

Exposition du patient en radiologie interventionnelle

Risque cutané et gestion de la dose

Christophe Guionnet

Cadre enseignant - Institut de formation de manipulateurs d'électroradiologie - CHU de Nancy

Le domaine de la radiologie interventionnelle fait actuellement l'objet d'une attention particulière de la part de l'Autorité de sûreté nucléaire, qui a saisi le groupe permanent d'experts en radioprotection médicale (GPMED) afin d'établir des recommandations pour améliorer la radioprotection des patients et des travailleurs dans ce secteur à haut risque. Les accidents d'exposition se révèlent sous la forme de lésions cutanées dont le délai de prise en charge pourrait être raccourci par une meilleure connaissance de leur évolution et par l'évaluation de la dose délivrée. La prise en charge du patient, tant au niveau de l'appareillage qu'au plan humain, doit être organisée dans le cadre d'une politique générale de détection et de suivi des patients susceptibles de présenter des effets déterministes.

■ Introduction

On regroupe sous le terme radiologie interventionnelle, les actes médicaux diagnostiques et thérapeutiques guidés par la fluoroscopie, qu'il s'agisse des actes radioguidés invasifs ou des actes chirurgicaux utilisant des rayons X en per-opératoire. Toutes les disciplines médicales et de nombreux praticiens sont concernés par les techniques interventionnelles qui regroupent des actes très variés par leur nature, leur complexité et leur durée. Du fait de la pluralité des techniques et des domaines concernés, **de nombreux risques sont inhérents à la radiologie interventionnelle**, que cela touche aux infections nosocomiales ou aux différentes vigilances dont font partie les effets indésirables des rayons X sous la forme d'événements significatifs de radioprotection. Le domaine de la radiologie interventionnelle fait actuellement l'objet d'une **attention particulière de la part de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN)** car le risque sanitaire lié à ce type d'actes est élevé, du fait de la durée des expositions et des débits de dose importants en fluoroscopie. L'image péjorative des radiations ionisantes dans la population, la description d'effets déterministes lors des procédures interventionnelles telles que des alopecies ou des lésions cutanées, ainsi que le risque stochastique d'induction de cancer, ont placé ce type d'actes au cœur des préoccupations et pourraient aboutir de façon réaliste à la perspective d'actions judiciaires [1].

Cet article a pour objet la **description des risques déterministes liés à l'exposition des patients**, en particulier les effets

cutanés, avant de dresser la liste des moyens d'estimation de la dose délivrée et d'aborder les aspects organisationnels liés à la gestion de la dose.

■ Risques liés à la radiologie interventionnelle

Estimation du risque stochastique

Le risque des effets stochastiques tient compte de la probabilité et de la gravité du préjudice causé par l'exposition. La dose absorbée par les différents organes ne pouvant pas être mesurée sur les patients, l'estimation des doses équivalentes s'effectue par la mesure de dose sur des fantômes anthropomorphiques ou par l'utilisation de logiciels qui simulent les interactions des rayonnements sur des fantômes mathématiques. L'estimation de la dose efficace est délicate et présente d'importantes incertitudes liées à la technique, en particulier à la géométrie, et à l'appareillage. En première approximation, des facteurs de conversion permettent d'estimer la dose efficace à partir du PDS. En cardiologie interventionnelle, les facteurs de conversion sont définis pour les différentes incidences liées aux principales procédures et ont une valeur moyenne de 0,2 mSv/Gy.cm² (**tableau 1**) [2]. On peut ainsi calculer une dose efficace de 10 mSv si le produit dose.surface (PDS) mesuré est par exemple de 50 Gy.cm². Le risque stochastique de décès lié à l'exposition est estimé en multipliant la dose efficace par un coefficient variant suivant l'âge et le sexe de la personne. Le risque de décès d'un

Examen	Projection	% du produit dose.surface total	Facteur de conversion (mSv/Gy/cm ²)
Angiographie coronaire	OAD	60	0,206
	OAG	30	0,184
	LAT	10	0,183
Angioplastie coronaire	OAD	60	0,206
	OAG	30	0,184
	LAT	10	0,183
Angioplastie coronaire	OAD	30	0,206
	OAG	70	0,184
Valvuloplastie mitrale	PA	40	0,150
	OAG	60	0,184

Tableau 1.

OAD: Oblique antérieur droit
OAG: Oblique antérieur gauche
LAT: Latéral
PA: Postéro-antérieur

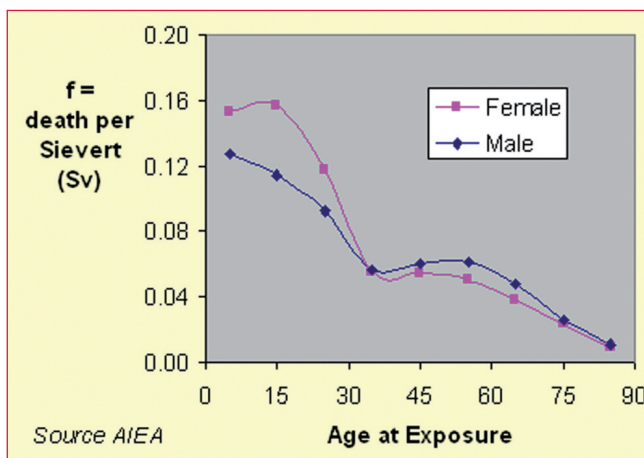


Figure 1.

homme de 50 ans ayant reçu une dose efficace de 10 mSv serait par exemple de 5 pour 10000, soit un risque de 5 décès pour 10000 procédures (fig. 1).

Le risque d'effets stochastiques augmente avec la dose totale délivrée mais reste faible par rapport à la fréquence des tumeurs malignes non dues à l'exposition. Une intervention longue de radiologie interventionnelle peut délivrer des doses de l'ordre de 100 mSv, l'augmentation du risque de décès par cancer due à cette exposition serait de moins de 0,5 %, si l'on tient compte du taux de risque de 5 % par Sv actuellement estimé par la Commission internationale de protection radiologique (CIPR). Il est estimé que la probabilité de développement d'un cancer chez un patient de 60 ans est de 16,5 % dans les dix ans qui suivront. Le risque statistique est trop faible pour être documenté dans la population bénéficiant de la radiologie interventionnelle. Une attention particulière doit toutefois être apportée vis-à-vis du risque stochastique lors des procédures exposant des organes critiques tels que la thyroïde, le sein ou les gonades, ainsi que chez les enfants où le risque estimé est jusqu'à trois fois plus important [3].

Risque d'effets déterministes

L'exercice de la radiologie interventionnelle est confronté à la révélation de **nombreux accidents d'irradiation amenant à améliorer la prise en compte de la gestion de la dose**. Les effets déterministes induits se manifestent le plus souvent au niveau cutané, mais les organes radiosensibles sont également concernés, à l'image du cristallin par exemple.

De nombreuses procédures sont susceptibles d'induire des lésions cutanées, l'incidence des effets déterministes augmente avec le poids du patient, la nature et la complexité de l'intervention, les expositions antérieures, ainsi qu'avec les pathologies associées telles que le diabète. Selon les procédures, les temps de scopie peuvent être particulièrement longs et l'ensemble des doses couvre toute la gamme des lésions cutanées possible, de l'érythème à la nécrose cutanée. Un délai important persiste entre les premiers signes et le diagnostic. Ce temps pourrait être probablement raccourci par une meilleure connaissance de cette complication et une consultation plus précoce.

Les lésions cutanées radio-induites

Les lésions cutanées dues à une exposition aux rayonnements ionisants sont bien connues, toutefois leur diagnostic peut poser des difficultés, notamment lorsque l'exposition aux rayonnements est inconnue du clinicien. Elles sont le plus souvent localisées au niveau du dos du patient, mais des lésions du scalp, du bras et du sein ne sont pas rares. Les lésions s'étendent en superficie mais également en profondeur, atteignant la graisse sous-cutanée, le mésoderme et les tissus profonds comme les muscles, les tendons et les os.

