

L'exposition des patients en radiodiagnostic : Bilan de l'étude dosimétrique réalisée en 2001–2003 dans 24 services français de radiologie*

H. BEAUVAIS-MARCH¹, M. VALERO¹, A. BIAU², N. HOCINE², J.-L. REHEL²,
M. BOURGUIGNON¹

(Manuscrit reçu le 25 février 2004, accepté le 12 juin 2004)

RÉSUMÉ Dans le cadre des travaux de transposition en droit français de la directive 97/43 Euratom relative à la radioprotection des patients, une campagne nationale de dosimétrie en radiodiagnostic s'est déroulée entre avril 2001 et février 2003, à l'initiative conjointe des sociétés savantes et professionnelles, de la Direction générale de la Sûreté nucléaire et de la radioprotection (DGSNR) et de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN). Son objectif était d'associer des niveaux de doses aux procédures radiologiques standardisées, élaborées dans une étape précédente par la Société française de radiologie, et d'engager une première étude pour la détermination de niveaux de référence diagnostiques (NRD) français. Sur la base de protocoles de mesures et de fiches d'informations établis par l'IRSN et la Société française de physique médicale, la campagne a reposé sur des équipes pluridisciplinaires (radiologue, physicien, technicien), dans 24 services de radiologie volontaires. Son organisation pratique, la centralisation des données et le traitement des résultats ont été assurés par l'IRSN. Pour les 8 examens sélectionnés (4 en radiologie classique et 4 en scanographie), dans chaque service, 20 sujets d'âge adulte et de morphologie moyenne devaient faire l'objet d'une dosimétrie. En radiologie classique, la dose à l'entrée a été mesurée par dosimètres thermoluminescents placés à la peau, pour 1231 patients. En scanographie l'indice de dose de scanographie pondéré et le produit dose \times longueur ont été déterminés pour 667 patients à partir des paramètres de l'examen et des données de base du scanner. Pour chaque type d'examen les valeurs moyennes de chacune de ces grandeurs ainsi que celles du 75^e percentile ont été calculées. Pour la grande majorité des examens et des centres ayant participé à l'étude, il apparaît que ces valeurs se situent en dessous des NRD proposés par la Commission européenne en 1996. Ces résultats, analysés en fonction des facteurs d'influence sur la dose et des limites méthodologiques de l'étude (volontariat des services participant), prouvent la faisabilité et le grand intérêt d'une campagne nationale de mesures de doses en radiologie, à plus grande échelle, qui permettrait d'établir des NRD spécifiques à la

* Au nom du Comité de pilotage de la campagne SFPM-SFR-AFPPE-IRSN-DGSNR :
Société française de radiologie (SFR) : G. FRIJA, Ph. GRENIER, J. GRELLET, D. SIRINELLI, Y.-S. CORDOLIANI ;
Société française de physique médicale (SFPM) : B. AUBERT, J.-Y. GIRAUD, A. LISBONA, S. NAUDY, A. NOEL ;
Association française du personnel paramédical d'électroradiologie (AFPPE) : J.-M. BOUSSARD ;
DGSNR et IRSN : M. BOURGUIGNON, H. BEAUVAIS-MARCH, M. VALERO.

¹ DGSNR, 6 place du colonel Bourgoïn, 75572 Paris Cedex 12, France.

² IRSN, B.P. 17, 92262 Fontenay-aux-Roses Cedex, France.

pratique française, de prévoir leur révision périodique et de définir les démarches d'optimisation appropriées.

ABSTRACT Patient exposure in diagnostic radiology: Results of a dosimetric survey carried out on 2001–2003 in 24 French radiology departments.

Within the frame work of implementation of Directive 97/43, a French dosimetry campaign in diagnostic radiology was carried out, from April 2001 to February 2003, under supervision of a steering Committee, involving representatives of scientific and professional societies, of the Directorate-General for Nuclear Safety and Radiation Protection (DGSNR) and experts of the Institute of Radiation Protection and Nuclear Safety (IRSN). The aim was to assess patient dose associated to the standardized radiology procedures recommended by the "Société française de radiologie" and to determine national dose reference levels (DRL) in diagnostic radiology. On the basis of protocols and data sheets established by the "Société française de physique médicale" and the IRSN, measurements were performed by multidisciplinary team (radiologist, physicists and radiographer) in 24 volunteer centers. The treatment of measured and collected data was in charge of the IRSN. For each of the 8 examinations selected, (4 in Conventional Radiology (CR) and 4 in Computed Tomography (CT)), data and dose measurements were assessed for 20 adult patients in each center. In CR, the entrance surface dose for each exposure was measured on 1231 patients using thermoluminescent dosimeters. In CT, the weighted Computed Tomography Dose Index and the Dose-Length Product were calculated for 667 patients, on base of the procedure parameters and the scanner normalized dose index values. For each type of examination, mean dose values and third quartile values were determined: depending on the type of examination, the results are either similar or lower than 1996 European DRL. These results are analyzed according the dose influencing parameters. Despite the 24 involved hospitals were not randomly selected, this preliminary study emphasizes the feasibility and great interest of a larger campaign of measurements based on a precise statistical survey of radiological practices in order to determine French DRL and to facilitate their periodic review in a continuous process of unnecessary doses reduction.

1. Introduction

Parmi les nombreux travaux accompagnant la transposition en droit français de la directive 97/43 Euratom (Conseil des communautés européennes, 1997), relative à la radioprotection des personnes exposées à des fins médicales, une campagne nationale de dosimétrie « patients » en radiologie diagnostique s'est déroulée entre avril 2001 et février 2003, à l'initiative conjointe des sociétés savantes et professionnelles (Société française de radiologie, Société française de physique médicale, Association française du personnel paramédical d'électroradiologie) et de l'Office de protection contre les rayonnements ionisants (OPRI) remplacé depuis février 2002 par la Direction générale de la Sûreté nucléaire et de la radioprotection (DGSNR) et l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN).

