

IRSNINSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

DOSES DÉLIVRÉES AUX PATIENTS EN SCANOGRAPHIE ET EN RADIOLOGIE CONVENTIONNELLE

Résultats d'une enquête multicentrique en
secteur public

Rapport DRPH/SER N° 2010-12

DIRECTION DE LA RADIOPROTECTION DE L'HOMME

Service d'Etudes et d'Expertises en Radioprotection

INSTITUT
DE VEILLE SANITAIRE

RESUME

L'IRSN et l'InVS collaborent depuis 2003 afin de mettre à disposition des autorités publiques, des professionnels et du public, des données actualisées relatives à l'exposition de la population liée aux actes de diagnostic médical utilisant les rayonnements ionisants. Dans le cadre de cette collaboration, une enquête a été réalisée en 2008/2009 auprès de 50 services de radiologie du secteur hospitalier public. Ce rapport présente les résultats du volet dosimétrique de cette enquête. Pour les types d'actes les plus fréquents (en radiologie conventionnelle et en scanographie) les grandeurs dosimétriques sont analysées afin de proposer des valeurs moyennes de PDS, PDL ou $CTDI_{vol}$ par type d'acte. Celles-ci ont permis le calcul, pour ces types d'actes, des doses moyennes délivrées aux organes situés dans le volume exploré ainsi que celui de la dose efficace moyenne. Compte tenu des limites du concept de dose efficace en radiologie, cet indicateur dosimétrique devrait être complété par la dose délivrée aux organes les plus radiosensibles situés dans le volume exploré.

ABSTRACT

The Institute for Radioprotection and Nuclear Safety (IRSN) and the National Institute for Public Health Surveillance (InVS) have been collaborating since 2003 to provide public French authorities, professionals and public with updated data on medical exposure of the population. Within the framework of this collaboration, a survey has been conducted in 2008 and 2009 in 50 radiology departments of public hospitals. This report presents the results of the dosimetric part of this survey. For the most frequent types of procedure (in conventional radiology and computed tomography) mean values of DAP, DLP and $CTDI_{vol}$ are determined for each type of procedure. They allowed the calculation of the mean dose delivered to the organs localized in the region on interest as well as the mean effective dose. As the concept of effective dose is limited in radiology, it should be completed by other dosimetric indicators, which could be the dose delivered to the most sensitive organs within the explored volume.

MOTS-CLES : radiologie, scanographie, dose efficace, doses aux organes, PDL, PDS

SOMMAIRE

1 INTRODUCTION	5
2 CONTEXTE ET OBJECTIFS	6
3 MATERIEL ET METHODE	7
3.1 METHODE D'ECHANTILLONNAGE ET CONSTITUTION DE L'ECHANTILLON	7
3.1.1 Méthode d'échantillonnage	7
3.1.2 Critères d'inclusion des services dans l'étude	7
3.2 RECUEIL DES DONNEES	8
4 RESULTATS	9
4.1 CENTRES PARTICIPANTS	9
4.2 DONNEES RECUEILLIES PAR TYPE D'ACTE	9
4.2.1 En scanographie : produit dose x longueur (PDL) et indice de dose (CTDI _{vol})	11
4.2.2 En radiologie conventionnelle : produit dose x surface (PDS)	14
4.3 DOSES MOYENNES DELIVREES AUX ORGANES PAR TYPE D'ACTE	18
4.3.1 En scanographie	18
4.3.2 En radiologie conventionnelle	19
4.4 DOSE EFFICACE MOYENNE PAR TYPE D'ACTE	22
4.4.1 Définition de la dose efficace	22
4.4.2 Calcul des doses efficaces moyennes par type d'acte	22
5 DISCUSSION	29
5.1 REPRESENTATIVITE DES DONNEES	29
5.2 DEFINITION DES NRD EN SCANOGRAPHIE : PAR ACQUISITION OU PAR ACTE ?	29
5.3 REPRESENTATIVITE DES PATIENTS DE MORPHOLOGIE « STANDARD », DE 60 A 80 KG	30
6 CONCLUSION	33
7 REFERENCES	35
GLOSSAIRE	36
ANNEXE 1	38
ANNEXE 2	49

1 INTRODUCTION

Les applications médicales des rayonnements ionisants constituent de très loin la principale source d'exposition aux rayonnements ionisants d'origine humaine. Ainsi les actes diagnostiques représentent plus de 97 % de l'exposition d'origine artificielle¹ et près de 26 % de l'exposition totale de la population² [1]. Il est donc important d'estimer régulièrement cette exposition médicale et d'analyser son évolution dans le temps.

La Directive européenne 97/43/EURATOM [2] indique dans son article 12 relatif à l'estimation des doses reçues par la population : « *Les États membres veillent à ce que la répartition des doses individuelles générées lors d'expositions à des fins médicales ... soit déterminée pour la population et pour les groupes de référence concernés de celle-ci, selon que l'État membre le juge nécessaire* ». La révision en cours de la directive 96/29/EURATOM [3] sur les normes de base de radioprotection devrait introduire une exigence supplémentaire : « *Les États membres veillent à ce que la répartition des doses individuelles dues à l'exposition médicale soit déterminée et prenne en compte la répartition selon l'âge et le sexe de la population exposée* ».

Depuis ces dernières années, de nombreuses actions ont été initiées, tant au niveau européen qu'international, afin d'harmoniser les méthodes de recueil des informations et ainsi disposer d'indicateurs fiables, comparables et reproductibles sur l'exposition médicale de la population.

Au niveau national, l'IRSN et l'InVS collaborent depuis 2003 afin de mettre à disposition des pouvoirs publics des informations actualisées sur l'exposition de la population française liée aux actes de diagnostic médical, contribuant à juger de l'efficacité et de la pertinence des dispositions relatives à la radioprotection des patients. Cette collaboration, qui a conduit à la création du système EXPRI (Exposition médicale de la Population aux Rayonnements Ionisants), répond à plusieurs objectifs :

- satisfaire les exigences des directives européennes présentes et futures,
- faire un recensement aussi exhaustif que possible des sources d'informations et de données disponibles (nature et fréquence des actes, et doses associées), à travers la littérature médicale et les bases de données des administrations en charge de la santé,
- réactualiser régulièrement la contribution de l'exposition médicale diagnostique à l'exposition de la population française aux rayonnements ionisants,
- identifier les incertitudes associées à la connaissance de cette exposition et développer des recommandations et actions afin de l'améliorer,
- proposer des indicateurs complémentaires à la dose efficace moyenne annuelle par individu, afin de mieux caractériser l'exposition selon l'âge et le sexe, et *in fine*, ses risques sur la santé.

Dans le cadre de cette collaboration, l'IRSN et l'InVS ont coordonné en 2008/2009 la réalisation d'une enquête³ auprès d'un échantillon de services de radiologie d'établissements publics de santé français.

Après avoir décrit plus précisément le contexte et les objectifs de cette enquête, la méthode mise en œuvre et les résultats obtenus sont présentés et discutés dans ce rapport.

¹ Sans tenir compte des applications thérapeutiques

² L'exposition annuelle moyenne en France résulte de différentes sources d'exposition : le radon (43%), le rayonnement tellurique (hors radon), le rayonnement cosmique et les aliments (30%), l'exposition médicale diagnostique (26%) et les activités humaines (1%) [1].

³ La réalisation de l'enquête a été confiée à la société CEMKA-EVAL, Bourg-la-Reine.

2 CONTEXTE ET OBJECTIFS

L'enquête coordonnée par l'IRSN et l'InVS a été réalisée entre octobre 2008 et juin 2009, auprès d'un échantillon de 50 services de radiologie d'établissements publics ou assimilés, de France, participant au service public hospitalier (CH, CHR, CHU, CLCC et autres), et ayant une activité « Médecine Chirurgie Obstétrique » (MCO).