Lors d'une procédure unique, c'est l'exposition prolongée d'un seul site cutané qui est en général à l'origine des lésions. *Lors des procédures itératives*, c'est la répétition des expositions de la même zone cutanée qui induit les lésions, la dose

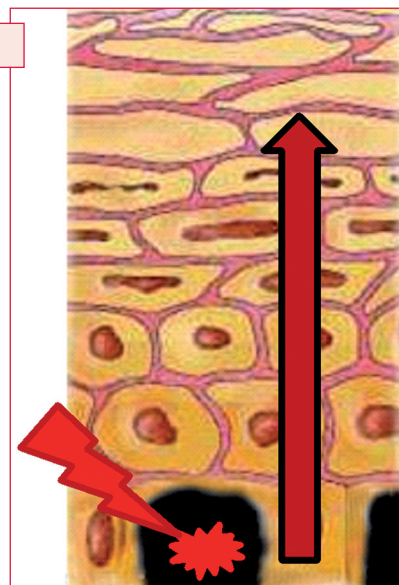


Photo 1: La photographie montre la réaction cutanée apparue douze semaines après une dose estimée à 10 Gy. Une seconde procédure a délivré une dose de 8 Gy. La réaction cutanée montre bien la trace du champ exposé qui se superpose en partie à un des deux champs précédents.



Photo 2: Érythème apparu tardivement, six semaines après une angioplastie coronarienne, la dose a été estimée à 8 Gy.

Figure 2.



liée à une seule procédure pouvant être insuffisante (photo 1) [4]. La zone de recouvrement constitue un point de surexposition, siège de lésions plus graves. Il est nécessaire d'en tenir compte et de les éviter si possible en modifiant l'orientation du faisceau.

D'autres facteurs peuvent influencer la réponse cellulaire, tels que le tabagisme, la malnutrition, l'obésité et la localisation de l'exposition. Les régions les plus sensibles sont les régions où la peau est la plus fine, comme la face antérieure du cou qui est une des zones la plus sensible, suivie des zones de flexion des membres, du tronc, du dos, des zones d'extension des membres, de la nuque. Une attention particulière doit être portée si l'exposition concerne ces régions ainsi que lorsque la zone exposée concerne des zones de plis cutanés. Le scalp et les faces plantaires des mains et des pieds sont les zones les moins sensibles.

Classement suivant le délai de survenue

Les lésions peuvent être classées en **quatre catégories** selon que leur expression s'effectue très rapidement, précocement, à moyen terme ou tardivement. Les variations des délais d'apparition et des doses induisant les lésions amènent à les exprimer sous forme de fourchettes de temps et de dose. En dessous de 2 Gy, la peau ne présente pas de lésion observable. *Les réactions les plus précoces* apparaissent moins de deux semaines après l'exposition. Après une dose supérieure à 2 Gy, dans les premières 24 heures apparaît fréquemment une réaction érythémateuse pouvant être associée à une sensation de chaleur et des démangeaisons (photo 2) [5]. Cet érythème précoce est fugace, il est dû à une libération d'histamine provoquant une réaction inflammatoire associée à une augmentation de la perméabilité vasculaire.

Les réactions classées plus tardivement surviennent deux à huit semaines après l'exposition. Elles concernent la couche basale de l'épiderme et les régions germinales des follicules pileux. La couche basale contient la mélanine et produit constamment de nouvelles cellules cutanées. Les cellules de la couche basale ne se divisent plus alors que la différenciation et la mort cellulaire continuent à se dérouler au même rythme (fig. 2). Le délai d'apparition des lésions est indépendant de la dose, par contre cette dernière conditionne la quantité de cellules souches détruites et donc la gravité des lésions. La réaction principale est un érythème associé à une réaction inflammatoire de l'épiderme. Une diminution de la densité des cellules basales de 50 % provoque un stimulus des cellules viables restantes qui vont proliférer rapidement, formant des colonies de cellules viables dont le nombre détermine l'évolution des lésions. A basse dose, les nombreuses

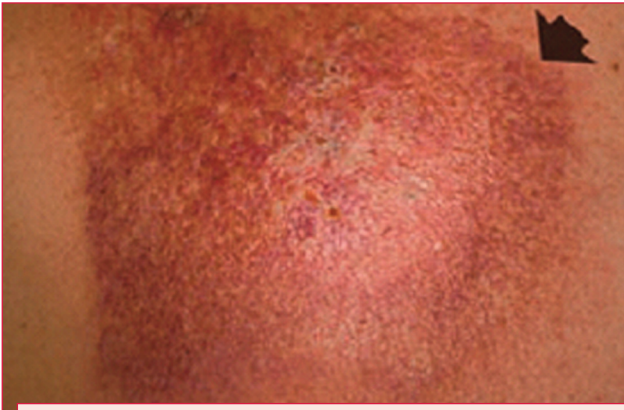


Photo 3 : Érythème associé à une réaction inflammatoire de l'épiderme. A basse dose, la réaction érythémateuse laisse la place à une hyperplasie se traduisant par une desquamation sèche.



Photo 4 : Évolution d'un érythème précoce en radiodermite exsudative.



Photo 5 : Alopécie survenue chez une femme de 60 ans ayant subi une procédure de neuroradiologie interventionnelle. Le temps de scopie a été estimé à plus de 70 minutes et 43 séries d'images ont été acquises. L'érythème du cou est bien visible alors que le scalp ne présente pas d'aspect érythémateux.



Photo 6 : Réaction à moyen terme après forte dose, la peau est atrophiée, l'épiderme est aminci, lisse, transparent laissant voir le derme en rose violacé.

colonies vont fusionner et la réaction érythémateuse laisse la place à une hyperplasie se traduisant par une desquamation sèche (**photo 3**) [6]. Aux doses plus élevées, les zones entre les colonies viables continuent de perdre des cellules basales et cela aboutit à l'épithélite exsudative (**photo 4**) [4]. La repopulation s'effectue à partir des bords du champ d'exposition et des zones moins ou pas exposées.

Le scalp est relativement résistant à l'exposition, mais des alopecies se développent au bout de trois semaines à des doses supérieures à 3 Gy [7]. Elles sont définitives au-delà de 7 Gy. La chute des poils n'est totale et définitive que lorsque l'ensemble des cellules des follicules est détruit. Les épilations du

reste du corps apparaissent pour des doses supérieures, de l'ordre de 5 à 14 Gy (**photo 5**) [4].

Les réactions à moyen terme apparaissent de six à cinquante-deux semaines après l'exposition, la peau présente un aspect sombre et mauve. L'ischémie due aux lésions des parois vasculaires culmine douze semaines après l'exposition.

Suivant la dose délivrée, les ulcérations radio-induites précoces résultent d'une nécrose de l'épiderme alors que les nécroses profondes sont causées par l'ischémie du derme et évoluent de quelques mois à plusieurs années après l'exposition. Dans les zones non nécrosées, le flux sanguin retrouve un niveau normal de douze à seize semaines après l'exposition. Aux fortes doses, la peau est atrophiée, l'épiderme est aminci, lisse, transparent, laissant voir le derme en rose violacé (**photo 6**: **Source Université médicale virtuelle francophone**). Les vaisseaux sous-cutanés apparaissent et on



Photo 7 : Les réactions à long terme se développent après 40 semaines. La dilatation des capillaires superficiels induit des télangiectasies évoluant sur une dizaine d'années suivant la dose.

