péjorative mesurée sur 1 heure dans cette étude est de 3,2 μSv à 30 cm du périnée (poste de travail dit « opérateur », cf. **figure 2**), sachant que la limite réglementaire entre zone surveillée et zone contrôlée est fixée à 7,5 $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$. La limite de la zone contrôlée peut être estimée par calcul (selon la loi de l'inverse du carré de la distance), à environ 20 cm du périnée du patient.

Le poste de travail « opérateur » peut donc être classé en zone surveillée. Seules les extrémités (mains) du radiothérapeute et de l'urologue pénètrent en zone contrôlée.

Les autres postes (échographe, table d'instrumentation de l'IBODE, pupitre du radiophysicien, écrans de monitoring de l'IADE) sont en zone non réglementée.

Recommandations pour les acteurs de prévention

Les résultats de cette étude de poste permettent de proposer des recommandations pour le zonage radiologique, la surveillance dosimétrique et la catégorisation des personnels.

ZONAGE RADIOLOGIQUE ET SURVEILLANCE DOSIMÉTRIQUE

Au cours d'une séance de curiethérapie de prostate, la zone contrôlée s'étend sur une sphère de 20 cm de rayon centrée sur la prostate du patient. En pratique, la limite de cette zone réglementée n'est pas physiquement matérialisable.

Pour la zone surveillée, il semble justifié d'en étendre la limite aux parois de la salle d'opération, en raison du risque d'incident (blocage dans le projecteur de source, voire perte de grains). La signalisation par le trèfle de cette zone réglementée se situe par conséquent à l'entrée de la salle et peut donc être mieux identifiée par l'ensemble des personnels du bloc opératoire.

Compte tenu de ces éléments, l'évaluation de la dose efficace reçue par dosimètre passif est recommandée pour les opérateurs (urologue et radiothérapeute). Concernant la surveillance dosimétrique de leurs extrémités (mains), il convient de poursuivre les mesures sur une période de 6 à 12 mois en activité « normale » de curiethérapie. La décision du maintien

Doses efficaces intégrées en 1 heure aux différents postes de travail.

TABLEAU IV

Poste de travail * (Distance / périnée)	Résultats	Classement de la zone
N°1 : mesure à 30 cm "Opérateur"	3,20 μSv (soit 128 μSv sur 1 mois)**	Zone surveillée
N°2 : mesure à 80 cm "Écran de l'échographe"	0,60 μSv (soit 24 μSv sur 1 mois)**	Zone non réglementée
N°3 : mesure à 50 cm "Table d'instrumentation"	1,00 μSv (soit 40 μSv sur 1 mois)**	Zone non réglementée
N°4 : mesure à 150 cm "Pupitre radiophysicien"	0,19 μSv (soit 7,6 μSv sur 1 mois)**	Zone non réglementée
N°5 : mesure à 160 cm "Écrans monitoring IADE"	0,10 μSv (soit 4 μSv sur 1 mois)**	Zone non réglementée

* Les postes de travail sont illustrés dans la figure 2.

** Valeurs calculées sur la base de 40 heures de travail mensuel.

ou non de cette surveillance dépendra des doses enregistrées sur deux à quatre périodes de trois mois. Si les doses restent inférieures au seuil de détection, il sera alors licite de ne pas poursuivre cette surveillance. La dosimétrie opérationnelle n'est pas nécessaire puisque seules les mains de ces opérateurs pénètrent en zone contrôlée.

Par ailleurs, la surveillance dosimétrique des IBODE et IADE n'est pas obligatoire au vu des doses enregistrées et de l'intermittence de leur activité en curiethérapie.

CATÉGORISATION DES PERSONNELS

La limite annuelle de dose efficace pour le public est actuellement fixée à 1 mSv (article R. 1333-8 du Code de la Santé publique).

Les doses maximales « corps entier » en Hp (10) susceptibles d'être reçues par les opérateurs (urologue et radiothérapeute) sont inférieures à 100 μ Sv pour 6 séances de curiethérapie. De ce fait, la dose efficace des opérateurs réalisant 60 actes par an (ce qui est envisageable) pourrait atteindre cette limite de 1 mSv. Au vu de la définition du travailleur exposé [20], il est recommandé de classer les opérateurs (urologue et radiothérapeute) comme personnels exposés de catégorie B. Ces personnels doivent donc bénéficier d'une surveillance médicale renforcée associée à une surveillance dosimétrique adaptée.