Plus précisément cette campagne s'est inscrite dans le cadre de la mission confiée en 1999 à l'OPRI par le Directeur général de la santé, concernant la mise

en œuvre en France des niveaux de référence diagnostiques (NRD). Elle a fait suite à un travail préalable de standardisation des examens radiologiques effectué sous la responsabilité médicale de la SFR qui a fait l'objet d'un rapport (OPRI, 2001) : « Procédures radiologiques : critères de qualité et optimisation des doses ».

Les objectifs de la campagne de mesures ont été les suivants :

- documenter les procédures radiologiques standardisées (OPRI, 2001) en terme de doses délivrées aux patients,
- comparer ces doses aux niveaux de référence proposés par la Commission européenne (1996, 1997),
- établir, à terme, des niveaux de référence nationaux correspondant à la pratique radiologique française.

Cette campagne devait en outre poser les bases d'une méthodologie pour assurer le suivi, l'évaluation et l'optimisation des pratiques radiologiques au niveau national (Beauvais-March *et al.*, 2003b).

2. Matériel et méthodes

2.1. Les niveaux de référence diagnostiques en radiologie

La notion de NRD est spécifique aux expositions médicales et ne doit pas être confondue avec celle de « limite des doses individuelles » qui est appliquée dans les domaines de la radioprotection des travailleurs et du public. L'utilisation des rayonnements ionisants à des fins diagnostiques ou thérapeutiques est en effet incompatible avec une limitation réglementaire des doses : le niveau d'irradiation est par nécessité subordonné à l'objectif médical, et imposer « *a priori* » des seuils infranchissables serait un contresens préjudiciable aux patients. La radioprotection des personnes exposées pour raison médicale repose donc exclusivement sur les principes de justification et d'optimisation. Tout acte doit en premier lieu être justifié, c'est-à-dire apporter au patient un bénéfice supérieur au risque potentiellement encouru. Il doit ensuite être réalisé de façon optimisée : en radiologie cela signifie que la dose délivrée doit être la plus faible possible compatible avec la qualité informative de l'image, nécessaire à un bon diagnostic.

C'est dans ce cadre qu'il faut comprendre la fonction des NRD, dont la définition est clairement donnée dans l'article 2 de la directive 97/43 (Conseil des communautés européennes, 1997) : « *des niveaux de dose dans les pratiques radiodiagnostiques... pour des examens types sur des groupes de patients types ou sur des fantômes types, pour des catégories larges de types d'installations. Ces niveaux ne devraient pas être dépassés pour les procédures courantes si des*

pratiques bonnes et normales en matière de diagnostic et de performance techniques sont appliquées ».

L'arrêté français du 12 février 2004 (JO, 2004) s'inscrit dans cette logique en précisant qu' « *il s'agit de **niveaux indicateurs servant de guide pour la mise en œuvre du principe d'optimisation...** Ces niveaux ne doivent pas être dépassés sans justification technique ou médicale, lors d'une procédure courante* ». Les NRD concernent donc des examens standardisés et non des procédures particulières. Ils se réfèrent à des patients « *type* » (70 ± 3 kg de masse corporelle, 20 ± 2 cm d'épaisseur au centre du thorax) et/ou des fantômes de référence et non à des individus au cas par cas.

L'utilisation des NRD a pour but de connaître, du point de vue des doses délivrées, la qualité des équipements et des procédures, et d'engager, en cas de dépassement injustifié, des actions de contrôle et de correction.

Les grandeurs dosimétriques auxquelles on affecte des niveaux de référence varient selon le domaine considéré. En radiologie classique (*cf.* paragraphe 2.4.1), on considère la dose à l'entrée du patient (De) exprimée en milligrays et le produit dose \times surface (PDS) exprimé en grays \times centimètres carré ; en scanographie (*cf.* paragraphe 2.4.2), l'indice de dose pondéré de scanographie (IDPS) en milligrays et le produit dose \times longueur (PDL) en milligrays \times centimètres (Beauvais-March *et al.*, 2003a ; Commission européenne, 1999 ; JO, 2004).

2.2. Organisation de la campagne de dosimétrie

Le comité de pilotage (CP) formé en 2001 par des représentants de la SFR, la SFPM, l'AFPPE, de l'IRSN et de la DGSNR s'est placé dans le cadre d'une étude de faisabilité et a fait appel à 30 services de radiologie volontaires répartis sur l'ensemble de la France (Fig. 1). À l'exception de l'un d'entre eux (une clinique privée), ces services appartiennent au secteur public hospitalier : 10 centres régionaux de lutte contre le cancer, 17 centres hospitaliers (universitaires, régionaux ou départementaux) et 2 hôpitaux militaires. Le CP a informé par courrier les autorités administratives et les responsables des établissements et services concernés, et leur a demandé de faciliter le détachement des médecins médicaux (pour la plupart rattachés administrativement aux services de radiothérapie) auprès des services de radiologie, dans le cadre de la campagne. Celle-ci a donc reposé, localement sur la responsabilité d'une équipe comportant un radiologue, un physicien et un cadre technique.

Avant de débiter l'évaluation dosimétrique des examens radiologiques proprement dits, chaque site a dû au préalable effectuer la qualification dosimétrique de