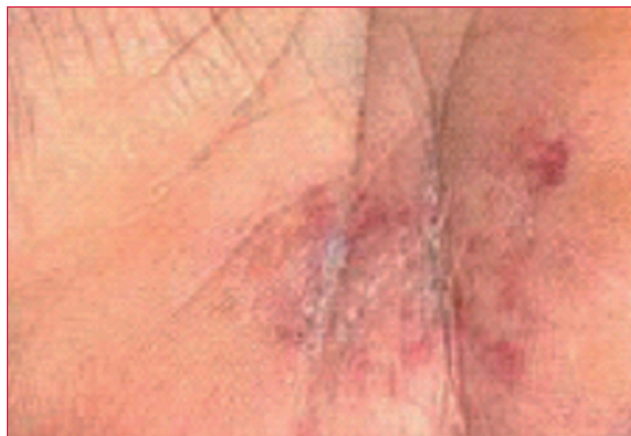
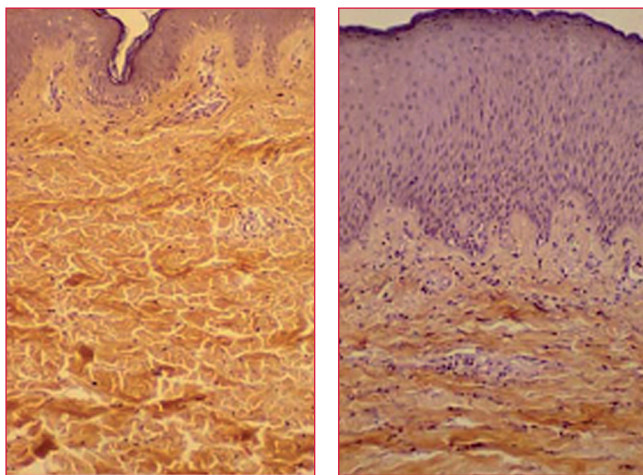


Photo 8 : Le processus inflammatoire chronique se traduit par une hyperplasie du tissu conjonctif qui peut être associée à une acanthose ou à une atrophie de l'épiderme. L'acanthose correspond à un épaississement de l'épiderme Malpighien, la kératose correspond à une hyperplasie de la couche cornée.



Photos 9 : Peau normale (à gauche) - Hyperplasie (à droite).



Photo 10 : Le carcinome basocellulaire est le plus courant des cancers cutanés induits par l'exposition aux rayons X.

constate la disparition des annexes dermiques : follicules pileux et glandes sudoripares.

Les réactions à long terme se développent après quarante semaines. La peau est indurée et atrophiée, la dilatation des capillaires superficiels induit des télangiectasies évoluant suivant la dose sur une dizaine d'années. Les zones ayant présenté une épithélite exsudative sont plus sujettes aux télangiectasies dues à la dégénérescence de la média des artérioles entraînant des pétéchies et des micro-nécroses du derme (**photo 7**) [6]. Les fibroses cutanées peuvent être invalidantes, elles constituent l'étape ultime du processus inflammatoire chronique. La peau présente une hyperplasie du tissu conjonctif (**photo 8**) qui peut être associée à une acanthose (épaississement de l'épiderme Malpighien) ou à une atrophie de l'épiderme (**photos 9 : Source CEA**). La peau peut présenter une hyperpigmentation mais également des plaques

d'hypo-pigmentation. Un risque statistique d'augmentation de cancer cutané sur une période de vingt ans ou plus après l'exposition est bien documenté. Le carcinome de la couche basale (**photo 10**) est de dix à vingt fois plus fréquent que le carcinome épidermoïde. De rares cas de fibrosarcomes ou de mélanomes ont été répertoriés.

Au-delà de 10 Gy, la peau ne retrouvera jamais son état d'origine, le tissu cicatriciel ne présentera pas la résistance des tissus non irradiés lors d'une agression ultérieure. Le risque de nécrose ne paraît pas augmenté, toutefois la moindre importance de la réaction érythémateuse lors de nouvelles expositions sur une peau auparavant irradiée indiquerait l'existence de lésions vasculaires.

L'institut National du Cancer nord-américain a défini une échelle de gravité des événements indésirables liés aux soins. Quatre grades de toxicité cutanée après exposition de la peau

	Seuil d'alerte	Répétition de l'alerte
Dose maximale cutanée	2 Gy	500 mGy
K_{air} point ref. intervent.	3 Gy	1 Gy
PDS (champ de 100 cm ²)	300 Gy.cm ²	100 Gy.cm ²
Temps de scopie	30 min	15 min (ou moins)

Tableau 2.

aux rayonnements pourraient être appliqués en radiologie interventionnelle (**tableau 2**). La gravité est évaluée d'après la réaction tissulaire à une exposition unique de la peau du cou, du torse, du pelvis ou des bras et exclut les lésions du scalp.

Traitement des lésions

Le traitement des lésions cutanées radio-induites est complexe: il consiste à prévenir l'infection, contrôler la douleur et surveiller l'évolution vers la malignité.

En cas de nécrose profonde, l'excision chirurgicale et la greffe cutanée tendent à être remplacées par la greffe de cellules souches mésoenchymateuses (Service de protection radiologique des armées). La prise en charge consiste en une bonne hydratation et le maintien de l'humidité de la peau qui favorise la guérison et la résistance aux traumatismes.

En cas d'érythème et de desquamation sèche, la propreté et la souplesse de la peau peuvent être maintenues par l'utilisation de savons doux et l'application de crèmes hydratantes du type de celles utilisées pour les nourrissons. Doivent être exclus les produits contenant des substances irritantes comme l'alcool ou les parfums qui peuvent provoquer des réactions cutanées. La cortisone appliquée sous forme de crèmes a un effet anti-inflammatoire local. Les agressions de la peau sont limitées par l'usage du rasoir électrique, le port de vêtements larges en coton et il est conseillé d'éviter d'exposer la zone lésée au soleil et à l'eau chlorée des piscines.

En cas de radiodermite exsudative, les signes d'infections sont la fièvre, un écoulement purulent, la douleur s'étendant en dehors de la zone exposée. La grande capacité de rétention en eau des hydrogels permet une hydratation permanente de la peau favorable à la réépithélisation. Un analgésique peut être prescrit dans le cas où l'application des mesures décrites ne permet pas le contrôle de la douleur, ainsi que des antibactériens ou des antifongiques en cas de complication infectieuse. Le traitement des complications tardives consiste à maintenir la souplesse et l'hydratation cutanée, ainsi qu'en la prévention des dommages causés à la peau lors des agressions de la vie courante, en particulier l'exposition au soleil [8].

Des instructions similaires à celles dispensées aux patients subissant une radiothérapie doivent être données aux patients qui reçoivent de substantielles doses en radiologie interventionnelle.

L'information des patients sur les risques encourus sera adaptée à la dose susceptible d'être délivrée.

Jusqu'à 2 Gy, les effets n'étant en général pas visibles, l'information consistera à demander au patient de surveiller la zone exposée et de consulter un médecin en cas de modification de l'aspect de la peau. *De 2 à 5 Gy*, informer le patient de la possibilité d'apparition d'un érythème fugace et lui demander de consulter au cas où une gêne liée à la modification de la peau surviendrait. *De 5 à 10 Gy*, demander au patient ou au conjoint de surveiller la peau exposée pendant deux à dix semaines, de consulter un médecin généraliste ou un dermatologue en cas d'apparition d'un érythème en précisant le fait que la lésion peut être en rapport avec l'exposition de la peau, et d'informer l'opérateur ayant réalisé la procédure interventionnelle. *De 10 à 15 Gy*, les informations sont les mêmes en précisant que l'évolution sera prolongée et qu'un traitement prophylactique anti-infectieux ainsi qu'une prise en charge de la douleur peuvent être prévus. *Au-delà de 15 Gy*, le suivi médical est essentiel et doit être planifié. L'information et la prise en charge psychologique doivent prendre en compte l'évolution vers l'ulcération et la nécrose [9].

■ Estimation de la dose délivrée au patient en radiologie interventionnelle

Deux accidents touchant des patients ont été relatés en 2007 et 2009 en France. Le premier a provoqué un érythème tardif non douloureux sans dépilation chez un seul patient suite à une erreur de manipulation de la pédale de fluoroscopie, et le deuxième a entraîné des alopecies localisées chez quatre patients lors de procédures de neuroradiologie interventionnelle insuffisamment optimisées.