L'IBODE et l'IADE ne sont pas des personnels affectés en permanence à cette activité de curiethérapie. Ils peuvent être considérés comme des travailleurs non classés accédant occasionnellement à une zone réglementée. En effet, la circulaire DGT/ASN n° 04 du 21 avril 2010 [17], relative aux mesures de prévention des risques d'exposition aux rayonnements ionisants, dispose qu'un « *travailleur dont l'intervention ne modifie pas notablement les conditions d'exposition peut accéder de manière occasionnelle à une zone réglementée sans être classé ni faire l'objet d'un suivi dosimétrique de référence si l'employeur :*

- a évalué préalablement les doses susceptibles d'être reçues ». C'est l'objet de la présente étude ;

- « s'est assuré que leur cumul avec d'autres doses éventuellement préalablement reçues demeure inférieur à 1 mSv sur les douze derniers mois glissants ». Ce sera vérifié par la personne compétente en radioprotection et le médecin du travail ;

- « a mesuré les doses effectivement reçues lorsque ce travailleur intervient en zone contrôlée au moyen notamment d'une dosimétrie opérationnelle ». Il a été précédemment montré que cela n'est pas nécessaire.

Le radiophysicien est déjà catégorisé B et son activité en curiethérapie ne justifie pas un classement supérieur.

Ces recommandations ne sont données qu'à titre indicatif puisque la définition de la catégorisation et du zonage est de la responsabilité de l'employeur.

PORT D'ÉQUIPEMENTS DE PROTECTION INDIVIDUELLE (EPI)

Compte-tenu des résultats, le port d'EPI (tabliers plombés, gants de protection radiologique, cache-thyroïde) est inutile au cours de ce type d'intervention. En revanche, lors de la réalisation d'un cliché radiologique de contrôle, le port du tablier plombé pour les personnels qui doivent être présents dans la pièce est obligatoire.

RADIOPROTECTION VIS-À-VIS DU PATIENT

Les débits de dose mesurés en fin d'intervention sont de 170 μ Sv.h⁻¹ au pseudo-contact du périnée et de 23,7 μ Sv.h⁻¹ à 20 cm en regard de l'abdomen. À ces distances, une présence pendant 6 et 40 heures respectivement serait nécessaire pour dépasser la limite annuelle publique de 1 mSv. Ce scénario n'est en pratique pas envisageable. La présence du patient ne pose donc pas de problème particulier d'exposition externe vis-à-vis des autres patients et personnels en salle de réveil, comme en unité d'hospitalisation.

Néanmoins, des mesures d'information du patient et d'organisation sont nécessaires. Le patient doit être porteur d'une carte personnelle indiquant la date de la curiethérapie et le nom de l'hôpital où elle a été réalisée. Ces informations peuvent s'avérer utiles en cas de chirurgie ouverte abdomino-pelvienne ou lors du franchissement de détecteurs particulièrement sensibles dans certains aéroports. Il doit être averti :

- qu'il faut éviter, dans un souci de respect du principe ALARA (« *As Low As Reasonably Achievable* »), de prendre sur les genoux des nourrissons et des enfants de moins de 13 ans et se tenir à distance des femmes enceintes au cours des deux mois suivant l'intervention ;

- qu'en cas de décès, il lui est impossible de demander à recourir à l'incinération dans un délai de 3 ans après l'implantation (risque de contamination des personnels à l'iode par les fumées).

Les mesures organisationnelles sont centrées sur le risque de perte de grains afin d'éviter une éventuelle contamination. Elles comprennent :

- une traçabilité des sources radioactives avant et pendant (comptage des grains) l'implantation ;

- un contrôle radiologique de la table d'instrumentation en cours d'intervention, des déchets opératoires

en fin d'implantation et lors de la réfection du pansement périnéal en unité d'hospitalisation ;

- une filtration des urines pendant 15 jours, deux semaines d'abstinence suivies de rapports protégés avec préservatifs pendant encore 15 jours, avec le cas échéant, récupération du grain perdu à l'aide d'une cuillère ou d'une pince à épiler et stockage dans le container plombé remis lors de la sortie d'hospitalisation (repris par le service d'oncologie-radiothérapie).