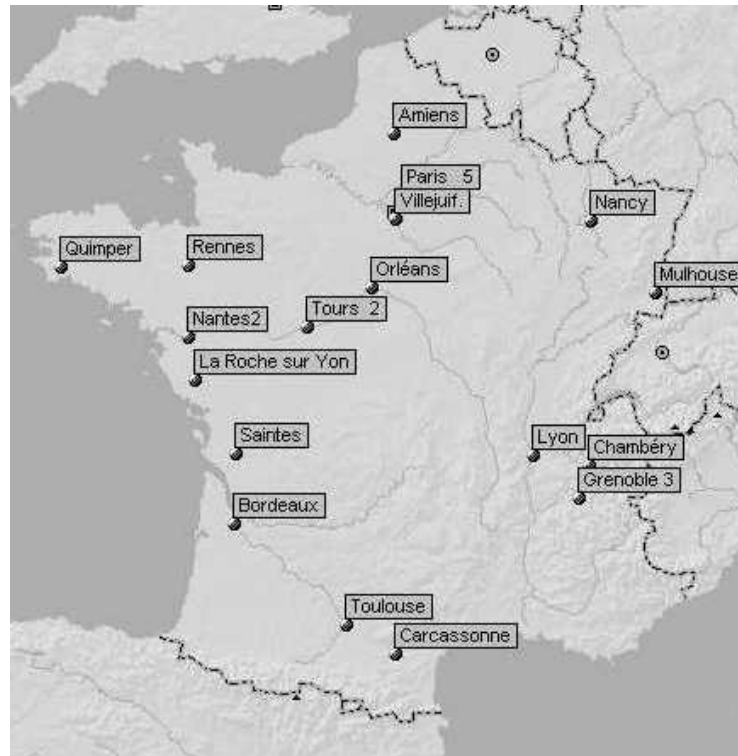


Figure 1 – Répartition géographique des services de radiologie ayant participé à l'étude.
Geographical distribution of radiology departments involved in the campaign.

ses installations, tant en radiologie classique qu'en tomodensitométrie en utilisant les protocoles de contrôle qualité élaborés par la SFPM (SFPM, 1990, 1993).

L'organisation pratique de la campagne, la centralisation et le traitement des données relatives aux installations et à la dosimétrie des patients ont été assurés par l'IRSN (site du Vésinet).

2.3. Examens radiologiques sélectionnés

Huit examens ont été retenus par le CP, parmi ceux considérés comme les plus fréquents ou les plus irradiants, conformément aux termes de la directive 97/43.

2.3.1. En radiologie classique

- Le thorax de face (debout, incidence postéro-antérieure) ;
- L'abdomen sans préparation (couché, incidence antéro-postérieure) ;
- Le rachis lombaire de face (debout) ;
- Le rachis lombaire de profil (debout).

2.3.2. En scanographie

- L'encéphale standard ;
- L'abdomen standard ;
- Le thorax standard ;
- Le thorax « haute résolution ».

Ces examens devaient être réalisées selon les procédures de référence publiées dans le rapport OPRI/SFR (OPRI, 2001). Pour chacun d'entre eux, 20 patients d'âge adulte et de poids compris entre 60 et 80 kg ont fait l'objet d'une dosimétrie selon un protocole bien défini.

2.4. Grandeurs et méthodes dosimétriques

2.4.1. En radiologie classique

La dose à la peau du patient a été mesurée. Il s'agit de la dose absorbée dans l'air, D_e (mGy), au point d'intersection de l'axe du faisceau de RX et de la surface d'entrée du patient, rayonnement rétrodiffusé inclus (Beauvais-March *et al.*, 2003a ; Commission européenne, 2000 ; Naudy *et al.*, 2002 ; SFPM, 2004).

Les mesures ont été effectuées avec des dosimètres thermoluminescents (TLD) fournis par l'IRSN par voie postale. Un lot de 1000 pastilles de LiF : (Mg, Cu, P), type GR 200A, préalablement étalonnées par le Laboratoire central des industries électriques (LCIE – Fontenay-aux-Roses) dans un faisceau de rayons X de 80 kV (CDA de 0.38 mm Cu) a été utilisé dans les différents services, par rotation.

Pour chaque exposition, deux pastilles thermoluminescentes ont été collées sur la peau du patient au centre du champ de la région examinée. Elles ont été retournées à l'IRSN accompagnées d'une fiche descriptive de l'installation radiologique et d'une fiche de renseignement sur les paramètres de l'examen pour chaque patient (Fig. 2). Dans le cas où l'installation était équipée, en sortie de tube d'une chambre d'ionisation à transmission pour la mesure du produit

« dose \times surface » (PDS)³ la valeur affichée du PDS pour chaque exposition devait également être reportée sur la fiche de renseignement.

Les dosimètres thermoluminescents, renvoyés après exposition par les services, ont été exploités à l'IRSN avec un lecteur automatique FIMEL, type PCL3 (laboratoire dosimétrique du Vésinet).

2.4.2. En scanographie

Chaque service devait fournir une fiche d'identification du scanner utilisé : marque, type, année de mise en service, ainsi que les valeurs des indices de dose de scanographie pondérés et normalisés (IDSPn), mesurés sur place (Nagel *et al.*, 2002 ; SFPM, 2004). D'une façon générale, l'indice de dose de scanographie (mGy) est égal à l'intégrale du profil de dose mesurée sur l'axe de rotation du scanner pour une rotation du tube de rayons X de 360° ; l'IDSPn en particulier, est une combinaison linéaire des indices de dose de scanographie mesurés respectivement au centre (IDS_c) et en périphérie (IDS_p) d'un fantôme cylindrique standard, pour une charge par rotation de 100 mAs. Par convention, la tête d'un patient type adulte est simulée par un cylindre de plexiglas de 16 cm de diamètre et le corps par un cylindre de plexiglas de 32 cm de diamètre :

$$\text{IDSPn} = 1/3 \text{IDS}_c + 2/3 \text{IDS}_p \text{ (pour 100 mAs).}$$

Quand les mesures n'ont pas été possibles dans les services, les calculs ont été effectués à partir des valeurs fournies par la base de données « ImPACT » (www.impactscan.org).

Pour chaque type d'examen, 20 fiches « patients » ont été demandées, renseignant sur les paramètres d'acquisition (tension, épaisseur de coupe et nombre de coupes par rotation, « *pitch* »⁴ d'acquisition, charge par rotation C, longueur explorée L, etc.).