Ces accidents ont abouti à de nouvelles recommandations en matière de sécurité, notamment sur le fait que pendant la procédure, le niveau d'exposition doit être connu à tout moment. L'opérateur doit être averti lors de l'atteinte de seuils d'alerte définis selon les informations disponibles. Plusieurs données permettent d'estimer la dose délivrée aux patients en radiologie interventionnelle (**fig. 3**). La donnée la plus fréquemment disponible est le **produit dose.surface** (PDS), mesuré à l'aide d'une chambre d'ionisation. La valeur cumulative du PDS pour la totalité d'une procédure est la somme des PDS de chaque exposition. Cette valeur des PDS cumulés constitue un indicateur utile du risque d'effets stochastiques

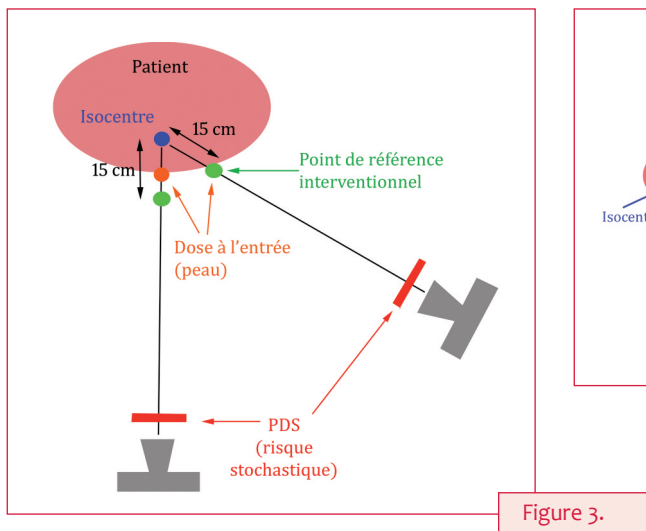


Figure 3.

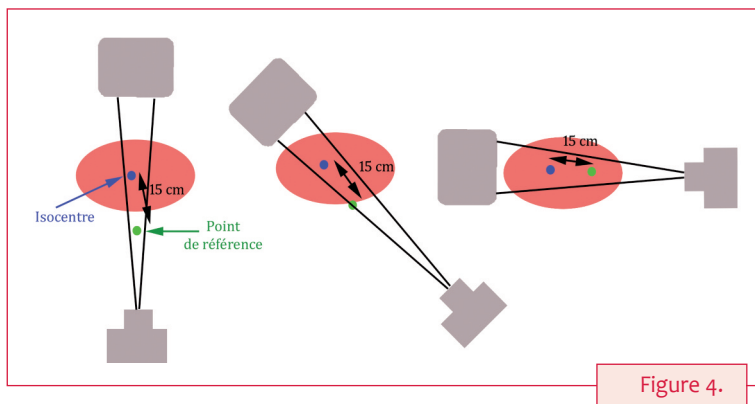


Figure 4.

pouvant être induit chez le patient, et a pour avantage d'être représentatif de la dose délivrée aux opérateurs [5]. La dose à l'entrée du patient représente la dose absorbée par la peau à l'endroit de l'exposition, la dose cutanée maximale indique précisément le risque de lésion cutanée radio-induite. La dose totale à la peau est obtenue en additionnant les doses absorbées aux différentes localisations de la peau lors des différentes incidences. Lorsque l'exposition ne concerne qu'une seule zone cutanée, la dose maximale à la peau est égale à la dose totale délivrée à la peau du patient. Généralement, les incidences sont multiples en radiologie interventionnelle, et la dose totale à la peau est plus importante que la dose maximale pouvant être reçue en un endroit déterminé.

Actuellement, aucun appareil ne dispose d'un moyen capable de mesurer la dose maximale délivrée à la peau, mais l'estimation de la dose cutanée est réalisable en temps réel ou rétrospectivement par différents moyens.

Mesure en temps réel de la dose cutanée

■ *Dose au point de référence interventionnel*

L'International Electrotechnical Commission a défini le **point de référence interventionnel comme la valeur du kerma dans l'air, au centre du faisceau, à 15 cm de l'isocentre**.

La dose au point de référence interventionnel est déterminée en temps réel à l'aide d'une chambre d'ionisation ou calculée. Elle ne prend pas en compte la dose cutanée due au rétro-diffusé du patient. Cette donnée ne reflète qu'imparfaitement la dose maximale délivrée à la peau. Le point de référence est une approximation de la dose totale délivrée à la peau, mais la variabilité des zones exposées dues aux différentes incidences entraîne une surestimation du risque, la dose au point de référence étant généralement supérieure à la dose maximale reçue par la peau. L'exactitude dépend de l'incidence et

de la proximité de la peau avec la source de rayons X. *En position postéro-antérieure*, la valeur de référence surestimera la dose réelle à la peau car celle-ci est située plus à distance du tube à rayons X. *En incidence de profil*, la valeur de référence sous-estimera la dose réelle car cette fois la peau est située plus près du tube que le point de mesure (fig. 4). Pour beaucoup de procédures cardiologiques réalisées en incidence oblique, le point de référence correspond approximativement au point d'entrée du faisceau dans le patient.

■ *Mesure directe*

La mesure en temps réel peut également s'effectuer à l'aide d'une diode ou d'un détecteur à semi-conducteur de type skin dose monitor (photo 11). Positionné dans le faisceau directement sur la peau, le détecteur est relié à un compteur indiquant la dose en mGy. Une utilisation dans le faisceau à distance de la peau a également été décrite [10].

Les détecteurs MOSFET sont également utilisables pour une mesure en temps réel (photo 12). Leur principe repose sur le piégeage de charges dans l'oxyde de grille soumis à un rayonnement ionisant. Il s'agit d'un type de transistor à effet de champ. Ils sont de très petite taille et certains peuvent être introduits dans des sondes en vue d'une utilisation dans des

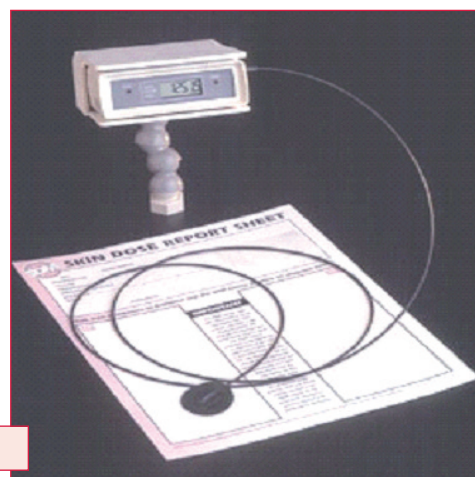


Photo 11.

Photo 12.

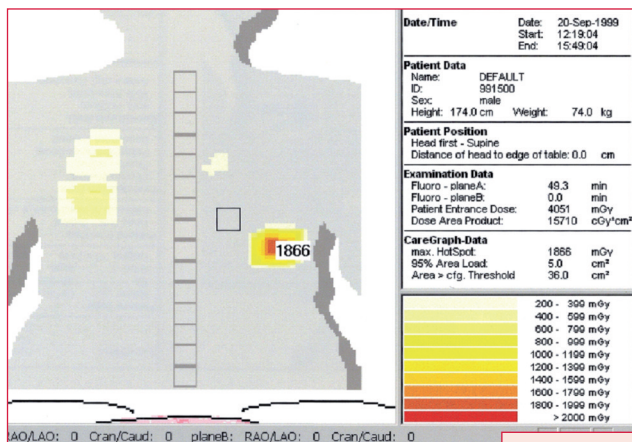


Photo 13.

cavités naturelles (www.mosfet.ca). Les détecteurs MOSFET sont toutefois peu pratiques à utiliser en radiologie interventionnelle car ces détecteurs ponctuels, positionnés sur la peau du patient, présentent une tendance à sous-estimer la dose maximale à la peau car leur positionnement au point le plus exposé est délicat si aucune cartographie des doses n'est réalisée auparavant. Leur utilisation est plus courante en scanographie ou lors d'études sur fantômes.

La mesure de la dose à la peau est incertaine et pas très précise en raison des variations de réponse des détecteurs en fonction de l'énergie du faisceau, du débit de dose et de la collimation. Le rayonnement rétrodiffusé par le patient peut en outre augmenter la dose de 10 à 40 % en fonction de la surface du champ et de l'énergie du faisceau.