Conclusion

La curiethérapie de prostate par implants permanents de grains d'iode-125 libres, réalisée en un temps par voie transpérinéale échoguidée et à l'aide d'un applicateur, est une technique peu irradiante pour les personnels, en raison :

- de la nature de source radioactive, émettrice de photons de basses énergies (30 keV en moyenne) ;
- de l'atténuation par les tissus péri-prostatiques. La couche de demi-atténuation est estimée à environ 3 cm ;
- de l'atténuation du faisceau résiduel par la grille de repérage en matière plastique dense ;
- de la technique elle-même : radioprotection des opérateurs optimisée par la cartouche en acier dans laquelle sont stockés les grains d'iode qui transitent ensuite entre un support plombé et le projecteur de source ;
- de l'absence d'utilisation de scopie.

Cette étude de poste permet de proposer des recommandations aux différents acteurs de la radioprotection dans le cadre particulier de l'activité de curiethérapie de prostate. Si le risque d'exposition externe peut apparaître comme faible, la mise en œuvre de cette technique implique néanmoins d'importantes mesures organisationnelles afin de respecter les grands principes de radioprotection : justification, optimisation et limitation. Cette étude constitue également un outil d'information et de sensibilisation pour les personnels travaillant au bloc opératoire, plus habitués à la présence de générateurs de rayons X qu'à celle de sources radioactives scellées.

Points à retenir

L'étude des postes de travail est imposée par le Code du travail après toute introduction d'une nouvelle technique ou tout nouveau process industriel dans l'environnement professionnel des travailleurs.

Dans le cadre particulier du risque radiologique, l'étude de poste relève de la responsabilité du chef d'établissement, qui en confie la réalisation à la personne compétente en radioprotection (PCR).

À partir d'un exemple concret au cours de curiethérapies de prostate, est proposée une approche méthodologique d'aide à la réalisation d'études dosimétriques de poste de travail pour les acteurs de la prévention.

La démarche de prévention s'avère nécessaire pour bien identifier les risques d'exposition aux rayonnements ionisants, mettre en œuvre le processus d'optimisation de la radioprotection, classer les différents travailleurs et délimiter les zones de travail.

Cet exposé est complété par des rappels sur le contexte réglementaire ainsi que des principaux objectifs associés à l'étude de poste.

La réussite de ces études dosimétriques requiert la pleine collaboration entre les différents acteurs de prévention : l'employeur et la PCR, les travailleurs, le médecin de prévention et l'expertise éventuelle des services techniques d'appui en radioprotection (IRSN* pour le civil, SPRA pour le ministère de la Défense).**