Elle comprenait deux volets, destinés à estimer respectivement :

- L'activité des services de radiologie du secteur public, par type d'acte (défini selon la Classification Commune des Actes Médicaux, CCAM), selon l'âge et le sexe, pour l'année 2007 : cette estimation a été réalisée, de façon rétrospective, à partir d'une extraction des données disponibles dans les services via les logiciels de gestion de l'activité. L'extraction a concerné l'intégralité de l'activité de l'année civile 2007.

Ces données ont été acquises en complément de celles relatives au secteur libéral pour 2007, étudiées à partir de l'Echantillon Généraliste des Bénéficiaires de l'Assurance maladie. **L'ensemble de ces éléments a permis à l'IRSN et l'InVS de mettre à jour, pour l'année 2007, les données relatives à l'exposition de la population française aux rayonnements ionisants liée aux actes de diagnostic médical [4].**

- Une dose efficace⁴ « moyenne » délivrée au patient par type d'acte : cette estimation a été réalisée à partir du recueil des informations dosimétriques associées à chaque acte de radiologie conventionnelle et de scanographie effectué dans chaque service participant. Ce recueil prospectif a porté sur l'activité d'une semaine, fin 2008 ou début 2009 selon les services.

Le second volet, qui fait l'objet de ce rapport, doit permettre d'améliorer les connaissances sur les pratiques radiologiques françaises, en termes de dose délivrée. Il a pour objectifs :

- l'analyse des données dosimétriques recueillies et leur comparaison avec les niveaux de référence diagnostiques (NRD) recommandés dans le rapport de l'IRSN présentant le bilan des données au plan national transmises à l'IRSN pour les années 2007 et 2008 [5],
- le calcul des doses « moyennes » délivrées aux organes situés dans la zone anatomique explorée, par type d'acte,
- l'estimation de la dose efficace « moyenne » pour chaque type d'acte et la comparaison de cette valeur, reflet de la pratique radiologique actuelle, avec la valeur de référence utilisée dans le rapport IRSN/InVS de 2010, calculées sur la base des recommandations de la Société Française de Radiologie [6].

Aucune donnée nominative - ou indirectement nominative - relative aux patients n'a été collectée au sein des services enquêtés. L'intégralité des données recueillies a été analysée et présentée de façon anonyme à l'égard des services enquêtés. Seul le service concerné peut avoir accès à ses données.

⁴ Les différentes grandeurs dosimétriques utilisées dans ce rapport sont définies dans le glossaire

3 MATERIEL ET METHODE

3.1 METHODE D'ECHANTILLONNAGE ET CONSTITUTION DE L'ECHANTILLON

Dans un objectif de représentativité de l'activité de radiologie du secteur public en France, un échantillon de 50 services de radiologie générale a été tiré au sort au sein des établissements publics et assimilés répondant aux critères d'inclusion souhaités.

3.1.1 METHODE D'ECHANTILLONNAGE

La méthode d'échantillonnage suivante a été retenue :

- constitution d'une base initiale complète des services de radiologie des établissements MCO publics et assimilés à partir de la base PMSI 2005 (Programme de Médicalisation des Systèmes d'Information),
- réduction de cette base aux établissements MCO de France métropolitaine (pour des raisons pratiques, une visite était prévue dans chaque service) disposant d'au moins 100 lits ou ayant une activité supérieure à 1 000 séjours MCO par an (représentatifs de la pratique française dans le secteur public),
- tirage au sort de 180 établissements à partir de cette base réduite, à l'aide du logiciel SAS[®] [7],
- confrontation de la liste de 180 établissements au site PLATINES⁵ afin de constituer un échantillon de 114 établissements disposant d'au moins un scanner et d'au moins 100 lits (ou ayant une activité supérieure à 1 000 séjours MCO par an). Cet échantillon devait permettre d'obtenir 50 accords de participation (sur la base d'une estimation a priori d'un taux d'acceptation de l'étude et de respect des critères d'inclusion de l'ordre de 50 %).

3.1.2 CRITERES D'INCLUSION DES SERVICES DANS L'ETUDE

Les services enquêtés devaient participer aux deux volets de l'étude présentés au paragraphe 2. Un service a donc été considéré comme éligible pour l'enquête s'il répondait aux critères d'inclusion suivants :

- présence dans le service d'une informatique de gestion permettant l'accès aux données individuelles d'activité de l'année 2007, selon la classification CCAM,
- présence d'au moins une salle de radiologie conventionnelle disposant d'une table polyvalente avec possibilité de mesure du produit dose x surface (PDS),
- présence d'un scanner dans le service délivrant une information dosimétrique : produit dose x longueur (PDL) et/ou indice de dose scanographique dans le volume (IDSV ou CTDI_{vol}).

Les 50 premiers services vérifiant ces critères d'inclusion, et acceptant de participer, ont été inclus dans l'étude. Pour les établissements possédant plusieurs services de radiologie, un seul service a été retenu. Par ailleurs, au sein d'un établissement, le périmètre de l'étude était limité au service de radiologie, à l'exclusion des autres services pouvant réaliser des actes d'imagerie (cardiologie, neurologie, etc.).

⁵ Plateforme d'informations sur les établissements de santé (<http://www.platines.sante.gouv.fr>)

3.2 RECUEIL DES DONNEES

La mise en place de cette étude a nécessité la désignation dans chaque service d'un correspondant « référent » pour l'étude. Pour chaque acte scanographique ou radiologique réalisé, les informations recueillies étaient les suivantes : date de réalisation de l'acte, âge, sexe, poids, taille du patient, code CCAM de l'acte et, selon la modalité d'imagerie :

- en scanographie : nombre d'acquisitions, $CTDI_{vol}$ et PDL pour chaque acquisition,
- en radiologie conventionnelle : PDS complet de l'acte, nombre de clichés et mention, le cas échéant, de l'utilisation de la scopie de centrage.

Deux registres permettant ce recueil d'information, l'un pour la radiologie conventionnelle et l'autre pour la scanographie, ont été remis à chaque service participant. Les données recueillies ont ensuite été saisies dans une base informatique et vérifiées.

Un recueil prospectif a été réalisé pendant une semaine. Il a porté dans chaque service sur un seul scanner et sur une seule table de radiologie conventionnelle équipée d'un appareil de mesure du PDS. En cas de données manquantes ou incohérentes, le référent du service concerné a été contacté pour obtenir les compléments d'informations.

4 RESULTATS

4.1 CENTRES PARTICIPANTS

Le taux de réponse spontanée des établissements sollicités pour participer à l'étude a été de 52 % (59 coupons réponses reçus sur 114 envoyés). L'échantillon de 50 services a été constitué après avoir contacté 96 établissements (avec éventuellement une relance téléphonique).

Le tableau I présente les services ayant participé au volet dosimétrique de l'enquête, la marque des appareils de radiologie et de scanographie sur lesquels les données ont été relevées, ainsi que le type de données ayant pu être recueillies auprès de chacun des services.

Il peut être noté que les données dosimétriques n'ont pas été recueillies :

- à l'Institut Curie et aux CH de Nevers et de Bergerac pour la radiologie,
- au CHU Jean Verdier : cet établissement a été contacté en fin d'étude suite à la défection tardive d'un autre établissement initialement volontaire, seul le volet de l'enquête relatif à l'activité du service en 2007 a pu alors être réalisé.

4.2 DONNEES RECUEILLIES PAR TYPE D'ACTE

Afin d'analyser les distributions des différentes grandeurs dosimétriques, les données dosimétriques transmises par les services ont été regroupées :

- par types d'acte (par code CCAM),
- par catégories d'âge : adulte (plus de 15 ans) et enfants,
- par classes de poids chez l'enfant : 5 kg (± 2), 10 kg (± 3), 20 kg (± 3), 30 kg (± 3). Ces classes de poids ont été retenues afin de permettre une comparaison des résultats avec les NRD définis chez l'enfant.

Un type d'acte donné, pour une catégorie d'âge et une classe de poids données, n'a été étudié que si le nombre total de données afférent était supérieur ou égal à 50.

