



www.oramed-fp7.eu

ORAMED: Dosimétrie des extrémités en médecine nucléaire (Groupe de travail n° 4)

Recommandations pratiques pour réduire les doses aux mains lors des procédures de médecine nucléaire

Marta Sans Merce, Leader du Groupe 4, University Hospital Centre and University of Lausanne (CHUV), Suisse

Sébastien Baechler, University Hospital Centre and University of Lausanne (CHUV), Suisse

Ilona Barth, Bundesamt für Strahlenschutz (Bfs), Allemagne

Adela Carnicer, Universitat Politècnica de Catalunya (UPC), Espagne

Laurent Donadille, Institut de Radioprotection et de Sécurité Nucléaire (IRSN), France

Paolo Ferrari, Radiation Protection Institute (ENEA), Italie

Marki Fulop, Slovak Medical University (SMU), Slovaquie

Mercé Ginjaume, Universitat Politècnica de Catalunya (UPC), Espagne

Gianfranco Gualdrini, Radiation Protection Institute (ENEA), Italie

Sabah Krim, Belgian Nuclear Research Centre (SCK•CEN), Belgique

Francesca Mariotti, Radiation Protection Institute (ENEA), Italie

Xavier Ortega, Universitat Politècnica de Catalunya (UPC), Espagne

Arndt Rimpler, Bundesamt für Strahlenschutz (Bfs), Allemagne

Natacha Ruiz, University Hospital Centre and University of Lausanne (CHUV), Suisse

Filip Vanhavere, coordinateur d'ORAMED, Belgian Nuclear Research Centre (SCK•CEN), Belgique

Ces études ont été financées de la Communauté européenne de l'énergie atomique, septième programme-cadre (FP7/2007-2011 - Convention de financement n°211361).





RECOMMANDATIONS POUR REDUIRE LES DOSES AUX MAINS LORS DES PROCEDURES DE MEDECINE NUCLEAIRE

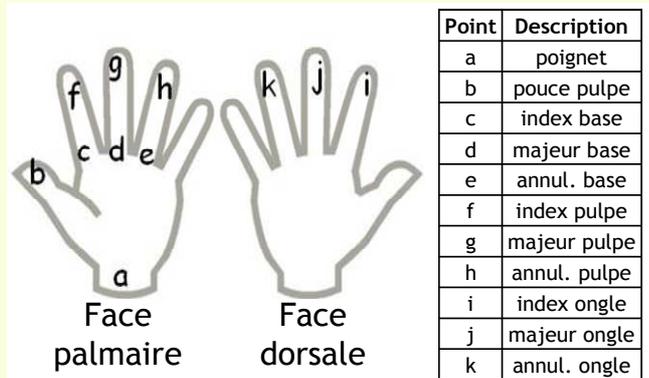
Problématique



La limite annuelle de dose de 500 mSv devant être considérée comme la dose moyennée sur 1 cm² de peau, quelle que soit la zone exposée, il convient de mesurer la dose reçue par la peau à la position présumée correspondant à la valeur maximale. Cette exigence constitue la source principale des difficultés pratiques rencontrées pour le suivi dosimétrique des extrémités, en particulier en médecine nucléaire. A ces postes de travail, la région des mains du personnel recevant la dose maximale est généralement inconnue. De plus, la distribution de dose sur les mains peut varier entre les procédures mais aussi, pour la même procédure, d'un opérateur à l'autre.

Description du travail

L'équivalent de dose à la peau, $H_p(0,07)$, a été mesuré à différentes positions sur les mains droite et gauche, durant de nombreuses procédures de médecine nucléaire, au moyen de dosimètres adaptés. Les mesures ont été coordonnées à l'échelle européenne et ont été basées sur un protocole unifié, comprenant le relevé des paramètres importants, notamment des activités manipulées. Les procédures impliquant la manipulation des radionucléides ^{99m}Tc, ¹⁸F pour les applications diagnostiques, et ⁹⁰Y pour la thérapie ont été sélectionnées. Ce choix a été fondé sur deux critères : la fréquence de réalisation et le caractère potentiellement dosant pour les mains. Parallèlement, des simulations Monte Carlo ont été réalisées afin d'étudier le degré de sensibilité des doses aux mains à différents paramètres. Ces travaux ont été menés afin de proposer des recommandations relatives au positionnement des dosimètres d'extrémité utilisés en routine ainsi qu'aux méthodes de réduction des doses.