■ **Équipement informatique des installations**

Certaines installations modernes utilisent des outils informatiques afin d'effectuer le calcul de la distribution de la dose en fonction de la géométrie du faisceau et des paramètres d'exposition comme par exemple l'angle d'incidence, la collimation, la distance source-détecteur, la tension... Le système CareGraph [11,12] utilise un modèle mathématique pour combiner les données de la chambre d'ionisation qui mesure le PDS avec les informations géométriques du statif et les données sur la taille du patient, son poids et sa position dans le faisceau déterminée par la position et la hauteur de la table d'examen (photo 13). Deux fois par seconde, le logiciel analyse les conditions d'exposition. La modélisation de la surface cutanée permet d'obtenir la dose cumulée par chaque partie de la peau, visualisables sous la forme d'une représentation graphique. Le système PEMNET (photos 14) permet également d'obtenir une information en temps réel sur la dose délivrée et son enregistrement en combinant les données concernant le patient, les paramètres d'exposition et la géométrie de l'incidence. Toutefois, ce système ne permet pas de différencier les différentes localisations cutanées des expositions (www.pemnet.info).



Photos 14.

_____ **Mesure en temps différé**

■ **La cartographie par détecteurs thermoluminescents**

Les méthodes de mesure en mode différé utilisent des détecteurs thermoluminescents positionnés ponctuellement dans le faisceau. Ces matériaux semi-conducteurs ou isolants émettent une luminescence de manière proportionnelle à la dose absorbée lorsqu'ils sont chauffés. Le fluorure de lithium est le plus utilisé en raison de son numéro atomique effectif proche de celui des tissus. Le choix d'un emplacement de la mesure représentatif de la dose maximale reçue par la peau est souvent délicat en radiologie interventionnelle en raison de la multiplicité des incidences. Les détecteurs peuvent être disposés sur un support en plastique (photo 15) per-

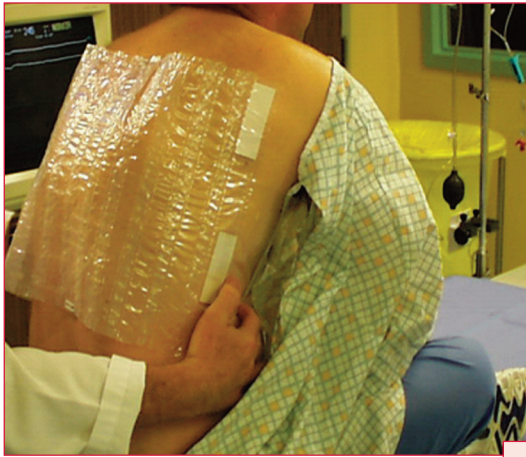


Photo 15.

Photo 16.

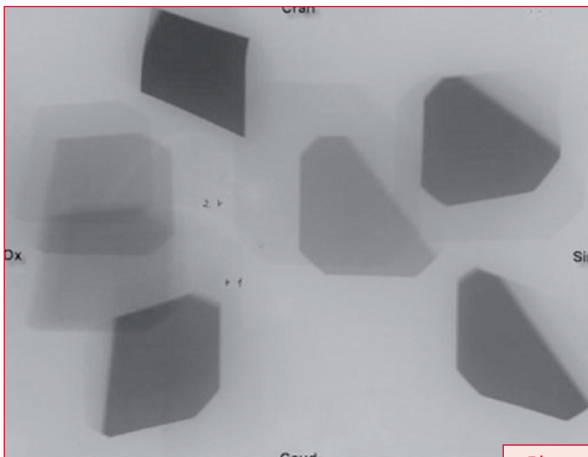
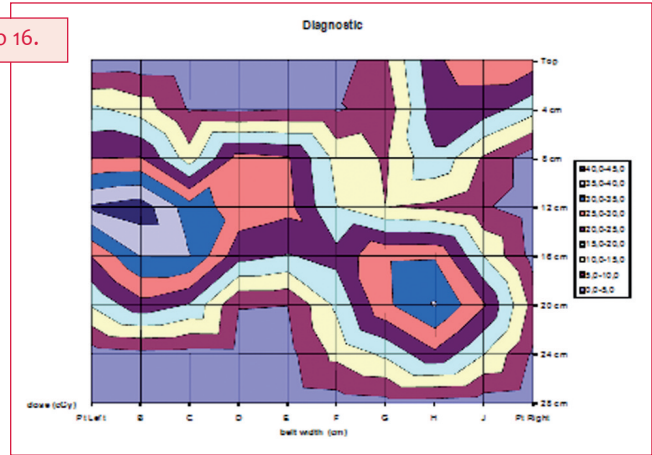


Photo 17.

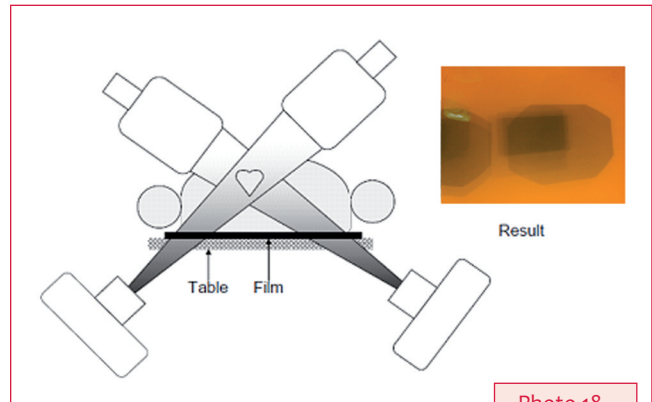


Photo 18.

mettant d'effectuer des mesures sur un champ d'exposition plus grand et d'obtenir une cartographie de la distribution de la dose (photo 16) [13].

■ La cartographie par films

Différents types de films, généralement utilisés en radiothérapie, peuvent être positionnés dans le dos du patient et vont permettre de visualiser les différents champs d'exposition lors des incidences multiples, en donnant une information dosimétrique et une cartographie des doses [14,15].

Les films classiques (photo 17) doivent subir un développement qui permettra de comparer les densités optiques à des densités obtenues à partir de courbes d'étalonnage et ainsi d'évaluer les doses de chaque zone exposée dans une plage de mesure entre 500 mGy et 2 Gy.

Les films Gafchromiques (photo 18) ne nécessitent pas de traitement, la visualisation de la distribution de la dose est immédiate, et permet d'estimer des doses jusqu'à 15 Gy. Ils sont composés de monomères de diacétylène qui se polymérisent au passage du rayonnement et changent de couleur. L'inten-

sité de la couleur obtenue est proportionnelle à la dose absorbée par le film. Ce procédé ne nécessite aucun développement, les films sont insensibles à la lumière visible mais sont sensibles aux UV et à la température, avant et après l'exposition (www.gafchromic.com). Après la procédure, les films sont lus grâce à un témoin étalonné lors d'une procédure de calibration ou exploités informatiquement sous forme d'isodoses ou de profils de doses par exemple. Cette méthode de dosimétrie in-vivo permet de s'assurer de l'efficacité des mesures d'optimisation, mais également de modifier le positionnement des faisceaux en cas d'intervention ultérieure fortement dosante. Des échanges sont réalisés avec certains fournisseurs afin de permettre la mise en place en temps réel par calcul d'une cartographie de la dose à la peau des patients. **Les films Gafchromiques présentent une grande précision dans l'estimation de la dose maximale à la peau** et permettent une visualisation des zones exposées ainsi qu'une prédiction des lésions cutanées [16].