Tableau I : Services de radiologie inclus dans l'étude, marques des appareils et types de données recueillies par service

Etablissement	Région	Marque de l'appareil		Recueil données dosimétriques*	
		Radiologie conventionnelle	Scanographie	Radiologie conventionnelle	Scanographie
CH Mulhouse	Alsace	Siemens	Siemens	X	X
CH Libourne	Aquitaine	non communiqué	Toshiba	X	X
CH Dax	Aquitaine	General Electric	General Electric	X	X
CH Bergerac	Aquitaine	-	General Electric	ND	X
CH Aurillac	Auvergne	Philips	Siemens	X	X
CHU Caen	Basse Normandie	General Electric	Philips	X	X
CH Auxerre	Bourgogne	Siemens	General Electric	X	X
CH Montceau-les-Mines	Bourgogne	Siemens	General Electric	X	X
CH Nevers	Bourgogne	-	Siemens	ND	X
CH Vitré	Bretagne	Siemens	General Electric	X	X
CH Plœrmel	Bretagne	Siemens	Siemens	X	X
CH Montargis	Centre	Siemens	General Electric	X	X
CH Châteauroux	Centre	Siemens	Philips	X	X
CH Vitry Le François	Champagne Ardennes	Siemens	General Electric	X	X
CRLCC Becquerel - Rouen	Haute Normandie	General Electric	General Electric	X	X
CHU Rouen	Haute Normandie	Siemens	General Electric	X	X
CHI de Créteil	Ile de France	Numerix	General Electric	X	X
La Pitié-Salpêtrière APHP	Ile de France	Primax	Philips	X	X
Hop. Bécélère APHP Clamart	Ile de France	Siemens	General Electric	X	X
CH d'Argenteuil	Ile de France	Siemens	Toshiba	X	X
CRLCC Institut Curie - Paris	Ile de France	-	General Electric	ND	X
Hop. Saint-Louis APHP	Ile de France	Philips	Philips	X	X
CH Longjumeau	Ile de France	Primax	General Electric	X	X
Hop. Bichat APHP	Ile de France	Philips	General Electric	X	X
CH Coulommiers	Ile de France	Apelem	General Electric	X	X
CHU Jean Verdier - APHP	Ile de France	-	-	ND	ND
CH Narbonne	Languedoc Roussillon	General Electric	General Electric	X	X
CH Carcassonne	Languedoc Roussillon	Trophy	Toshiba	X	X
CH Remiremont	Lorraine	Philips	Siemens	X	X
CRLCC - Toulouse	Midi Pyrénées	General Electric	non communiqué	X	X
CH Rodez	Midi Pyrénées	Primax	Philips	X	X
CHR Toulouse	Midi Pyrénées	Philips	Siemens	X	X
CH Villeneuve/Lot	Midi Pyrénées	Siemens	Philips	X	X
CH Denain	Nord Pas de calais	Siemens	Siemens	X	X
Hop. St Joseph - Marseille	PACA	Philips	General Electric	X	X
CH Aubagne	PACA	Siemens	Toshiba	X	X
CH Salon	PACA	Philips	Siemens	X	X
Hôpital Archet - Nice	PACA	Siemens	General Electric	X	X
Hôpital Pasteur - Nice	PACA	Philips	General Electric	X	X
CH Draguignan	PACA	Philips	Toshiba	X	X
CHRU Angers	Pays de la Loire	non communiqué	non communiqué	X	X
CH La Roche Sur Yon	Pays de la Loire	Siemens	Philips	X	X
CH Sables d'Olonne	Pays de la Loire	Primax	Philips	X	X
CHU Nantes Laennec	Pays de la Loire	non communiqué	General Electric	X	X
CHU Amiens	Picardie	Apelem	General Electric	X	X
CH Abbeville	Picardie	Siemens	Siemens	X	X
CH Cognac	Poitou Charentes	Philips	Siemens	X	X
Hop. La Croix-Rousse - Lyon	Rhône-Alpes	Siemens	Philips	X	X
CH Montélimar	Rhône-Alpes	Philips	Toshiba	X	X
CHI Annemasse Bonneville	Rhône-Alpes	non communiqué	Philips	X	X

*ND : non disponible

4.2.1 EN SCANOGRAPHIE : PRODUIT DOSE X LONGUEUR (PDL) ET INDICE DE DOSE (CTDI_{VOL})

Compte tenu du nombre de données recueillies, l'étude a porté sur les types d'actes scanographiques suivants, et pour des patients adultes uniquement :

- Scanographie du crâne et de son contenu avec injection de produit de contraste (code ACQH003),
- Scanographie du crâne et de son contenu sans injection de produit de contraste (code ACQK001),
- Scanographie du thorax avec injection de produit de contraste (code ZBQH001),
- Scanographie du thorax sans injection de produit de contraste (code ZBQK001),
- Scanographie de l'abdomen et du pelvis avec injection de produit de contraste (code ZCQH001),
- Scanographie de l'abdomen et du pelvis sans injection de produit de contraste (code ZCQK004),
- Scanographie d'un segment de la colonne vertébrale sans injection de produit de contraste (code LHQK001),
- Scanographie du thorax, de l'abdomen et du pelvis avec injection de produit de contraste (codes ZCQH001 + ZBQH001),
- Scanographie du thorax et de l'abdomen avec injection de produit de contraste (codes ZCQH002 + ZBQH001),
- Angioscanner thoracique : Scanographie des vaisseaux du thorax et/ou du cœur (code ECQH010).

Pour chacun de ces types d'acte et pour des patients adultes, l'analyse a porté sur les informations et données dosimétriques suivantes :

- Nombre moyen d'acquisitions par type d'acte (n_{moy}),
- PDL par acquisition et PDL cumulé par acte, c'est-à-dire pour le même patient et le même jour,
- CTDI_{vol} par acquisition et CTDI_{vol} cumulé par acte.

En scanographie, la morphologie du patient influe sur les paramètres d'acquisition, et donc sur la dose délivrée. Pour tous les types d'actes cités ci-dessus, mis à part les scanners crâniens pour lesquels la morphologie du patient est de moindre influence, l'analyse des PDL et CTDI_{vol} a été restreinte aux actes effectués sur des patients de poids compris entre 60 et 80 kg. Cette méthode permet de disposer d'un ensemble de données plus homogène et est analogue à celle retenue pour le recueil des données relatives aux NRD.

Les 75° centiles des distributions des valeurs de PDL par acquisition et de CTDI_{vol} par acquisition sont comparés aux NRD correspondants actuellement en vigueur⁶ et aux valeurs de NRD proposées par l'IRSN dans son rapport de 2010 portant sur le bilan des données reçues en 2007 et 2008 [5].

Le tableau II présente, par type d'acte, le nombre de services ayant transmis des données, la taille de l'échantillon, les valeurs moyennes et les 75° centiles des distributions des PDL par acquisition et des PDL cumulés par acte, ainsi que celles des distributions des CTDI_{vol} par acquisition et des CTDI_{vol} cumulés par acte. Les valeurs des NRD (en vigueur et/ou recommandées) sont également présentées dans ce tableau.

Les figures 1 à 9 (annexe 1) présentent, pour chaque type d'acte, la distribution des PDL par acquisition (a) et des PDL par acte complet (b). Les figures c et d présentent, par type d'acte et par service, l'étendue des valeurs de CTDI_{vol} par acquisition d'une part, et de CTDI_{vol} cumulé par acte d'autre part.

⁶ Définis dans l'arrêté du 12 février 2004 [8]

Pour l'angioscanner thoracique (figure 10 en annexe 1), l'analyse n'a porté que sur les valeurs de PDL cumulé par acte. En effet, les protocoles utilisés pour ce type d'acte comportent le plus souvent des acquisitions de contrôle (ou de préparation) préalables à l'acquisition diagnostique. Ces acquisitions préalables sont très courtes (quelques centimètres le plus souvent). Les PDL correspondant ne sont donc pas comparables aux PDL des acquisitions diagnostiques et une analyse globale de tous les PDL par acquisition (phases préparatoires et diagnostiques) ne serait pas interprétable. Par ailleurs, le cumul des CTDI_{vol} par acte (phases préparatoires et diagnostiques) n'a pas de sens puisque les volumes exposés ne sont pas identiques dans ces deux phases.