Positions des 11 points de mesure sur la main gauche ; les mêmes positions ont été définies pour la main droite (symétrie miroir)

CAMPAGNE DE MESURES

Procédures diagnostiques considérées :

- Préparation et administration de ^{99m}Tc
- Préparation et administration de ¹⁸F

Procédures thérapeutiques considérées :

- Préparation et administration de ⁹⁰Y Zevalin®
- Préparation et administration de ⁹⁰Y DOTATOC

L'objectif était d'évaluer les doses et distributions de doses aux mains des opérateurs. Les données ont concerné :

- 34 hôpitaux
- 7 pays européens
- 124 opérateurs
- 768 mesures

CAMPAGNE DE SIMULATIONS NUMERIQUES

- Code de simulation : MCPNX
- 6 scénarios : 2 pour la phase d'administration et 4 pour la phase de préparation du radio-pharmaceutique.
- 3 fantômes construits à partir de moulages en paraffine, scanographiés puis numérisés sous forme voxélisée pour être introduits dans les simulations.



Modèle de moulage de main utilisé pour les simulations de la phase d'administration

L'objectif était d'évaluer l'efficacité de différentes techniques de protection en comparant les doses suivant différents paramètres, tels :

- le volume actif de la source,
- le déplacement et la rotation de la source,
- l'épaisseur et la nature du blindage.

Recommandations relatives au positionnement des dosimètres d'extrémité

La distribution de dose sur la main dépend :

- des propriétés physiques du radionucléide considéré (la distribution est très hétérogène pour ^{90}Y , hétérogène pour ^{18}F et plus homogène pour $^{99\text{m}}\text{Tc}$),
- de la distance entre la source et la main,
- de l'utilisation ou non de blindages,
- de la nature des manipulations réalisées,
- de la pratique individuelle de l'opérateur (pour une même procédure et les mêmes équipements de protection, la distribution de dose peut varier fortement d'un opérateur à l'autre).

Tendances générales observées :

- La main non dominante (main gauche pour un droitier) est en moyenne plus exposée que la main dominante.
- La pulpe de l'index est en général la position la plus exposée ; cette position est cependant mal adaptée pour le suivi dosimétrique de routine.
- Une bonne corrélation est observée entre la dose maximale mesurée à la main et celles mesurées aux positions généralement choisies pour le suivi dosimétrique de routine, à savoir la base des doigts.
- Si l'on s'intéresse à la mesure faite à la base de l'index de la main non dominante, le facteur de correction moyen à appliquer, qui permet de rendre compte de la dose maximale reçue, est le plus faible et présente la plus faible variabilité, comparativement aux autres positions utilisées pour le suivi de routine.



- 1) Le suivi dosimétrique des mains est nécessaire en médecine nucléaire.**
- 2) La position recommandée pour placer le dosimètre d'extrémité est la base (première phalange) de l'index de la main non dominante (la gauche pour un droitier), face sensible orientée du côté de la paume.**
- 3) En première approximation, la dose maximale reçue aux mains peut être estimée en multipliant par 6 la dose mesurée sur le dosimètre porté conformément à la recommandation précédente.**

Recommandations relatives aux paramètres d'influence des doses aux mains

Tendances générales observées :

- Dans de nombreux cas les extrapolations annuelles appliquées sur les doses maximales conduisent à des dépassements de la limite de 500 mSv.
- Pour une procédure donnée, le très grand domaine de variation des doses maximales mesurées est un indicateur clair de la cohabitation de bonnes et de mauvaises pratiques ; les opérateurs recevant les doses les plus élevées peuvent par conséquent les réduire de façon importante en modifiant leurs modes opératoires.
- Trois causes principales sont à l'origine des doses les plus élevées : absence d'utilisation de blindages, contact direct avec l'enceinte de la source (flacon, seringue), contamination locale.
- Les opérateurs associés aux doses les plus faibles utilisent des techniques d'optimisation avancées, tels des dispositifs d'injection semi-automatiques.
- L'expérience de l'opérateur n'est pas observée comme critère déterminant de réduction des doses.
- La formation et la sensibilisation, ainsi que la mise en œuvre de méthodes d'optimisation (modes opératoires, blindages) peuvent permettre aisément la réduction des doses à un niveau acceptable.
- Sans la mise en œuvre de bonnes pratiques (absence de blindages et de moyens de manipulation à distance, défaut de formation, d'entraînement ...), la limite réglementaire de 500 mSv est susceptible d'être dépassée.