À partir de ces données, pour chaque patient, l'indice de dose de scanographie pondéré (IDSP) et le produit dose \times longueur (PDL) caractéristiques de l'examen réalisé ont été calculés par l'IRSN :

– IDSP (mGy) = C \times IDSPn, C (mAs) étant la charge par rotation et IDSPn

³ Le produit dose \times surface, PDS, exprimé dans la pratique en grays-centimètres carré (Gy-cm²), est le produit de la dose moyenne absorbée dans l'air dans la section droite du faisceau de rayons X, en l'absence de milieu diffusant, par la surface de cette section. Il est possible de calculer le PDS en utilisant la *De*, et inversement, en tenant compte des paramètres techniques de réalisation des expositions.

⁴ Le « *pitch* » *p*, en mode hélicoïdal, est égal au rapport entre le déplacement du lit du scanner et la largeur de la fenêtre d'irradiation, pendant une rotation du tube. En mode séquentiel, le facteur *p* est égal au rapport entre le déplacement du lit et la largeur de la fenêtre d'irradiation entre 2 rotations successives du tube.

l'indice de dose de scanographie pondéré normalisé correspondant aux conditions techniques de l'examen ;

- $PDL (mGy \times cm) = (IDSP/p) \times L$, L étant la longueur explorée et p , le « *pitch* » en mode hélicoïdal (Beauvais-March *et al.*, 2003a ; Commission européenne, 1997 ; Nagel *et al.*, 2002).

3. Résultats

Entre avril 2001 et février 2003, 24 services de radiologie sur les 30 initialement prévus, ont participé totalement ou partiellement à la campagne, permettant l'exploitation des dosimétries de 1231 patients en radiologie classique et de 667 en scanographie.

3.1. En radiologie classique

Les doses « entrée » moyennes obtenues par examens et par centres sont données dans le tableau I.

Elles sont comparées aux niveaux de référence diagnostiques proposés par la Commission européenne (Commission européenne, 1996). Les histogrammes des figures 3 et 4 illustrent ces résultats par valeurs croissantes pour les examens du thorax standard et de l'abdomen sans préparation (ASP).

Par ailleurs, pour chaque type d'examen, les doses « entrée » minimale, maximale, moyenne, l'écart type et la valeur du 75^e percentile ont été déterminés et présentés dans le tableau II. Un exemple de distribution de doses pour un examen particulier (thorax standard) rapportée à l'ensemble des patients, est donné par la figure 5. Superposées à l'histogramme général, figurent les distributions de dose pour le service ayant la dose « entrée » moyenne la plus faible (R1) et pour celui ayant la dose « entrée » moyenne la plus forte (E).

Le type de récepteur d'images utilisé sur chaque installation a été relevé : 18 services ont travaillé en analogique (émulsions photographiques) et 6 en numérique (écrans radioluminescents à mémoire, détecteurs plans, détecteurs au sélénium).

Par contre les installations équipées de dispositifs donnant le PDS étaient trop peu nombreuses pour que les renseignements fournis puissent être exploités.

La précision des résultats des mesures a été analysée en fonction des différents paramètres d'influence : l'homogénéité des lots de pastilles TLD (1000 pastilles environ ont circulé par voie postale), la variation de la réponse du GR 200 A en

TABLEAU I
Moyenne des doses « entrée », De (mGy), et écart type σ , obtenus par centre et par examen.
Mean entrance surface dose, De (mGy), and standard deviation σ by radiology department and by examination.

Centres	Thorax P/A		Abdomen sans préparation		Rachis lombaire face		Rachis lombaire profil	
	De (mGy)	σ (mGy)	De (mGy)	σ (mGy)	De (mGy)	σ (mGy)	De (mGy)	σ (mGy)
A	0,22	0,04	4,2	2,7	7,4	5,8	16,9	8,4
B	0,20	0,03	3,3	1,5	–	–	–	–
C	0,26	0,05	2,5	1,4	6,8	7,0	16,7	11,7
D	0,43	0,15	3,3	2,5	5,2	3,5	13,6	4,4
E	0,70	0,22	4,7	2,5	14,4	6,6	20,0	11,5
F	0,48	0,08	–	–	–	–	–	–
G	0,45	0,08	5,0	4,9	–	–	–	–
H	0,20	0,03	5,3	3,8	–	–	–	–
I	0,31	0,08	10,4	7,4	10,1	7,1	23,9	12,9
J	0,21	0,20	8,2	11,3	10,4	14,6	17,2	8,7
K	0,47	0,08	3,2	2,1	5,2	3,3	20,5	9,8
L	0,14	0,04	4,9	3,1	–	–	–	–
M	0,22	0,05	–	–	11,1	8,1	35,9	17,4
N	0,23	0,06	3,8	2,6	–	–	–	–
O	0,19	0,03	7,3	4,0	10,0	4,7	24,0	19,1
P	0,24	0,03	6,7	4,3	–	–	–	–
Q	0,18	0,04	2,4	1,6	5,0	4,1	13,5	5,9
R1	0,09	0,02	–	–	–	–	–	–
R2	0,19	0,07	–	–	–	–	–	–
S	0,09	0,02	7,2	10,3	–	–	–	–
T	0,56	0,21	–	–	19,2	15,5	30,1	17,9
U	0,11	0,01	–	–	–	–	–	–
V	0,15	0,05	4,9	3,0	6,2	3,4	9,5	7,0
W	0,25	0,10	3,0	0,4	–	–	–	–
X	0,25	0,11	6,1	4,6	–	–	–	–

fonction de l'énergie du faisceau de RX, la reproductibilité intrinsèque de chaque dosimètre, le bruit de fond lié au délai entre l'envoi des pastilles par l'IRSN et leur retour par les services. La prise en compte de ces différents paramètres conduit à une précision relative globale de 20 % sur la dose pour les examens de l'abdomen