L'analyse du tableau II et des figures 1 à 10 de l'annexe 1 montre que :

- Les 75° centiles des distributions de CTDI_{vol} par acquisition sont cohérents avec les NRD proposés par l'IRSN (Roch P., 2010), avec des écarts inférieurs à 10 % pour l'ensemble des types d'acte étudiés.
- Les 75° centiles des distributions de PDL par acquisition sont cohérents avec les NRD proposés avec des écarts inférieurs à 10 % pour les types d'actes étudiés [5], à l'exception du scanner thoracique avec injection (valeur relevée supérieure de 17 % au NRD), du scanner thoraco-abdomino-pelvien (valeur relevée supérieure de 14 % au NRD) et du scanner d'un segment de la colonne vertébrale (valeur relevée supérieure de 63 % au NRD).

A l'exception de ce dernier type d'acte (code LHQK001), les écarts observés avec les NRD peuvent s'expliquer :

- par le plus faible nombre de données recueillies dans cette étude par rapport aux données transmises à l'IRSN dans le cadre de la mise à jour des NRD,
- par le fait que les patients présentant les pathologies les plus lourdes et les états de santé les plus dégradés sont préférentiellement pris en charge par les établissements hospitaliers publics, cadre de cette étude, alors que les données relatives aux NRD sont transmises par l'ensemble des services de radiologie (secteurs public et privé confondus).

Dans le cas du scanner d'un segment de la colonne vertébrale (code LHQK001), les écarts constatés avec les NRD proposés par l'IRSN pour le scanner du rachis lombaire sont importants : +11 % pour le CTDI_{vol,75} et +63 % pour le PDL₇₅. Cet écart peut s'expliquer par le fait que l'intitulé du code CCAM ne spécifie pas le segment de la colonne vertébrale qui est examiné. De plus, il n'existe pas de code CCAM pour l'exploration de plusieurs segments de la colonne vertébrale. Sous le code LHQH001 peuvent vraisemblablement figurer des examens scanographiques d'un ou plusieurs segments de la colonne vertébrale.

- Les scanners du crâne sans injection, du thorax (avec ou sans injection) et de la colonne vertébrale sans injection ne comportent le plus souvent qu'une acquisition par acte (n_{moy} inférieur à 1,1 pour ces types d'actes). Par contre, le nombre moyen d'acquisitions par acte pour les autres types d'actes étudiés est significativement supérieur à 1 : il est égal à 1,3 pour le scanner TAP avec injection, 1,5 pour le scanner du crâne avec injection, et atteint 1,8 pour le scanner abdomino-pelvien avec injection. Pour ces trois types d'acte, une acquisition sans injection peut être réalisée préalablement à une acquisition avec injection, bien qu'un seul code CCAM (celui de l'acte avec injection) figure dans les registres transmis par les services.

Tableau II : Valeurs moyennes et 75° centiles des distributions des PDL et des CTDI_{vol} par acquisition, des PDL et des CTDI_{vol} cumulés pour un acte complet, par type d'acte scanographique. Comparaison avec les NRD en vigueur (*en italique : proposition de nouveaux NRD [5]*).

Acte scanographique (code CCAM)	Nombre de services (N)	Taille de l'échantillon	PDL			CTDI _{vol}			Nombre moyen d'acquisitions par acte (n _{moy})
			PDL _{moy} (mGy.cm)	PDL _{75°} (mGy.cm)	NRD (mGy.cm)	CTDI _{vol,moy} (mGy)	CTDI _{vol,75°} (mGy)	NRD (mGy)	
Crâne et son contenu, avec injection de produit de contraste (ACQH003)	46	par acquisition (N ₁ = 720)	967	1082	1050	56	61	65	1,5
		par acte (N ₂ = 494)	1408	1816	-	82	109	-	
Crâne et son contenu, sans injection de produit de contraste (ACQK001)	47	par acquisition (N ₁ = 1158)	980	1107	1050	57	65	65	1,03
		par acte (N ₂ = 1121)	1013	1134	-	59	69	-	
Thorax avec injection de produit de contraste (ZBQH001)	49	par acquisition (N ₁ = 410)	450	555	500 (475)	12,2	14,4	15	1,06
		par acte (N ₂ = 387)	475	568	-	12,9	14,7	-	
Thorax sans injection de produit de contraste (ZBQK001)	47	par acquisition (N ₁ = 222)	402	487	500 (475)	11,5	14,3	15	1,03
		par acte (N ₂ = 213)	415	503	-	11,9	14,8	-	
Abdomen et pelvis avec injection de produit de contraste (ZCQH001)	48	par acquisition (N ₁ = 932)	643	763	800	15,4	18,0	17	1,8
		par acte (N ₂ = 522)	1146	1493	-	27,6	36,0	-	
Abdomen et pelvis sans injection de produit de contraste (ZCQK004)	37	par acquisition (N ₁ = 159)	626	777	800	14,3	18,0	17	1,14
		par acte (N ₂ = 140)	711	839	-	16,2	19,1	-	
Segment de la colonne vertébrale sans injection de produit de contraste (LHQK001)	39	par acquisition (N ₁ = 239)	907	1143	700*	40,9	50,1	45*	1,0
		par acte (N ₂ = 239)	907	1143	-	40,9	50,1	-	
Thorax, abdomen et pelvis avec injection de produit de contraste (ZCQH001+ ZBQH001)	30	par acquisition (N ₁ = 277)	925	1142	1000	18,5	21,1	20	1,3
		par acte (N ₂ = 208)	1232	1592	-	25,8	31,8	-	
Thorax et abdomen avec injection de produit de contraste (ZCQH002+ ZBQH001)	11	par acquisition (N ₁ = 99)	659	751	-	14,9	16	-	1,3
		par acte (N ₂ = 78)	836	961	-	18,9	21,2	-	
Vaisseaux du thorax et/ou du cœur [Angioscanner thoracique] (code ECQH010)	32	par acte (N ₂ = 99)	835	1122	-	so	so	so	so

* pour le rachis lombaire

Par ailleurs, une analyse détaillée des registres transmis montre que certains services associent fréquemment, pour un même patient et au cours d'un même acte, une acquisition thoraco-abdominale (code « ZBQH001+ZCQH002 ») et une acquisition abdomino-pelvienne (code ZCQH001), ou encore un scanner des vaisseaux thoraciques (angioscanner, code ECQH010) et une acquisition thoracique (ZBQH001). Les différents codes ayant été analysés indépendamment, les résultats de l'étude ne reflètent pas la dose réellement délivrée pour les patients ayant bénéficié de ces actes multiples associant des codes CCAM différents.

La dose effectivement reçue par le patient est bien évidemment celle associée à l'acte complet, et non la dose par acquisition.

- La distribution des $CTDI_{vol}$ présente une dispersion importante des valeurs moyennes inter-services, d'un facteur généralement compris entre 3 et 4 selon les types d'acte. Ce résultat est surprenant puisque cette étude a porté sur des patients de morphologie comparable et sur des types d'acte fréquents faisant l'objet d'une procédure décrite dans le guide de la SFR [6].

Par ailleurs, l'utilisation d'un protocole standardisé par type d'acte au sein d'un même service doit normalement conduire à une faible dispersion des valeurs de $CTDI_{vol}$ pour un type d'acte donné et des patients de morphologie comparable. Ceci n'est pas vérifié pour certains services (figures 1c à 9c), ce qui tend à indiquer, dans certains cas, une hétérogénéité des pratiques au sein d'un même service.

Les 75° centiles des distributions de $CTDI_{vol}$ et de PDL par acquisition sont cohérents avec les NRD proposés par l'IRSN pour les types d'actes scanographiques explorant le crâne, le thorax, la zone abdomino-pelvienne et la zone thoraco-abdomino-pelvienne.

Le nombre moyen d'acquisition par acte scanographique est compris entre 1,1 et 1,8 selon les types d'actes étudiés. De plus, certains services de radiologie associent fréquemment, au cours du même examen, des acquisitions correspondant à des codes CCAM différents. La dose réellement reçue par le patient lors de son examen est la somme des doses liées à chaque acquisition.