- 4) L'utilisation de blindages pour les flacons et les seringues est essentielle ; c'est une condition nécessaire mais non suffisante pour limiter les doses.**
- 5) Les épaisseurs minimales d'un protège-seringue requises pour la manipulation de ^{99}Tc et ^{18}F sont respectivement de 2 mm et 5 mm de tungstène. Pour ^{90}Y , 10 mm de PMMA arrêtent la totalité du rayonnement beta, mais 5 mm de tungstène fournissent une meilleure protection car ils atténuent plus efficacement le rayonnement de freinage.**
- 6) Les épaisseurs minimales d'un protège-flacon requises pour la manipulation de ^{99}Tc et ^{18}F sont respectivement de 3 mm et 3 cm de plomb. Pour ^{90}Y , une protection acceptable est obtenue au moyen de 10 mm de PMMA complétés par une couche externe d'au moins 1 mm de plomb.**
- 7) Les outils permettant d'accroître la distance (pince-langouette, injecteur (semi-)automatique) entre les mains et la source sont très efficaces pour réduire les doses.**
- 8) L'entraînement et la formation aux bonnes pratiques (planification des procédures, exercices à blanc impliquant des sources non radioactives, estimation des niveaux des doses susceptibles d'être reçues ...) ont plus d'impact sur la dose que l'expérience de l'opérateur.**
- 9) Pour réduire les doses, l'utilisation de blindages et la mise à distance sont plus efficaces que la rapidité de travail.**

ANNEXE – Résultats principaux du Groupe de travail n°4

DOSES MAXIMALES POUR LES DIFFERENTES PROCEDURES

Valeurs moyenne, médiane, maximum et minimum des doses, normalisées à l'activité manipulée, pour tous les opérateurs et toutes les procédures (P pour préparation et A pour administration du radiopharmaceutique).

| | Doses maximales reçues par les opérateurs (mSv/GBq) | | | |
|------------------------------|---|---------|---------|---------|
| | Moyenne | Médiane | Minimum | Maximum |
| P - ^{99m} Tc | 0,43 | 0,25 | 0,03 | 2,06 |
| A - ^{99m} Tc | 0,15 | 0,09 | 0,01 | 0,76 |
| P - ¹⁸ F | 1,31 | 0,88 | 0,10 | 4,55 |
| A - ¹⁸ F | 0,72 | 0,62 | 0,14 | 2,42 |
| P - ⁹⁰ Y Zevalin® | 9,62 | 8,87 | 0,90 | 32,06 |
| A - ⁹⁰ Y Zevalin® | 5,25 | 2,92 | 0,32 | 32,05 |

Pour chaque procédure, les valeurs moyenne, médiane, maximum et minimum ont été déterminées sur le groupe d'opérateurs ayant fait l'objet de mesures et en considérant, pour chaque opérateur, parmi les 22 positions de mesure celle identifiée comme recevant la dose maximale.

- La préparation délivre plus de dose que l'administration.
- Les doses pour les procédures diagnostiques sont nettement inférieures à celles associées aux procédures thérapeutiques.

POSITION DU DOSIMETRE POUR LE SUIVI DOSIMETRIQUE

Facteurs de correction moyens déterminés à partir de l'ensemble des opérateurs, pour différentes positions, ce pour chaque procédure (P pour préparation et A pour administration du radiopharmaceutique). Les facteurs de correction sont définis comme le rapport entre la dose maximale relevée, Max, parmi les 22 positions de mesure, et la dose relevée, suivant le cas, au poignet, à la base de l'index et de l'annulaire, et à la pulpe de l'index des mains non dominante et dominante.