L'EXPOSITION DES PATIENTS EN RADIODIAGNOSTIC

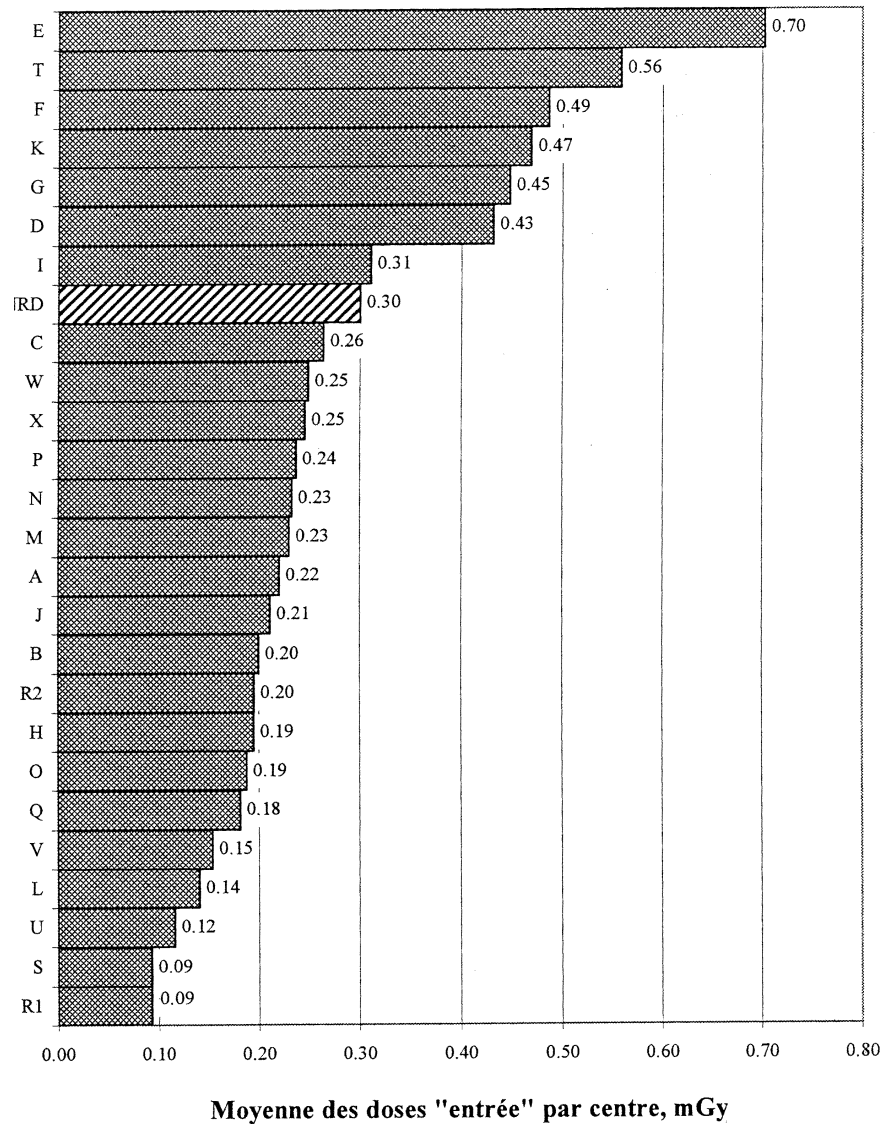


Figure 3 – Dose « entrée » moyenne par centre, pour la radiographie du thorax postéro-antérieur.
Mean entrance surface dose by radiology department, for chest PA radiograph.

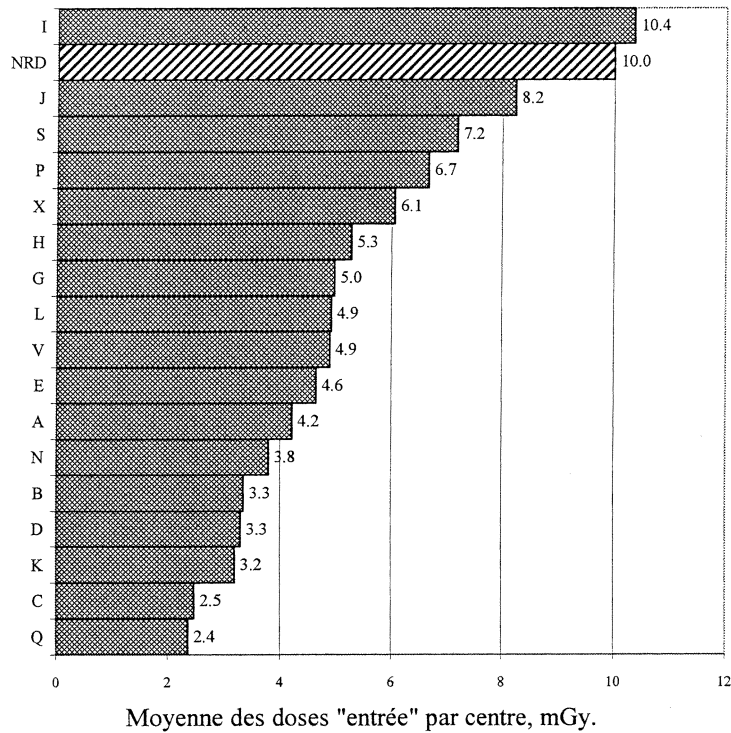


Figure 4 – Dose « entrée » moyenne par centre, pour la radiographie de l'abdomen sans préparation.
Mean entrance surface dose by radiology department, for abdomen AP radiograph.

sans préparation, du rachis lombaire de face et de profil. Pour l'examen du thorax la précision des mesures est évaluée à 30 % compte tenu du faible niveau des doses relevées.

3.2. En scanographie

La participation des centres à la campagne a été plus faible pour les scanners : 16 services sur 30 ont fait parvenir leurs données à l'IRSN. Les appareils, tous âgés de moins de 10 ans étaient représentatifs du parc français de scanners entre 2001 et 2003 : 13 machines de type mono ou bi-coupe et 3 modèles multi-coupe.

Pour chaque fiche « patient » l'IDSP et le PDL ont été calculés à partir des données du scanner et des paramètres de la procédure (Beauvais-March *et al.*, 2003a ; Nagel *et al.*, 2002 ; SFPM, 2004).