4.2.2 EN RADIOLOGIE CONVENTIONNELLE : PRODUIT DOSE X SURFACE (PDS)

Compte tenu du nombre de données recueillies, l'étude a porté sur les types d'actes radiologiques suivants :

- Chez l'enfant :
 - radiographie du thorax (code ZBQK002), enfant de 5 kg (± 2),
 - radiographie du thorax (code ZBQK002), enfant de 10 kg (± 3),
 - radiographie du thorax (code ZBQK002), enfant de 20 kg (± 3).
- Chez l'adulte :
 - radiographie du thorax (code ZBQK002),
 - radiographie du thorax avec radiographie du squelette du thorax (code LJQK002),
 - radiographie de l'abdomen sans préparation (code ZCQK002),
 - radiographie du segment lombaire de la colonne vertébrale selon 1 à 3 incidences (LFQK002),
 - radiographie du segment cervical de la colonne vertébrale selon 3 incidences ou plus (code LDQK002),
 - radiographie de la ceinture scapulaire et/ou de l'épaule selon 1 ou 2 incidences (code MAQK003),

- radiographie de la main ou de doigt (code MDQK001),
- radiographie du poignet selon 1 ou 2 incidences (code MGQK003),
- radiographie du coude selon 1 ou 2 incidences (code MFQK002),
- radiographie unilatérale du pied selon 1 à 3 incidences (code NDQK001),
- radiographie de la cheville selon 1 à 3 incidences (code NGQK001),
- radiographie unilatérale du genou selon 1 ou 2 incidences (code NFQK001),
- radiographie du genou selon 3 ou 4 incidences (code NFQK003),
- radiographie de la ceinture pelvienne [du bassin] selon 1 incidence (code NAQK015),
- radiographie de l'articulation coxofémorale selon 1 ou 2 incidences (code NEQK010),
- radiographie du crâne et/ou du massif facial selon 1 ou 2 incidences (code LAQK003).

Dans les cas de la radiographie du thorax chez l'enfant de 5 kg et de 20 kg, ainsi que celui de la radiographie du thorax avec radiographie du squelette du thorax chez l'adulte (code LJQK002), les nombres d'actes totaux sont inférieurs à 50. L'analyse a néanmoins été réalisée, peu de données bibliographiques étant disponibles pour ces types d'actes et ces classes de poids.

Pour chacun des types d'acte mentionnés et pour la tranche d'âge considérée, l'analyse a porté sur les informations et données dosimétriques suivantes :

- PDS pour l'acte complet, incluant les clichés radiologiques et la scopie de centrage lorsqu'elle a été utilisée,
- nombre moyen de clichés radiologiques par type d'acte (n_{moy}),
- fréquence d'utilisation de la scopie de centrage par type d'acte.

En radiologie conventionnelle, la morphologie du patient influe sur les paramètres d'acquisition, et donc sur la dose délivrée. Pour tous les types d'actes cités ci-dessus et réalisés chez l'adulte, mis à part les radiographies des extrémités et du crâne pour lesquels la morphologie du patient est de moindre influence, l'analyse a été restreinte, comme en scanographie, aux actes effectués sur des patients de poids compris entre 60 et 80 kg. Cette méthode permet de disposer d'un ensemble de données plus homogène et est analogue à celle retenue pour mettre à jour les NRD.

Le 75° centile de la distribution des valeurs de PDS a été comparé au NRD correspondant recommandé par l'IRSN lorsqu'il existe [5]. Cette comparaison est cependant délicate puisque les NRD sont définis pour un cliché radiologique unique alors que les PDS présentés dans cette étude correspondent à des actes complets (un ou plusieurs clichés radiologiques et scopie éventuelle).

Le tableau III présente, pour chacun des types d'acte radiologique étudiés, le nombre de services ayant transmis des données, la taille de l'échantillon, la valeur moyenne et le 75° centile de la distribution des PDS pour l'acte complet, le nombre moyen de clichés et la fréquence d'utilisation de la scopie pour ce type d'acte. Les valeurs des NRD recommandées sont également présentées dans ce tableau pour chacun des types d'acte étudié.

Les distributions des PDS de chaque type d'acte figurent en annexe 2.

Tableau III : Valeurs moyennes et 75° centiles des distributions des PDS pour un acte complet, pour chacun des types d'acte radiologique étudié. Comparaison avec les NRD recommandés [5], ceux-ci étant définis pour un cliché unique.

Acte radiologique (code CCAM)	Nombre de services	Nombre d'actes	PDS _{moy} (mGy.cm ²)	PDS _{75°} (mGy.cm ²)	NRD (mGy.cm ²)	Nombre moyen de clichés n _{moy}	Nombre maximal de clichés n _{max}	Fréquence d'utilisation de la scopie
Actes pédiatriques								
Radiographie du thorax, enfant de 5 ± 2 kg (ZBQK002)	10	36	19,1	26,0		1,1	2	26 %
Radiographie du thorax, enfant de 10 ± 3 kg (ZBQK002)	16	78	38,5	37,8	30	1,1	2	38 %
Radiographie du thorax, enfant de 20 ± 3 kg (ZBQK002)	13	39	52,7	56,0	50	1,2	2	41 %
Actes « adultes »								
Radiographie du thorax* (code ZBQK002)	38	897	280	305	250 (face) 900 (profil)	1,2	8	27 %
Radiographie du thorax avec radiographie du squelette du thorax* (code LJQK002)	12	35	2798	2684		3,1	7	46 %
Radiographie de l'abdomen sans préparation* (code ZCQK002)	33	200	4517	5404	6000	1,4	6	51 %
Radiographie du segment lombaire de la colonne vertébrale selon 1 à 3 incidences* (LFQK002)	22	54	11221	13721	4500 (face) 8000 (profil)	2,7	7	65 %
Radiographie du segment cervical de la colonne vertébrale selon 3 incidences ou plus* (code LDQK002)	22	55	1180	1644	450 (face, profil ou oblique)	3,9	7	71 %
Radiographie de la ceinture scapulaire et/ou de l'épaule selon 1 ou 2 incidences* (code MAQK003)	29	104	1264	1761		2,2	12	75 %
Radiographie de la ceinture pelvienne [du bassin] selon 1 incidence* (code NAQK015)	24	82	4048	5565	7000	1,2	6	62 %
Radiographie de l'articulation coxofémorale selon 1 ou 2 incidences* (code NEQK010)	22	57	2341	2661	2000	1,8	3	63 %
Radiographie du crâne et/ou du massif facial selon 1 ou 2 incidences (code LAQK003)	24	90	900	1112		1,7	3	53 %
Radiographie de la main ou de doigt (code MDQK001)	25	192	58,3	69		2,1	5	3 %

*patients adultes de 60 à 80 kg

Tableau III (suite)

Acte radiologique (code CCAM)	Nombre de services	Nombre d'actes	PDS _{moy} (mGy.cm ²)	PDS _{75°} (mGy.cm ²)	NRD (mGy.cm ²)	Nombre moyen de clichés n _{moy}	Nombre maximal de clichés n _{max}	Fréquence d'utilisation de la scopie
Radiographie du poignet selon 1 ou 2 incidences (code MGQK003)	23	147	90	110		2,0	4	2 %
Radiographie du coude selon 1 ou 2 incidences (code MFQK002)	17	54	145	156		2,0	4	2 %
Radiographie unilatérale du pied selon 1 à 3 incidences (code NDQK001)	26	148	191	257		2,1	4	7 %
Radiographie de la cheville selon 1 à 3 incidences (code NGQK001)	29	161	281	335		2,1	4	9 %
Radiographie unilatérale du genou selon 1 ou 2 incidences (code NFQK001)	38	168	730	922		2,0	4	57 %
Radiographie du genou selon 3 ou 4 incidences (code NFQK003)	24	78	1089	1547		3,0	6	55 %

*patients adultes de 60 à 80 kg

Le tableau III montre que :