Informations enregistrées par les appareils

Un certain nombre d'informations dosimétriques sont enregistrées par les appareils. DICOM transmet des informations

concernant la dosimétrie depuis ses débuts en 1993 où quelques informations étaient inscrites dans les objets images. Trois ans après la première édition de DICOM, sont apparues les étapes de procédure de modalité réalisées (Modality Performed Procedure Step ou MPPS). Elles permettent aux modalités d'envoyer au SIR (Système d'information radiologique) des messages contenant des informations sur l'examen qui vient d'être réalisé y compris des informations concernant la dosimétrie. En 2004, DICOM définit un DICOM Structured Report (ou *DICOM SR* ou *SR*) destiné à stocker toutes les informations utiles concernant la dosimétrie; ce rapport *Radiation Dose Report* est stocké dans le PACS avec tous les autres objets de l'examen. L'harmonisation et la coordination sont assurées par le profil IHE (Integrating the Healthcare Enterprise) "Radiation Exposure Monitoring" (REM) qui permet de répondre aux principaux besoins de suivi des doses. *Le SIR est le logiciel de gestion* le plus impacté par la mise en place du suivi informatisé. Il doit insérer les informations de dosimétrie dans le compte rendu de l'acte, proposer les outils d'exploitation permettant d'établir un bilan par patient, par séjour, par service demandeur, par type d'examen ou par période calendaire (jour, semaine, mois, année...). *Il envoie les données au SIH* (Système d'information hospitalier) et aux éventuels registres régionaux et/ou nationaux après anonymisation et peut assurer le suivi du contrôle qualité.

Précision des mesures

La méthode idéale d'estimation de la dose maximale à la peau est la mesure en temps réel avec cartographie.

Les mesures les plus précises sont réalisées par les outils informatiques propres aux installations, la précision approche alors 50 %. Une dose mesurée par exemple à 2 Gy pourrait alors réellement avoir une valeur entre 1,3 et 3,9 Gy.

La cartographie différée réalisée à l'aide de détecteurs thermoluminescents ou de films est la méthode préférentiellement utilisée dans le cas où le dispositif précédent n'est pas disponible sur l'appareil utilisé. Vient ensuite la mesure directe à la peau, puis la mesure du kerma dans l'air au point de référence interventionnel [17].

Le PDS ne reflète pas fidèlement l'importance de la dose maximale à la peau et son utilisation ne sera possible que dans des conditions particulières et spécifiques de procédures, d'installations et d'opérateur, le rapport entre le PDS et la dose cutanée pourra alors être estimé de façon satisfaisante [9]. Une étude chez 318 patients montre une relation exploitable entre le PDS et la dose maximale à la peau pour les procédures d'angiographies cardiaques diagnostiques et thérapeutiques. Des niveaux de PDS de 125 Gy.cm² et 250 Gy.cm² correspondent respectivement à la probabilité de dépasser dans 30 % des cas une dose à la peau de 2 Gy et dans 60 % des cas une dose de 3 Gy. Dans le cadre d'une procédure bien

précise, le PDS total peut alors servir d'indicateur pour des niveaux d'action [18].

Les relations entre le kerma dans l'air, le PDS et la dose maximale à la peau sont complexes et ne sont applicables que dans des conditions spécifiques de réalisation. La relation approximative est donnée par les formules suivantes :

Dose maximale cutanée (mGy)

$= 206 + 0.513 \cdot \text{Kerma dans l'air au point ref. (mGy)}$

$= 249 + 5.2 \cdot \text{PDS (Gy.cm}^2\text{)}$

Ces formules ne sont pas applicables en dessous d'un Kerma au point de référence de 500 mGy ou d'un PDS de 50 Gy.cm².

L'enregistrement du temps de scopie ne représente pas une mesure en temps que telle de la dose [19], mais peut constituer un guide au long de la procédure et un élément intéressant dans le cadre d'un programme d'assurance qualité, où son enregistrement permettrait d'optimiser les procédures en comparant les performances de différents opérateurs ou en comparant les centres de prise en charge. **Cette information seule est insuffisante pour effectuer un calcul de la dose a posteriori.** Ainsi, les caractéristiques du patient, telles que son épaisseur, sa taille ou son poids ne sont pas prises en compte, de même que l'orientation du faisceau ou ses caractéristiques physiques comme son énergie, la collimation ou le débit de dose.

En règle générale, la contribution de la scopie au PDS total est de l'ordre de 30 % pour les procédures cardiaques diagnostiques et de 50 % pour les procédures thérapeutiques. Même si l'enregistrement du temps de scopie est accompagné du nombre de clichés pris en graphie et du poids du patient, **cette évaluation présente une grande incertitude sur la dose réelle**, allant de + 130 % à - 70 %. Une dose calculée de 2 Gy pourrait en réalité avoir une valeur probable entre 0,6 et 4,6 Gy. Une reconstitution dosimétrique fiable nécessite la connaissance de **plusieurs données supplémentaires essentielles** : le nombre d'images et de séries d'images, la corpulence du patient estimée selon son poids, sa taille ou l'indice de masse corporelle, l'angulation du faisceau, la distance foyer-peau, et les conditions de l'exposition, c'est-à-dire le kilovoltage, la cadence de la scopie pulsée la présence ou non de la grille, la taille du champ, la filtration additionnelle.

■ Gestion des doses en radiologie interventionnelle

Les niveaux de référence de doses constituent un instrument conduisant à l'optimisation des procédures. La complexité des actes de radiologie interventionnelle nécessite la prise en compte de plusieurs paramètres et doit envisager la protection vis-à-vis des risques stochastiques et des effets déterministes. L'établissement de niveaux de référence se dé-

cline en premier lieu en interne, au sein de chaque unité, permettant aux praticiens, avant chaque acte, d'avoir une connaissance précise des niveaux de doses rencontrés pour l'acte réalisé sur l'appareil considéré. Cette connaissance d'une dose cible et sa comparaison avec la dose réalisée permet la mise en place d'une démarche d'évaluation des pratiques. Ces niveaux de référence internes sont comparés aux niveaux publiés. **Des valeurs de référence ont été proposées au congrès de la RSNA de 2009 pour l'ensemble des procédures de radiologie interventionnelle**: les valeurs exploitées à partir d'une revue bibliographique sont proposées sous la forme de valeurs de kerma dans l'air, de produit kerma.surface, de durée de scopie et de nombre d'images. Les dispositions réglementaires établies par les autorités sont liées à la création d'un registre national de données dosimétriques, à l'image de celui existant en radiologie conventionnelle [20]. Les lignes directrices dans la gestion des doses en radiologie interventionnelle ont été élaborées par la Société de radiologie interventionnelle. **Une politique générale de détection et de suivi des patients** susceptibles de présenter des effets déterministes est mise en place au sein de l'établissement: celle-ci se décline en mesures applicables avant, pendant et après l'intervention [21, 22, 23].

_____ Mesures pré-procédurales

Une fois la procédure de justification effectuée, les mesures pré-procédurales consistent à **prévoir les éventuelles complications radiques** dues aux procédures fortement exposantes ou dues aux aspects liés au patient. Il faut organiser la prise en charge du patient tant au niveau de l'appareillage qu'au plan humain, en ayant notamment organisé la formation à l'utilisation des équipements de tous les utilisateurs et rappelé régulièrement les notions de radioprotection. Il est de la **responsabilité de l'opérateur** d'avoir les informations dosimétriques au cours de la procédure. La connaissance en temps réel des niveaux de dose délivrés permet de justifier la poursuite de l'intervention au regard des niveaux de dose atteints. Les salles qui ne disposent comme information que de la durée de la scopie doivent donc être évitées lors des procédures susceptibles de délivrer des doses importantes. Dans le cas de l'utilisation d'un système biplan, chaque arceau doit être considéré comme indépendant, sauf lorsque les champs viennent à se chevaucher: dans ce cas les doses s'additionnent.

Le patient doit être informé des risques de développement de lésions dues aux rayonnements ionisants lors du recueil du consentement éclairé, notamment lors des procédures fortement exposantes. Celles-ci sont habituellement: les embolisations, les angioplasties et mises en place de stents, les mises en place de shunts porto-cave, les interventions biliaires, les néphrostomies et les interventions sur le rachis

complexes telles que les vertébroplasties et les kyphoplasties touchant plusieurs étages vertébraux. Les autres critères qui doivent être pris en compte dans l'estimation du risque et qui justifient une attention particulière sont le poids du patient, spécialement les moins de 10 kg ou les plus de 130 kg, l'exposition d'organes sensibles tels que la thyroïde, le sein ou les gonades chez des enfants ou de jeunes adultes, la grossesse, le fait que le patient ait subi ou doive subir une radiothérapie dans la même région anatomique ou que la procédure soit répétée depuis moins de soixante jours.