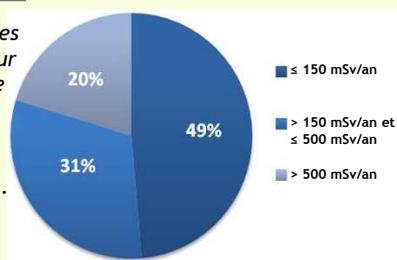
| | Main non dominante | | | | Main dominante | | | |
|------------------------------|--------------------|------------------|-------------------|-------------------|----------------|------------------|-------------------|-------------------|
| | Max / Poignet | Max / Index base | Max / Annul. Base | Max / Index pulpe | Max / Poignet | Max / Index base | Max / Annul. Base | Max / Index pulpe |
| P - ^{99m} Tc | 27 | 5 | 11 | 2 | 20 | 6 | 9 | 3 |
| A - ^{99m} Tc | 15 | 5 | 10 | 2 | 15 | 7 | 10 | 4 |
| P - ¹⁸ F | 14 | 4 | 6 | 2 | 12 | 5 | 7 | 2 |
| A - ¹⁸ F | 30 | 7 | 12 | 4 | 27 | 7 | 12 | 4 |
| P - ⁹⁰ Y Zevalin® | 16 | 7 | 11 | 4 | 16 | 22 | 30 | 16 |
| A - ⁹⁰ Y Zevalin® | 26 | 8 | 17 | 3 | 23 | 20 | 17 | 10 |

- Les doses sont statistiquement plus élevées pour la main non dominante que pour la dominante.
- La dose la plus élevée est fréquemment relevée à la pulpe de l'index de la main non dominante.
- La distribution de la dose sur les mains est hétérogène.
- A l'exception du poignet, les rapports entre la dose maximale et la dose à des positions adaptées pour le suivi dosimétrique de routine sont plus faibles pour la main non dominante que pour la dominante.
- En moyenne, le plus faible rapport entre la dose maximale et la dose aux positions considérées est relevé pour la pulpe de l'index de la main non dominante ; cependant, cette position n'est pas adaptée pour le suivi dosimétrique de routine.
- En moyenne, le second plus faible rapport est relevé pour la base de l'index de la main non dominante ; cette position, localisée du côté de la paume, est par conséquent celle recommandée pour le suivi dosimétrique de routine.

ESTIMATION DES DOSES ANNUELLES AUX MAINS

La dose annuelle a pu être estimée pour 60% des opérateurs suivis. Les estimations ont été faites pour les procédures diagnostiques. Elles ont pris en compte seulement les procédures pour lesquelles les opérateurs ont fait l'objet de mesures dans le cadre du projet ORAMED, et seulement pour ceux dont la charge de travail était connue.

Pourcentage des opérateurs pour chaque gamme de dose annuelle (procédures diagnostiques).

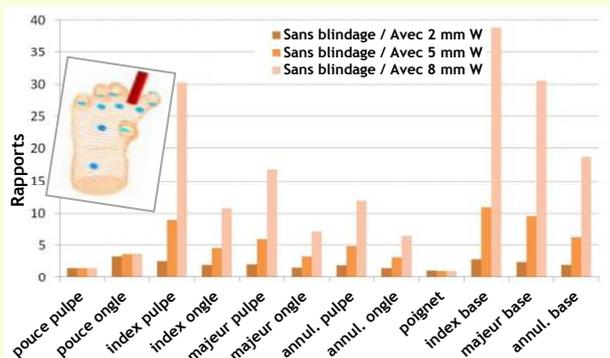


- L'estimation annuelle est supérieure à 150 mSv (3/10 de la limite) pour 51% des opérateurs.
- 20% des opérateurs dépassent la limite annuelle de 500 mSv.

Note: Seules les procédures diagnostiques considérées dans le cadre du projet ORAMED sont prises en compte.

PARAMETRES D'INFLUENCE SUR LES DOSES AUX MAINS

- Une réduction des doses variant de 1 à 3 ordres de grandeur est obtenue en utilisant un blindage approprié.
- Pour la thérapie, les opérateurs ont pu réduire les doses qu'ils reçoivent en améliorant leurs pratiques (modes opératoires, blindages), ce grâce à la connaissance de leurs doses individuelles au fil des mesures.
- L'utilisation d'outils de protection, tels les pinces-languettes, a un impact significatif sur les doses ; à titre d'exemple, pour la manipulation d'un flacon blindé de ¹⁸F, une pince-langnette de 5 cm de longueur permet une réduction d'un facteur 6 de la dose.



Rapports entre les doses calculées pour une seringue de ¹⁸F non blindée et celles pour 2, 5 et 8 mm de tungstène (W), pour les différentes positions considérées.