- Les 75° centiles des distributions des PDS pour les actes étudiés sont cohérents avec les NRDs recommandés, en tenant compte du fait que les PDS relevés correspondent à l'acte complet (un ou plusieurs clichés et utilisation éventuelle de la scopie de centrage), alors que le NRD est établi pour un cliché unique. En effet, les valeurs obtenues en divisant les 75° centiles des distributions des PDS par le nombre moyen de clichés (n_{moy}) sont inférieures au NRD associé au type d'acte (à l'exception de la radiographie du thorax chez l'enfant de 10 kg).
- Pour les radiographies de l'abdomen sans préparation (code ZCQK002) et du bassin (code NAQK015), les 75° centiles des PDS relevés pour l'acte complet (en moyenne respectivement 1,4 et 1,2 cliché et utilisation de la scopie dans 51 % et 62 % des cas) sont inférieurs aux NRD pour ces actes (respectivement 5404 mGy.cm² vs 6000 mGy.cm² et 5565 mGy.cm² vs 7000 mGy.cm²).
- Le nombre moyen de clichés réalisés est cohérent avec l'intitulé du code CCAM pour l'ensemble des actes étudiés.
- La scopie de centrage est utilisée dans 50 à 75 % des cas pour l'ensemble des actes étudiés, à l'exception de la radiographie du thorax (scopie utilisée dans 27 % des cas chez l'adulte et dans 25 à 40 % des cas chez l'enfant) et des radiographies des extrémités (scopie utilisée dans moins de 10 % des cas).

En radiologie conventionnelle, les 75° centiles des distributions des PDS pour les actes étudiés sont cohérents avec les NRDs recommandés (voire inférieur au NRD pour les radiographies de l'abdomen sans préparation et du bassin chez l'adulte), en tenant compte du fait que les PDS relevés correspondent à l'acte complet, alors que le NRD est établi pour un cliché unique.

4.3 DOSES MOYENNES DELIVREES AUX ORGANES PAR TYPE D'ACTE

A partir des PDL et des $CTDI_{vol}$ moyens par acte en scanographie ou des PDS moyens par acte en radiologie conventionnelle, il est possible de calculer les doses moyennes délivrées aux organes situés dans ou proche de la zone anatomique explorée ainsi qu'à d'autres organes d'intérêt.

4.3.1 EN SCANOGRAPHIE

Les doses moyennes délivrées ont été calculées pour :

- les organes de radiosensibilité élevée⁷ situés dans, ou à proximité, du volume exploré,
- l'utérus, cette dose permettant d'estimer la dose reçue par l'embryon/le fœtus chez une femme enceinte en début de grossesse.

Les calculs ont été réalisés, pour un patient de morphologie standard⁸, à l'aide du logiciel CTE_{Expo} V1.6 [9], à partir des PDL et $CTDI_{vol}$ moyens déterminés au paragraphe 4.2.1 et des valeurs de haute tension recommandées dans les procédures de la SFR [6], pour différentes installations de scanographie (marques et modèles). Les doses moyennes calculées sont présentées dans le tableau IV.

Compte tenu des réserves émises sur les valeurs de PDL et de $CTDI_{vol}$ relevées pour le scanner de la colonne vertébrale, les calculs de dose aux organes n'ont pas été réalisés pour ce type d'acte.

En scanographie, la dose est délivrée de façon assez homogène dans le volume exploré. En première approximation, le $CTDI_{vol}$ représente la dose délivrée en tout point de ce volume. En dehors du volume exploré, la dose est liée au rayonnement diffusé incident et au rayonnement de fuite de l'installation scanographique d'une part, et au rayonnement diffusé à l'intérieur du patient d'autre part. Elle diminue quand la distance avec la zone explorée augmente. Par exemple, dans le cas d'un scanner abdomino-pelvien, la dose reçue par les testicules, situés en dehors du volume exploré mais en limite de celui-ci, est égale à environ 50 % de la dose reçue par les organes situés au centre du volume exploré. Si on s'intéresse à la dose reçue par les seins lors de ce type d'acte, elle n'est plus que de l'ordre de 10 % de la dose au centre du volume exploré.

En scanographie, la dose est délivrée de façon assez homogène dans le volume exploré. En première approximation, le $CTDI_{vol}$ représente la dose délivrée en tout point de ce volume. Pour les types d'acte étudiés, les doses délivrées aux organes dans le volume exploré varient de 20 à 85 mGy.

La dose délivrée en dehors du volume exploré, liée au rayonnement diffusé, diminue quand la distance avec la région anatomique explorée augmente. Par exemple, pour un scanner abdomino-pelvien, la dose délivrée en bord de champ (aux testicules) et à environ 10 cm de celui-ci (aux seins) représente respectivement 50 % et 10 % de la dose délivrée dans le volume exploré.

⁷ Organes pour lesquels un facteur de pondération tissulaire a été défini par la CIPR dans sa publication 103

⁸ 1,60 mètre et 60 kg pour la femme et 1,70 mètre et 70 kg pour l'homme

Tableau IV : Doses moyennes aux organes pour un acte scanographique complet chez l'adulte (60 à 80 kg), calculées à partir des PDL_{moy} et des CTDI_{vol,moy} déterminés au paragraphe 4.2.1, à l'aide du logiciel CTExpo V1.6.

Acte scanographique complet (code CCAM)	PDL _{moy} (mGy.cm)	CTDI _{vol,moy} (mGy)	D _{moy} aux organes par acte	
			Organe	Dose (mGy)
Crâne et son contenu, avec injection de produit de contraste (ACQH003) (n _{moy} = 1,5 acq. / exam.)	1408	82	Cerveau	70
			Cristallin	85
			Thyroïde ⁽¹⁾	10
			Seins ⁽¹⁾	< 0,1
			Utérus ⁽¹⁾	< 0,1
Crâne et son contenu, sans injection de produit de contraste (ACQK001) (n _{moy} = 1,03 acq. / exam.)	1013	59	Cerveau	50
			Cristallin	60
			Thyroïde ⁽¹⁾	7
			Seins ⁽¹⁾	< 0,1
			Utérus ⁽¹⁾	< 0,1
Thorax avec injection de produit de contraste (ZBQH001) (n _{moy} = 1,06 acq. / exam.)	475	12,9	Seins	20
			Organes situés dans la zone explorée	20
			Utérus	0,1
			Estomac ⁽¹⁾	8
Thorax sans injection de produit de contraste (ZBQK001) (n _{moy} = 1,03 acq. / exam.)	415	11,9	Seins	20
			Organes situés dans la zone explorée	20
			Utérus	0,1
			Estomac ⁽¹⁾	7
Abdomen et pelvis avec injection de produit de contraste (ZCQH001) (n _{moy} = 1,8 acq. / exam.)	1146	27,6	Utérus	35
			Ovaires	35
			Organes situés dans la zone explorée	35
			Seins	4
			Testicules ⁽¹⁾	15
Abdomen et pelvis sans injection de produit de contraste (ZCQK004) (n _{moy} = 1,14 acq. / exam.)	711	16,2	Seins	2
			Utérus	20
			Ovaires	20
			Organes situés dans la zone explorée	20
			Testicules ⁽¹⁾	10
Thorax, abdomen et pelvis avec injection de produit de contraste (ZCQH001+ ZBQH001) (n _{moy} = 1,14 acq. / exam.)	1232	25,8	Seins	30
			Utérus	20
			Ovaires	20
			Organes situés dans la zone explorée	25
			Testicules ⁽¹⁾	10
Thorax et abdomen avec injection de produit de contraste (ZCQH002+ ZBQH001) (n _{moy} = 1,3 acq. / exam.)	836	18,9	Seins	30
			Organes situés dans la zone explorée	25
			Utérus ⁽¹⁾	3
			Ovaires ⁽¹⁾	3
			Testicules ⁽¹⁾	0,1

(1) : organe considéré hors zone explorée

4.3.2 EN RADIOLOGIE CONVENTIONNELLE

En radiologie conventionnelle, le calcul de la dose délivrée aux organes à partir du PDS complet de l'examen nécessite théoriquement de connaître :

- les incidences réalisées,
- le PDS par incidence,
- la distance entre le foyer du tube à rayons X et le patient pour chaque incidence,
- la haute tension pour chaque incidence,
- la surface du champ exposée pour chaque incidence.