Certains patients présentent un risque particulier de complication: il s'agit des patients présentant un diabète ou des lésions évidentes dues à des expositions antérieures. Les patients présentant des éruptions cutanées et des télangiectasies doivent faire l'objet d'un dépistage à la recherche d'anomalies du tissu conjonctif. Les collagénopathies forment un ensemble de troubles qui regroupent des inflammations de la peau, des articulations ou d'autres structures riches en tissu conjonctif entraînant par exemple des péricardites ou des néphropathies. Des désordres du système immunitaire sont également présents avec formation d'auto-anticorps. Les patients sujets à ces pathologies sont sujets à un risque accru de complications sévères suite à une irradiation, l'inflammation due à l'exposition aux rayonnements ionisants provoque le dépôt massif de collagène dans les tissus, ce qui aboutit à la fibrose [24, 25].

_____ Mesures per-procédurales

Pendant la procédure, le niveau d'exposition doit être connu à tout moment et l'opérateur doit être averti lors de l'atteinte de seuils d'alerte définis selon les informations disponibles (**tableau 3**). Le premier niveau d'alerte correspond à l'atteinte d'une dose maximale cutanée de 2 Gy, puis l'opérateur sera ensuite informé à chaque demi-Gray suivant. Lorsque le Kerma dans l'air au point de référence interventionnel est l'information disponible, les seuils d'alerte sont l'atteinte de 3 Gy et chaque Gy suivant. Si l'information disponible est le PDS, le seuil d'alerte est spécifique de la procédure et de la taille du champ à la peau. Avec un champ de 100 cm², l'opérateur est informé à une valeur de 300 Gy.cm², puis chaque 100 Gy.cm² suivant. D'après les formules données auparavant, les valeurs des doses maximales à la peau calculées d'après le Kerma au point de référence et d'après le PDS sont de 1,8 Gy avec une répétition de l'alerte tous les 500 mGy.

Pour les installations ne disposant pour toute information que du temps de scopie, l'opérateur est averti lorsque la durée de scopie atteint trente minutes, puis toutes les quinze minutes. La répétition des avertissements peut être plus fréquente lorsqu'un grand nombre de clichés est pris en graphie.

Suite à ces signalements, l'opérateur décide de la poursuite ou non de la procédure et doit adapter la technique afin de réduire la dose maximale délivrée à la peau. Ces niveaux

Dose (Gy)	Grade de toxicité	Délai approximatif d'apparition des effets			
		Immédiat (< 2 semaines)	Précoces (2 à 8 semaines)	Moyen-terme (6 à 52 semaines)	Tardifs (> 40 semaines)
0-2	Non applicable	Pas d'effet observable attendu	Pas d'effet observable attendu	Pas d'effet observable attendu	Pas d'effet observable attendu
2-5	1	Érythème fugace	Épilation	Repousse des cheveux	Pas d'effet observable attendu
5-10	1-2	Érythème fugace	Érythème Épilation	Repousse des cheveux Fortes doses : érythème prolongé, épilation définitive	Récupération Fortes doses : atrophie du derme, indurations
10-15	2-3	Érythème fugace	Érythème Épilation Possibilité de desquamation sèche ou humide Récupération	Érythème prolongé Épilation définitive	Telangiectasies Atrophie ou induration
> 15	3-4	Érythème fugace Très fortes doses : œdème, ulcération	Érythème Épilation Desquamation humide	Atrophie du derme Ulcération secondaire (absence de guérison de la desquamation humide) Fortes doses : nécrose	Telangiectasies Atrophie Induration Nécrose évolutive

Tableau 3.

d'alerte ont été confirmés par l'ASN [26, 27]. Les mesures complémentaires demandées consistent à **mettre en place un système d'alerte** de la personne spécialisée en radiophysique médicale (PSRPM). La PSRPM est alertée sans délai lorsque la dose à la peau est supérieure à 2 Gy ou qu'un temps de scopie supérieur à 45 minutes est atteint. L'utilisation systématique, pour toutes les procédures vasculaires thérapeutiques, d'une dosimétrie in vivo par film Gafchromics permet de compléter le dispositif d'identification des patients susceptibles de présenter des effets déterministes.

Mesures post-procédurales

Les mesures à prendre après la procédure consistent à **procéder à l'enregistrement des doses et à organiser le suivi médical** des patients. Les doses sont enregistrées dans le compte rendu de l'acte et dans le dossier médical. Les informations à enregistrer sont la dose maximale à la peau et le PDS, respectivement représentatifs du risque d'effet déterministe et d'effets stochastiques. Le kerma dans l'air au point de référence est une alternative satisfaisante dans le cas où l'information sur la dose maximale à la peau n'est pas disponible. Du fait de la plus grande sensibilité cutanée lors des procédures itératives, lorsque des procédures sont répétées dans un délai de moins de soixante jours, les doses sont considé-

rées comme cumulatives. **L'opérateur est expressément averti et le suivi du patient organisé si un des seuils suivants est atteint** : une dose maximale à la peau de 3 Gy, un kerma dans l'air au point de référence de 5 Gy, un PDS de 500 Gy.cm², ou un temps de scopie de soixante minutes.

Les patients ayant reçu une dose significative indiquée par le dépassement d'une de ces valeurs doivent recevoir une information relative à la surveillance de la zone exposée. Une fiche d'information insistant sur les signes cliniques à observer est remise au patient à sa sortie.

Le suivi est réalisé soit par le radiologue lors d'une consultation ou par le médecin en charge du patient dans l'unité d'hospitalisation, soit par le patient lui-même ou par un proche dans le cas du retour à domicile. Lorsqu'une lésion cutanée est avérée, la prise en charge peut s'effectuer auprès d'un dermatologue ou d'un praticien habitué aux lésions dues aux rayonnements ionisants comme les spécialistes de radiothérapie.

Déclaration des événements significatifs et des accidents

Un événement sentinelle en radioprotection a été défini par la Joint Commission qui est l'organisme américain sur lequel repose le système d'accréditation des établissements de soins

aux États-Unis. En ce qui concerne la radiologie interventionnelle, sont concernées les durées prolongées de fluoroscopie susceptibles de délivrer une dose cumulée supérieure à 15 Gy sur un champ unique. La réglementation française impose la déclaration des effets déterministes non prévisibles dans le cadre des expositions des patients à visée thérapeutique, des pratiques inadaptées ou des dysfonctionnements entraînant des expositions significativement supérieures aux niveaux de référence diagnostiques ou des erreurs dans la réalisation de l'examen. Tout autre événement jugé significatif par le responsable de l'activité nucléaire peut être également déclaré à l'ASN.

Les préoccupations de radioprotection dans le domaine médical ont amené l'Agence internationale de l'énergie atomique à mettre à disposition sur son site internet un ensemble d'informations à destination des patients et des professionnels (rpop.iaea.org).

L'élaboration de SAFRAD (SAFety in RADiological procedures), qui est un système de déclaration volontaire et confidentiel élaboré par l'AIEA, a pour objectif de **constituer une base de données internationale sur les accidents** survenant dans le domaine de la radiologie interventionnelle et de **favoriser le retour d'expérience** dans ce domaine. Il est à noter qu'un deuxième système destiné au domaine de la radiothérapie existe (SAfety in Radiation Oncology). La procédure de déclaration s'effectue sur le site internet de l'AIEA qui dispense également des informations à destination des patients. Les cas à inclure dans SAFRAD sont ceux liés à la délivrance d'une dose importante avec un temps de scopie de plus de quarante minutes, un produit Kerma.surface supérieur à 200 Gy.cm², une dose cutanée maximale supérieure à 2 Gy ou un nombre de séries d'images supérieures à vingt. Seront également déclarés les cas d'observation d'une réaction radio-induite, le traitement d'un patient à la place d'un autre, la réalisation d'une procédure non prescrite, la réalisation fortuite chez une femme enceinte ou la réalisation de plusieurs procédures chez un même patient en un mois.