Les valeurs moyennes de l'IDSP et du PDL ont été déterminées par type d'examen dans chaque service. Elles sont comparées aux niveaux de référence proposés par la Commission européenne (1997).

La moyenne générale et le 75^e percentile ont été calculés pour l'ensemble des 16 services ayant participé. Le tableau III recense les résultats.

TABLEAU II

Doses « entrée » *De* (mGy) moyenne et écart type par examen, pour l'ensemble des patients. Doses « entrée » *De* (mGy) moyennes maximale et minimale par service. Valeur du 75^e percentile par examen, pour l'ensemble des patients.

Mean entrance surface dose *De* (mGy and standard deviation, by type of examination for the overall patients. Maximum and minimum mean entrance surface dose by department. Third quartile value by type of examination for the overall patients.

Examen	Thorax P/A	ASP	Rachis lomb. Face	Rachis lomb. Profil
nombre de services	24	21	11	11
nombre de patients	511	331	195	194
<i>De</i> moyenne* (mGy)	0,28	5,2	8,2	19,5
écart type (mGy)	0,19	5,3	8,3	12,9
<i>De</i> maximale** (mGy)	0,70	10,4	19,2	36
<i>De</i> minimale** (mGy)	0,09	2,4	5,2	9,5
75 ^e percentile* (mGy)	0,35	6	10,4	24
NRD (mGy) « européen »	0,30	10	10	30

* Pour l'ensemble des patients d'un examen donné (*for the overall patients by type of examination*).

** Par service (*by department*).

4. Discussion

Cette campagne a constitué une épreuve de faisabilité pour de futures études dosimétriques à plus large échelle. Dans la mesure où la participation des services a été basée sur le volontariat, les résultats ne peuvent être d'emblée extrapolés à l'ensemble du parc radiologique français. Ils ont néanmoins une réelle valeur indicative car ils concernent des procédures standardisées, établies par les radiologues eux-mêmes. Le calcul des grandeurs moyennes et du 75^e percentile a pour principal intérêt, à ce stade, d'illustrer une méthode de détermination des NRD et d'indiquer une tendance par rapport aux valeurs proposées par la

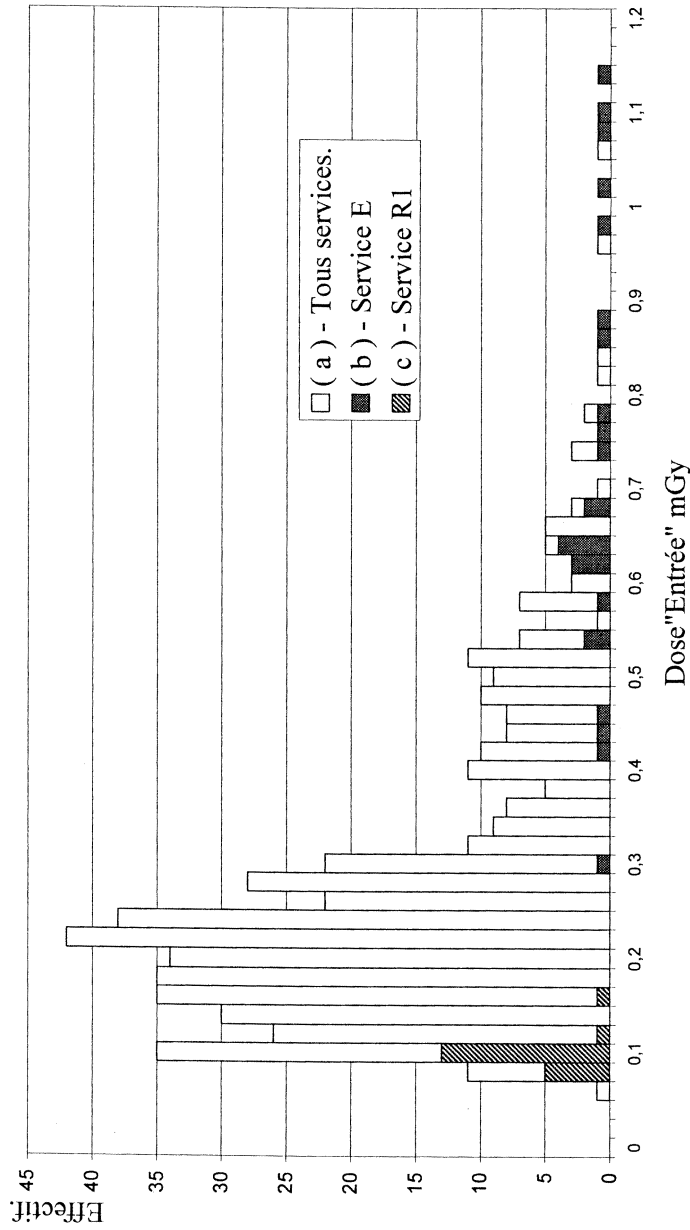


Figure 5 – Distribution des doses « entrée » mesurées pour la radiographie du thorax PA. L'histogramme (a) correspond à l'ensemble des mesures effectuées : 511 examens, dose moyenne 0,28 mGy, dose maximale 1,13 mGy, dose minimale de 0,06 mGy, 75^e percentile 0,35 mGy. Les histogrammes (b) et (c) correspondent respectivement aux centres E et RI.
Distribution of measured entrance surface dose for chest PA radiograph. Histogram(a) show the overall measurements: 511 patients, mean dose 0.28 mGy, maximum dose 1.13 mGy, minimum dose 0.06 mGy, third quartile 0.35 mGy. Histograms (b) and (c) show dose distribution for department E and RI respectively.

TABLEAU III
Valeurs moyennes de l'IDSP et du PDL obtenues par centre et par examen.
Mean values of CTDI_w and DLP by examination and by radiology department.