Ces éléments n'étant pas précisés dans les registres transmis par les services, les calculs ont été réalisés en s'appuyant sur les recommandations publiées dans le guide des procédures radiologiques de la SFR [6] concernant :

- les incidences réalisées pour chacun des types d'acte,
- la distance foyer-patient, la haute tension et la surface du champ exposé pour chaque incidence.

Le PDS_{moy} pour l'acte complet déterminé au paragraphe 4.2.2 a été réparti entre les différentes incidences. Avec ces hypothèses, le calcul des doses moyennes délivrées aux organes a été réalisé à l'aide du logiciel PCXMC V2.0 [10] pour un patient de morphologie standard.

Les doses moyennes délivrées ont été calculées pour :

- les organes de radiosensibilité élevée situés dans, ou à proximité, de la région anatomique explorée,
- l'utérus, cette dose permettant d'estimer la dose reçue par l'embryon/le fœtus chez une femme enceinte en début de grossesse.

Ces calculs n'ont été réalisés que pour les types d'actes exposant des organes radiosensibles, situés dans la tête, le cou, le thorax, l'abdomen et le pelvis. Les résultats sont présentés dans le tableau V.

Les doses reçues par les organes lors des actes de radiologie conventionnelle étudiés sont nettement inférieures à celles reçues lors d'actes scanographiques. A titre d'exemple, les tableaux IV et V montrent que la dose reçue par les poumons lors d'un examen radiologique pulmonaire classique est 100 fois inférieure à celle reçue lors d'un scanner thoracique (0,2 mGy vs 20 mGy). Le rapport des doses reçues par les seins pour ces deux types d'acte est de l'ordre de 400 (0,05 mGy vs 20 mGy).

Par ailleurs, la dose délivrée au patient en radiologie conventionnelle est hétérogène dans le volume exploré : elle est maximale au niveau de la peau, dans la zone « d'entrée » du faisceau de rayons X, et décroît progressivement dans les tissus. Par exemple, lors d'une radiographie du thorax en incidence postéro-antérieure, réalisée avec une haute tension de 120 kV, le rapport entre la dose aux poumons et la dose cutanée (au niveau du dos) est environ égal à 0,5. Le rapport entre la dose aux seins et la dose cutanée est dans ce cas de l'ordre de 8. L'incidence postéro-antérieure des clichés thoraciques limite ainsi les doses délivrées aux organes superficiels antérieurs tels que les seins et la thyroïde.

En radiologie conventionnelle, les doses reçues par les organes sont au maximum égales à quelques mGy. Par ailleurs, la dose est hétérogène dans le volume exploré : elle est maximale au niveau de la peau, dans la zone « d'entrée » du faisceau de rayons X, et décroît progressivement dans les tissus.

La dose délivrée aux organes lors d'examens de radiologie conventionnelle est nettement inférieure à celle délivrée lors d'actes scanographiques (par exemple d'un facteur 100 pour les poumons lors d'un examen pulmonaire radiologique vs scanographique).

Tableau V : Doses moyennes aux organes pour un acte radiologique complet, calculées à partir des PDS_{moy} déterminés au paragraphe 4.2.1 et des paramètres recommandés par la SFR, à l'aide du logiciel PCXMC V2.0.

Acte radiologique (code CCAM)	PDS _{moy} (mGy.cm ²)	Hypothèses retenues		D _{moy} aux organes par acte	
		Incidence	PDS _{moy} par incidence (mGy.cm ²)	Organe	Dose (mGy)
Actes pédiatriques					
Radiographie du thorax, enfant de 3 à 7 kg (ZBQK002)	19,1	Antéro-postérieure	19,1	Seins Poumons Estomac Utérus	0,2 (0,02 si incidence postéro-antérieure) 0,1 0,03 < 0,01
Radiographie du thorax, enfant de 7 à 13 kg (ZBQK002)	38,5	Postéro-antérieure	38,5	Seins Poumons Estomac Utérus	0,02 0,1 0,01 < 0,01
Radiographie du thorax, enfant de 17 à 23 kg (ZBQK002)	52,7	Postéro-antérieure	52,7	Seins Poumons Estomac Utérus	0,04 0,1 0,01 < 0,01
Actes « adultes »					
Radiographie du thorax ⁽²⁾ (code ZBQK002)	280	Postéro-antérieure	280	Seins Poumons Estomac Utérus ⁽¹⁾	0,05 0,2 0,05 < 0,01
Radiographie du thorax avec radiographie du squelette du thorax ⁽²⁾ (code LJQK002)	2798	Postéro-antérieure obliques	280 2500	Seins Poumons Estomac ⁽¹⁾ Utérus ⁽¹⁾	3 1 0,15 < 0,01
Radiographie de l'abdomen sans préparation ⁽²⁾ (code ZCQK002)	4517	Antéro-postérieure	4517	Estomac Colon Utérus Ovaires Testicules ⁽¹⁾ Seins ⁽¹⁾	2 2 2 1,5 0,5 0,02
Radiographie du segment lombaire de la colonne vertébrale selon 1 à 3 incidences ⁽²⁾ (LFQK002)	11221	Antéro-postérieure Profil	6221 5000	Estomac Colon Utérus Ovaires Seins ⁽¹⁾ Testicules ⁽¹⁾	3 5 6 6 0,03 0,06
Radiographie du segment cervical de la colonne vertébrale selon 3 incidences ou plus ⁽²⁾ (code LDQK002)	1180	Antéro-postérieure Profil Obliques droit et gauche	280 300 600	Thyroïde Seins ⁽¹⁾ Utérus ⁽¹⁾	3,5 < 0,01 < 0,01
Radiographie de la ceinture pelvienne [du bassin] selon 1 incidence ⁽²⁾ (code NAQK015)	4048	Antéro-postérieure	4048	Colon Utérus Ovaires Testicules Estomac ⁽¹⁾ Seins ⁽¹⁾	1,5 1,5 1 5 0,05 < 0,01
Radiographie de l'articulation coxofémorale selon 1 ou 2 incidences ⁽²⁾ (code NEQK010)	2341	Antéro-postérieure Profil	1170 1170	Colon Utérus Ovaires Testicules Seins ⁽¹⁾ Estomac ⁽¹⁾	0,5 1 1 3 < 0,01 < 0,01
Radiographie du crâne et/ou du massif facial selon 1 ou 2 incidences (code LAQK003) ⁽³⁾	900	Postéro-antérieure Profil	450 450	Cerveau Thyroïde ⁽¹⁾ Seins ⁽¹⁾ Utérus ⁽¹⁾	0,7 0,02 < 0,01 < 0,01

⁽¹⁾ : organe considéré hors zone explorée

⁽²⁾ : patients adultes de 60 à 80 kg

⁽³⁾ : pas de procédure SFR pour ce type d'acte

4.4 DOSE EFFICACE MOYENNE PAR TYPE D'ACTE

4.4.1 DEFINITION DE LA DOSE EFFICACE

La dose efficace, exprimée en millisievert (mSv), est un indicateur du risque de détriment sanitaire lié à une exposition individuelle aux rayonnements ionisants. Le détriment sanitaire considéré est l'induction potentielle de cancers et d'effets héréditaires. Cet indicateur est un outil de gestion, qui permet d'évaluer un risque global au niveau de l'organisme entier, que celui-ci soit ou non exposé en totalité, en tenant compte du type de rayonnement (nature et énergie), et de la radiosensibilité propre à chaque organe exposé. Ainsi il permet de comparer les risques radiologiques liés à des actes d'imagerie concernant des zones anatomiques différentes ou ceux liés à différentes modalités d'imagerie pour un même acte. Etant un indicateur standardisé, il permet également des comparaisons entre différents pays et l'étude de l'évolution dans le temps de l'exposition qui résulte de tel ou tel type d'acte.