■ Conclusion

La prise en charge du patient tant au niveau de l'appareillage qu'au plan humain doit être organisée, notamment sur le plan de la formation à l'utilisation des équipements de tous les opérateurs et en rappelant régulièrement les notions de radioprotection. **Le rôle important des manipulateurs en électroradiologie médicale dans l'optimisation des doses et des réglages** a été rappelé dans le rapport de l'ASN sur la déclaration d'événement en radiologie interventionnelle aux hôpitaux universitaires de Strasbourg [26].

Les causes des accidents en radiologie interventionnelle ont été identifiées et sont résumées par une méconnaissance des procédures d'optimisation, une formation insuffisante à

l'utilisation des appareils, une absence de suivi et de maîtrise de la maintenance des équipements et une absence de relevés dosimétriques détaillés et fiables.

Les pistes d'améliorations préconisées par l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) et par l'ASN visent à la **mise en place d'un processus d'amélioration continue de la qualité et de la sécurité des soins** en radiologie interventionnelle. La formation des opérateurs, médecins et manipulateurs d'électroradiologie médicale, permet l'amélioration des compétences; elle porte sur la connaissance des appareils et des paramètres d'acquisition des images, sur les indicateurs des doses délivrées et sur la réalisation des actes. L'amélioration des pratiques passe par l'élaboration de référentiels.

L'évaluation des doses reçues par les patients a pour objectif l'optimisation: celle-ci passe par la détermination de critères ou niveaux de doses seuils qui vont déterminer également les modalités de la surveillance des patients après l'acte. Ces niveaux de doses, établis pour les actes les plus courants par discipline médicochirurgicale peuvent être déterminés initialement sous la forme de référentiels locaux, puis ensuite sous la forme de dispositions réglementaires ou de recommandations professionnelles émises par les sociétés savantes. Le groupe permanent d'experts en radioprotection médicale (GPMED) a été saisi par l'ASN afin d'**établir des recommandations pour améliorer la radioprotection des patients et des travailleurs** dans le secteur de la radiologie interventionnelle. Les conclusions de ce groupe d'experts sont attendues d'ici peu.

■ Notes

- [1] *Médecin en chef Foehrenbach H - Formation à la radioprotection des patients - Hôpital d'instruction des armées du Val-de-Grâce*
- [2] *The impact of cardiology on the collective effective dose in the North of England - DA Broadhead - Br.J.Radiol., 70 (1997), 492-497*
- [3] *Effective dose conversion factors in paediatric interventional cardiology A. Karambatsakidou & Al. The British Journal of Radiology, 82 (2009), 748-755*
- [4] *Fluoroscopically Guided Interventional Procedures: A Review of Radiation Effects on Patients' Skin and Hair Appendix E1 - S. Balter & Al Radiology: Volume 254: Number 2 - February 2010*
- [5] *Radiation Dose and Radiation Protection for Patients and Physicians During Interventional Procedure Koichi Chida - J. Radiat. Res., 51, 97-105 (2010)*
- [6] *Skin Injuries Caused by Fluoroscopically Guided Interventional Procedures: Case-Based Review and Self-Assessment Module - Ryutarou Ukisu & Al. AJR: 193, December 2009*

- [7] Reduction in the diameter of human hairs following irradiation - V. K. Sieber, 199 - *The British Journal of Radiology*, 65, 148-151
- [8] Cutaneous Radiation Injury: Fact Sheet for Physicians www.bt.cdc.gov/radiation/crphysicianfactsheet.asp
- [9] Guidelines for Patient Radiation Dose Management - Michael S. Stecker - *Vasc Interv Radiol* 2009; 20: S263-S273
- [10] Real time portal monitoring to estimate dose to skin of patients from high dose fluoroscopy LK Wagner, JJ Pollock - *Br. J. Radiol*, 72 (1999), 846-855
- [11] Minimizing Radiation-induced Skin Injury in Interventional Radiology Procedures Donald L. Miller & Al - *Radiology* 2002; 225:329-336
- [12] Real-Time Quantification and Display of Skin Radiation During Coronary Angiography and Intervention - Ad den Boer & Al. - *Circulation* 2001; 104; 1779-1784
- [13] A large-scale multicentre study of patient skin doses in interventional cardiology: dose-area product action levels and dose reference levels - E Bogaert - *The British Journal of Radiology*, 82 (2009), 303-312
- [14] Patient dosimetry in interventional radiology using slow films - E. Vano - *The British Journal of Radiology*, 70 (1997), 195-200
- [15] Skin dose alarm levels in cardiac angiography procedures: vis a single DAP value sufficient? A Karambatsakidou - *The British Journal of Radiology*, 78 (2005), 803-809
- [16] Radiation injury is a potentially serious complication to fluoroscopically-guided complex interventions - LK Wagner - *Biomed Imaging Interv J* 2007; 3(2):e22
- [17] Quality Improvement Guidelines for Recording Patient Radiation Dose in the Medical Record Donald L. Miller *J Vasc Interv Radiol* 2009; 20:S200-S207
- [18] A large-scale multicentre study of patient skin doses in interventional cardiology: dose-area product action levels and dose reference levels - Bogaert & Al. *The British Journal of Radiology*, 82 (2009), 303-312
- [19] Relationship Between Fluoroscopic Time, Dose-Area Product, BodyWeight, and Maximum Radiation Skin Dose in Cardiac Interventional Procedures Koichi Chida & Col. - *AJR* 2006; 186:774-778
- [20] Reference Levels for Patient Radiation Doses in Interventional Radiology: Proposed Initial Values for US Practice - Donald L. Miller - *Radiology: Volume 253: Number 3 - December 2009*
- [21] Occupational Radiation Protection in Interventional Radiology: A Joint Guideline of the Cardiovascular and Interventional Radiology Society of Europe and the Society of Interventional Radiology Donald L. Miller - *J Vasc Interv Radiol* 2010; 21:607-615
- [22] Radiation dose management for fluoroscopically-guided interventional procedures NCRP Draft SC 2-3 Report - February 2010
- [23] Guidelines for Establishing a Quality Improvement Program in Interventional Radiology Joseph R. Steele - *J Vasc Interv Radiol* 2010; 21:617-625
- [24] Radiotherapy in settings of collagen vascular disease - J. Wo & Al. - *Int. J. Radiation Oncology Biol. Phys.*, Vol. 69, No. 5, pp. 1347-1353, 2007
- [25] Severe Skin Reactions from Interventional Fluoroscopy: Case Report and Review of the Literature Louis K. Wagner & al. December 1999 *Radiology*, 213, 773-776
- [26] Recommandations de l'ASN pour l'optimisation des procédures radiologiques et des installations en neuroradiologie interventionnelle DEP-DIS-N°0535-2009
- [27] Reconstitutions dosimétriques en neuroradiologie interventionnelle au centre hospitalier universitaire Hautepierre de Strasbourg. Rapport d'expertise n°DRPH/2009-1. Propositions pour une optimisation des doses délivrées en radiologie interventionnelle. IRSN décembre 2009

■ Bibliographie

Avoidance of radiation injuries from medical interventional procedures - ICRP 85

Skin Injuries from Fluoroscopically Guided Procedures: Part 1, Characteristics of Radiation Injury

Skin Injuries from Fluoroscopically Guided Procedures: Part 2, Review of 73 Cases and Recommendations for Minimizing Dose Delivered to Patient
Titus R. Koenig & Col. - *AJR*: 177, July 2001

Radiation Doses in Interventional Radiology Procedures: The RAD-IR Study Part I: Overall Measures of Dose - Donald L. Miller - *J Vasc Interv Radiol* 2003; 14:711-727

Radiation Doses in Interventional Radiology Procedures: The RAD-IR Study Part II: Skin Dose
Donald L. Miller & Al.
J Vasc Interv Radiol 2003; 14:977-990

Radiation Doses in Interventional Radiology Procedures: The RAD-IR Study Part III: Dosimetric Performance of the Interventional Fluoroscopy Units Stephen Balte
J Vasc Interv Radiol 2004; 15:919-926