Centres	Thorax standard		Thorax H.R.		Abdomen		Encéphale	
	IDSP mGy	PDL mGy.cm	IDSP mGy	PDL mGy.cm	IDSP mGy	PDL mGy.cm	IDSP mGy	PDL mGy.cm
B	13,8	306	41,5	83	13,8	296	36,5	510
D	22,9	675	–	–	22,9	921	43,8	523
F	15,9	287			16	375	38,6	543
G	20,2	366	56,8	163	18,7	430	50,4	583
H	12,1	262	–	–	17,1	244	–	–
I	16,8	376	18,3	50	12,7	271	–	–
J	10,5	309	22,6	62	11,9	372	47,6	679
M	10	183	12	241	11	734	–	–
N	9,4	156	19,9	39	8,8	292	42,3	541
O	14,4	433	–	–	17,4	392	63	942
P	13,3	270	28,2	56	8,9	270	67,8	658
S	20,4	455	23,5	48	25,2	1413	100	1362
U	10,9	290	–	–	17,6	275	46,7	2117
V	11,7	321	14,5	38	12,8	317	22	267
W	10,4	228	–	–	12,2	186	–	–
X	14,3	273	20,1	55	16,6	391	62	718
Moyenne	14,2	324	25,8	84	15,2	449	51,7	787
75 ^e %	16,1	369	27	78	17,5	402	62,3	774
NRD *	27	650	–	–	33	770	58	1050

* Niveaux de référence diagnostiques proposés en 1996 par la Commission européenne (*Diagnostic Reference levels proposed by the CEC in 1996*).

Commission européenne. La discussion des résultats de l'étude en 2003, a servi d'élément de réflexion en 2004 pour l'élaboration de la réglementation française sur les niveaux de référence diagnostiques (JO, 2004).

4.1. En radiologie classique

Il ressort des tableaux I et II et des figures 3, 4 et 5 les observations suivantes :

- la grande majorité des centres se situent en dessous des NRD européens ;
- si la tendance se confirme, il semble, sur la base de la simulation actuelle du « 75^e percentile » pour chaque examen, que les NRD européens pourront être adoptés pour les examens du thorax standard (0,3 mGy) et du rachis lombaire de face (10 mGy). Par contre, pour l'ASP et le rachis lombaire de profil,

TABLEAU IV
Corrélation, sur un échantillon d'installations, entre la Dose « entrée » moyenne De (mGy) et certains paramètres techniques, pour l'examen du thorax P/A.
Examples of correlation between mean entrance surface dose and some technique parameters for PA chest radiograph.

Centre	tension (kV)	charge (mAs)	distance foyer-récepteur (cm)	De (mGy)	récepteur d'image
procédure SFR	125 (115 – 140)	1,5 à 3	180 (140 à 200)	NRD = 0,3	
L	120	2,2	180	0,14	capteur plan
H	150	2,3	200	0,19	Se
B	150/120	1,9	170	0,20	film
J	129/133	4,4	200	0,21	film
A	141	2	180/225	0,22	film
M	140	2,3	180	0,23	ERLM
C	117/120/124/125	1,9	150/180/200	0,27	film
I	125	1,6	150	0,31	film
D	102/109	2,6	170	0,43	film
G	115	–	180	0,45	film
K	110	–	200	0,47	ERLM
F	120	–	150/170/180/200	0,49	film
E	115/120/125	4,6	150	0,70	film

les NRD français pourraient, après vérification sur un échantillon d'installations plus important, être fixés à des valeurs inférieures aux NRD européens ;

- on constate, par type d'examen, par service, et y compris pour un même service, une grande dispersion des résultats : les écarts type sont élevés. La figure 5 [histogrammes (a) et (c)] montre en outre, sur l'exemple du cliché thoracique de face, que plus un service a une dose moyenne élevée, plus la dispersion des doses est importante. Ceci est cohérent avec les données de la littérature (IAEA, 1995 ; NRPB, 1999). On aurait cependant pu s'attendre en général, à une moindre dispersion des doses, étant donné que les examens sont tous réalisés selon des procédures de référence (OPRI, 2001). Mais il s'agit en fait de procédures standardisées et non optimisées : elles reflètent un état des lieux de la pratique radiologique française et autorisent des « fourchettes » assez larges pour le choix des matériels et des paramètres d'exposition. C'est le principal facteur de dispersion des doses, auquel il faut ajouter les variations de morphologie entre patients (limitée toutefois entre 60 et 80 kg de masse corporelle).

L'étude des fiches de données relevées pour chaque patient, associées aux résultats dosimétriques, permet de mettre en évidence l'influence de certains paramètres sur la dose délivrée. Le tableau IV qui en donne une illustration pour l'examen du

thorax P/A, appelle les remarques suivantes :

- influence de la tension (kV) : les doses les plus élevées sont enregistrées soit dans des centres (D et K) ne respectant pas la tension minimale requise dans la procédure standardisée, soit dans les centres utilisant les valeurs les plus faibles de la fourchette recommandée (115 à 140 kV). Le centre L fait exception, mais la tension de 120 kV est associée dans ce cas à l'utilisation d'un détecteur plan ;
- influence du détecteur : sur les 4 centres ayant utilisé des récepteurs d'image autres que le film, 3 (L, H, M) délivrent des doses relativement faibles. Mais le fait qu'avec un détecteur numérique (centre K), on puisse délivrer des doses bien supérieures au NRD, confirme, s'il en était besoin, que les « nouveaux » détecteurs ne conduisent pas à une diminution de la dose délivrée au patient s'il n'y a pas modification des paramètres d'exposition ;
- influence de la filtration : elle n'a pu être analysée car aucun centre ne mentionne l'utilisation d'une filtration additionnelle.