* IRSN : Institut de Radioprotection et de Sécurité Nucléaire

** SPRA : Service de protection radiologique des armées (SPRA), Clamart

BIBLIOGRAPHIE

- [1] **COSSET JM, PINILLOS-ASHTON L, METTLER F** - Recommandations de la Commission internationale de protection radiologique (CIPR) pour la curiethérapie de haut débit de dose et la curiethérapie de prostate. *Cancer Radiothér.* 2004 ; 8 (Suppl 1) : S50-55.
- [2] Radiation safety aspects of brachytherapy for prostate cancer using permanently implanted sources. A report of ICRP Publication 98. *Ann ICRP.* 2005 ; 35 (3) : 3-50.
- Erratum in:*
- *Ann ICRP.* 2009 ; 39 (3) : 63-67.
 - *Ann ICRP.* 2005 ; 35 (4) : 141.
- [3] **GAGNA G, GAURON C, AMABILE JC, LAROCHE P** - Exposition radiologique de l'équipe opératoire au cours de curiethérapies de prostate par implants permanents d'iode-125. *Radioprotection.* 2011 ; 46 (2) : 189-208.
- [4] Code du travail. Partie réglementaire nouvelle. Quatrième partie : Santé et sécurité du travail. Livre IV : Prévention de certains risques d'exposition. Titre V : Prévention des risques d'exposition aux rayonnements. Chapitre 1^{er} : Prévention des risques d'exposition aux rayonnements ionisants (www.legifrance.gouv.fr)
- [5] **DONADILLE L, REHEL JL, DELIGNE JM, QUEINNEC F ET AL.** - Réalisation des études dosimétriques de poste de travail présentant un risque d'exposition aux rayonnements ionisants (version 2). Guide pratique. DPRH/DIR n° 2010-1. IRSN, 2010 (www.irsn.fr/FR/base_de_connaissances/librairie/Documents/publications_pour_les_professionnels/IRSN_guide_etude_poste_travail_V2-042010.pdf).
- [6] Arrêté du 30 décembre 2004 relatif à la carte individuelle de suivi médical et aux informations individuelles de dosimétrie des travailleurs exposés aux rayonnements ionisants. *J Off Répub Fr.* 2004 ; 304, 31 décembre 2004 : 22596-99.
- [7] **WASSILIEFF S** - Cataracte et rayonnements ionisants. *Radioprotection.* 2009 ; 44 (4) : 505-17.
- [8] Statement on Tissue Reactions. ICRP, 2011 (www.icrp.org/page.asp?id=123).
- [9] 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. *J Off Répub Fr.* 137, 15 juin 2006 : 9001-05.
- [10] 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. Paris : ministère du Travail, des Relations sociales, de la Solidarité et de la Ville, ASN ; 2008 : 14 p.
- [11] **COSSET JM, HAIE-MEDER C** - Curiothérapie du cancer prostatique : haut débit ou bas débit de dose ? *Cancer Radiothér.* 2005 ; 9 (8), 610-19.
- [12] **PEIFFERT D** - Curiothérapie interstitielle des cancers localisés de prostate par implants permanents d'iode 125. *Cancer Radiothér.* 2005 9 (6-7) : 388-93.
- [13] **LEE WR, DEGUZMAN AF, BARE RL, MARSHALL MG ET AL.** - Postimplant analysis of transperineal interstitial permanent prostate brachytherapy: evidence for a learning curve in the first year at a single institution. *Int J Radiat Oncol Biol Phys.* 2000 ; 46 (1) : 85-88.
- [14] **VAN HAAREN PM, VAN'T RIET A, MOERLAND MA, KOEDOODER C ET AL.** - Dose to fingertips of staff preparing stranded iodine-125 seeds for permanent prostate implants. *Radiat Prot Dosimetry.* 2010 ; 145 (1) : 61-65.
- [15] **SCHWARTZ DJ, DAVIS BJ, VETTER RJ, Pisansky TM et al.** - Radiation exposure to operating room personnel during transperineal interstitial permanent prostate brachytherapy. *Brachytherapy.* 2003 ; 2 (2) : 98-102.
- [16] **CATTANI F, VAVASSORI A, POLO A, RONDI E ET AL.** - Radiation exposure after permanent prostate brachytherapy. *Radiother Oncol.* 2006 ; 79 (1) : 65-69.
- Comment in: Radiother Oncol.* 2006 ; 80 (3) : 395.
- [17] IRSN Report SDO3-2009. Fontenay-aux-Roses : Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire ; 2003.
- [18] **SMATHERS S, WALLNER K, KORSSJOEN T, BERGSAGEL C ET AL.** - Radiation safety parameters following prostate brachytherapy. *Int J Radiat Oncol Biol Phys.* 1999 ; 42 (2) : 397-99.
- [19] **DAUER LT, ZELEFSKY M, HORAN C, YAMADA Y ET AL.** - Assessment of radiation safety instructions to patients based on measured dose rates following prostate brachytherapy. *Brachytherapy.* 2004 ; 3 (1) : 1-6.
- [20] Circulaire DGT/ASN n° 04 du 21 avril 2010 relative aux mesures de prévention des risques d'exposition aux rayonnements ionisants. Paris : ministère du Travail, de la Solidarité et de la Fonction publique, Direction générale du travail ; 2010 : 64 p.