4.2. En scanographie

Pour les explorations du thorax et de l'abdomen, les valeurs des IDSP et des PDL pour une acquisition sont toujours inférieures aux NRD européens. Pour les examens de l'encéphale, seuls 3 centres sur 16 dépassent le niveau de référence européen (58 mGy). Ces résultats encourageants appellent les remarques suivantes :

- les valeurs numériques des NRD européens ont été établies à partir d'études datant de plus de 10 ans (Commission européenne, 1997). Elles reflètent un état du parc de scanners très différent du parc actuel, et il n'est pas étonnant que les résultats actuels soient inférieurs. La prise en compte des possibilités offertes par les scanners hélicoïdaux et multi-coupes, et par les méthodes d'optimisation, ne peut donc que conduire à une révision à la baisse des niveaux de référence en scanographie (Nagel *et al.*, 2002) ;
- par ailleurs, les valeurs de PDL données dans le tableau III correspondent généralement à une seule acquisition d'images. Dans la pratique pour de nombreux patients, ces valeurs peuvent être multipliées par 2 ou 3 selon le nombre d'acquisitions successives pour un même examen ;
- enfin il est intéressant de remarquer, lors de l'exploitation des fiches de données, que les résultats les plus élevés ne sont pas forcément corrélés aux appareils « intrinsèquement » les plus irradiants : l'optimisation des paramètres de la procédure joue un rôle essentiel sur la dose délivrée au patient.

5. Conclusion

La campagne dosimétrique réalisée à l'initiative conjointe des sociétés savantes et professionnelles et des organismes en charge de la radioprotection, montre que

pour la grande majorité des 24 services de radiologie concernés, les doses délivrées à des patients de corpulence moyenne, sont inférieures aux niveaux de référence européens. On constate cependant, par type d'examen, par service, et y compris pour un même service, une grande dispersion des résultats, ce qui démontre la nécessité et la possibilité d'améliorer l'optimisation des actes et donc de réduire ainsi l'exposition des patients.

Cette étude effectuée entre avril 2001 et février 2003 a constitué une première étape pour la définition de valeurs de NRD spécifiques à la pratique française. Elle a en effet fourni une base d'analyse et de réflexion aux législateurs et experts chargés de la rédaction de l'arrêté du 12 février 2004 (JO, 2004) relatif aux niveaux de référence diagnostiques, en application des nouvelles dispositions du Code de la santé publique concernant la radioprotection des patients (Code de la santé publique, 2003). Cette nouvelle réglementation qui rend obligatoire pour les radiologues l'évaluation des doses délivrées aux patients et l'utilisation des NRD comme outil pour l'optimisation, devrait permettre d'acquérir un grand nombre de données à large échelle et selon une méthodologie améliorée. L'IRSN est désormais chargé par voie réglementaire, de « recueillir les données nécessaires à la mise à jour des niveaux de référence diagnostiques ».

RÉFÉRENCES

- Beauvais-March H., Valero M., Biau A., Bourguignon M. (2003a) Niveaux de référence diagnostiques : spécificités de la démarche française en radiologie, *Radioprotection* **38**, 187-200.
- Beauvais-March H., Valero M., Hocine N., Biau A., Bourguignon M. (2003b) Résultats préliminaires de la campagne de dosimétrie patients, Journées françaises de radiologie, Paris, octobre 2002, *J. Rad.* **83**, 1305.
- Code de la santé publique (2003) Protection des personnes exposées aux rayonnements ionisants à des fins médicales ou médico-légales, Chapitre V.I., section 6, articles R. 1333-55 à R. 133-74.
- Commission européenne (1996) European guidelines on quality criteria for diagnostic radiographic images. EUR 16260. Publications des Communautés Européennes, Luxembourg.
- Commission européenne (1997) Quality criteria for computed tomography. EUR 16262. Publications des Communautés Européennes, Luxembourg.
- Commission européenne (1999) Conseils sur la mise en œuvre de niveaux de référence diagnostiques pour les expositions médicales. Radioprotection 109. Publications des Communautés Européennes, Luxembourg.
- Commission européenne (2000) Recommendations for patient dosimetry in diagnostic radiology using TLD. EUR 19604, Publications des Communautés Européennes, Luxembourg.
- Conseil des communautés européennes (1997) directive 97/43/Euratom du 30 juin 1997 relative à la protection sanitaire des personnes contre les dangers des rayonnements ionisants lors des expositions à des fins médicales. J.O. des Communautés européennes n° L 180.
- IAEA (1995) Radiation doses in diagnostic radiology and methods for dose reduction. TECDOC 796.
- ICRP Publication 73 (1996) Radiological protection and safety in medicine, *Ann. ICRP* **26** (2).

L'EXPOSITION DES PATIENTS EN RADIODIAGNOSTIC

- JO (2004) Journal officiel de la R. F., Arrêté du ministre chargé de la santé du 12/02/04, relatif aux niveaux de référence diagnostiques en radiologie et médecine nucléaire, JO du 16 mars 2004, p. 5117.
- Nagel H.D. *et al.* (2002) Radiation Exposure in Computed Tomography. European Coordination Committee of the Radiological and Electromedical Industries, cocir@zvei.org, Hamburg, German.
- Naudy S., Valero M., Beauvais-March H., Hocine N. (2002) Campagne nationale de dosimétrie en radiologie : résultats préliminaires, *41^{es} Journées scientifiques de la Société française de physique médicale, Grenoble, juin 2002*. Publication SFPM.
- NRPB (1999) Guidelines on patient dose to promote the optimisation of protection for diagnostic medical exposures. Doc. NRPB 10 (1), UK.
- OPRI-Société française de radiologie (2001) Mission sur les procédures et les niveaux de référence des examens médicaux utilisant les rayonnements ionisants. Les procédures radiologiques : critères de qualité et optimisation des doses. Publication OPRI, www.sfrnet.org.
- SFPM (1990) Société française de physique médicale, Évaluation des performances et contrôle de qualité des scanners. Bibliothèque SFPM, www.sfp.asso.fr.
- SFPM (1993) Société française de physique médicale, Guide pratique de maîtrise de la qualité en radiodiagnostic conventionnel. Bibliothèque SFPM, www.sfp.asso.fr.
- SFPM (2004) Société française de physique médicale, Dosimétrie des explorations diagnostiques en radiologie. Bibliothèque SFPM, www.sfp.asso.fr.