4.4.2 CALCUL DES DOSES EFFICACES MOYENNES PAR TYPE D'ACTE

4.4.2.1 Utilisation des facteurs de pondération tissulaire de la publication n° 60 de la CIPR

Les doses efficaces moyennes associées aux types d'actes étudiés aux paragraphes 4.2.1 et 4.2.2 ont été calculées à partir du PDL moyen ou du PDS moyen. Elles sont présentées dans les tableaux VI et VII, respectivement pour la scanographie et la radiologie conventionnelle.

Des facteurs de conversion globaux, définis en fonction de la zone anatomique exposée, permettent le calcul de la dose efficace à partir du PDL en scanographie ou du PDS en radiologie conventionnelle. Ces facteurs sont publiés dans le rapport de la commission européenne Radiation Protection n°154 [11]. Ils ont été établis à partir des valeurs des facteurs de pondération tissulaire définis dans la publication 60 de la CIPR [12] et reprises dans le code de la santé publique.

Les valeurs de dose efficace de référence (E_{ref}) retenues dans le rapport IRSN/InVs 2010 [4] figurent également dans les tableaux VI et VII. Il convient de noter que ces valeurs de référence ont été calculées sur la base des paramètres techniques recommandés dans les procédures de la SFR et des facteurs de pondération tissulaire de la publication n°60 de la CIPR.

En scanographie, les doses efficaces moyennes associées aux différents types d'acte étudiés sont comprises entre 2 mSv (scanner cérébral sans injection de produit de contraste) et 18,5 mSv (scanner thoraco-abdomino-pelvien). Les valeurs calculées sont cohérentes avec les valeurs de référence déterminées à partir des paramètres recommandés dans les procédures de la SFR (écart inférieur à 20 %), à l'exception du scanner abdomino-pelvien avec injection et du scanner du crâne avec injection (écart respectivement égaux à 50 % et 72 %). Pour ces deux types d'acte, le calcul de la dose efficace moyenne de référence a été effectué sur la base d'une acquisition par acte alors que cette étude a montré qu'en moyenne ces types d'acte comportent respectivement 1,8 et 1,5 acquisition. Ceci explique l'écart de dose efficace constaté.

En radiologie conventionnelle, les doses efficaces moyennes associées aux différents types d'acte étudiés sont beaucoup plus faibles qu'en scanographie et comprises entre 0,05 mSv (radiographie thoracique) et 2,4 mSv (radiographie du segment lombaire de la colonne vertébrale selon 1 à 3 incidences). Les valeurs calculées sont le reflet de la pratique clinique en termes de PDS total et de nombre de clichés réalisés. Elles permettent de préciser pour les types d'acte étudiés, les valeurs de référence établies sur la base des procédures de la SFR qui recommandent les paramètres techniques à utiliser, sans indiquer le nombre moyen de clichés qu'il convient de considérer pour chaque type d'acte, le nombre de clichés étant justifié au cas par cas par le médecin réalisant l'acte.

Tableau VI : Doses efficaces moyennes associées aux actes complets de scanographie étudiés au paragraphe 4.2.1. Comparaison avec la dose efficace de référence (E_{ref}) retenue dans le rapport IRSN/InVS 2010 [4].

Acte scanographique complet (code CCAM)	PDL _{moy} (mGy.cm)	Facteur de conversion global pour la zone anatomique explorée (mSv / mGy.cm)	E _{moy} (mSv)	E _{ref} (mSv)
Crâne et son contenu, avec injection de produit de contraste (ACQH003) (n _{moy} = 1,5 acquisition / acte)	1408	2,1.10 ⁻³	3,0	2,1
Crâne et son contenu, sans injection de produit de contraste (ACQK001) (n _{moy} = 1,03 acquisition / acte)	1013	2,1.10 ⁻³	2,1	2,1
Thorax avec injection de produit de contraste (ZBQH001) (n _{moy} = 1,06 acquisition / acte)	475	1,4.10 ⁻³	6,7	5,7
Thorax sans injection de produit de contraste (ZBQK001) (n _{moy} = 1,03 acquisition / acte)	415	1,4.10 ⁻³	5,8	5,7
Abdomen et pelvis avec injection de produit de contraste (ZCQH001) (n _{moy} = 1,8 acquisition / acte)	1146	1,5.10 ⁻³	17,2	10
Abdomen et pelvis sans injection de produit de contraste (ZCQK004) (n _{moy} = 1,14 acquisition / acte)	711	1,5.10 ⁻³	10,7	10
Thorax, abdomen et pelvis avec injection de produit de contraste (ZCQH001+ ZBQH001) (n _{moy} = 1,14 acquisition / acte)	1232	1,5.10 ⁻³	18,5	Non défini

Tableau VII : Doses efficaces moyennes associées aux actes complets de radiologie conventionnelle étudiés au paragraphe 4.2.2. Comparaison avec la dose efficace de référence (E_{ref}) retenue dans le rapport IRSN/InVS 2010 [4].

Acte radiologique complet (code CCAM)	PDS_{moy} (mGy.cm ²)	Facteur de conversion global pour la zone anatomique explorée (mSv / mGy.cm ²)	E_{moy} (mSv)	E_{ref} (mSv)
Radiographie du thorax (code ZBQK002) ($n_{moy} = 1,2$ cliché / acte)	280	$0,18.10^{-3}$	0,05	0,05
Radiographie du thorax avec radiographie du squelette du thorax (code LJQK002) ($n_{moy} = 3,1$ clichés / acte)	2798	$0,18.10^{-3}$	0,5	0,1
Radiographie de l'abdomen sans préparation (code ZCQK002) ($n_{moy} = 1,4$ cliché / acte)	4517	$0,26.10^{-3}$	1,2	1,9
Radiographie du segment lombaire de la colonne vertébrale selon 1 à 3 incidences (LFQK002) ($n_{moy} = 2,7$ clichés / acte)	11221	$0,21.10^{-3}$	2,4	1,8
Radiographie de la ceinture pelvienne [du bassin] selon 1 incidence (code NAQK015) ($n_{moy} = 1,2$ cliché / acte)	4048	$0,29.10^{-3}$	1,2	1,2
Radiographie de l'articulation coxofémorale selon 1 ou 2 incidences (code NEQK010) ($n_{moy} = 1,8$ cliché / acte)	2341	$0,15.10^{-3}$ ⁽¹⁾	0,35	0,35

⁽¹⁾ facteur de conversion correspondant à un demi-bassin

En scanographie, les doses efficaces moyennes sont comprises, pour les actes complets étudiés, entre 2 mSv (scanner cérébral sans injection de produit de contraste) et 18,5 mSv (scanner thoraco-abdomino-pelvien). En radiologie conventionnelle, ces doses sont beaucoup plus faibles, comprises entre 0,05 mSv (radiographie thoracique) et 2,4 mSv (radiographie du segment lombaire de la colonne vertébrale selon 1 à 3 incidences), en tenant compte des clichés radiographiques et de la scopie de centrage.

4.4.2.2 Utilisation des facteurs de pondération tissulaire de la publication n° 103 de la CIPR

A l'occasion de la révision en cours de la directive 96/29/EURATOM « normes de base de radioprotection », les facteurs de pondération tissulaire fixés dans la réglementation sont susceptibles de prendre de nouvelles valeurs pour tenir compte de la publication n° 103 de la CIPR [13]. Celle-ci recommande en effet de nouveaux facteurs de pondération tissulaire pour le calcul de la dose efficace, suite à une nouvelle estimation des risques radiologiques relatifs aux différents tissus et organes.

Le tableau VIII présente les facteurs de pondération tissulaire, issus des publications n°60 et n°103 de la CIPR. On constate en particulier une diminution du facteur de pondération associé aux gonades d'un facteur 0,4, alors que ceux des seins et des « autres organes » augmentent de plus d'un facteur 2. De nouveaux organes ont été introduits par la publication n°103, qui n'existaient pas auparavant de façon formelle dans la publication n°60, telles que les glandes salivaires, la région extrathoracique, la muqueuse buccale et la prostate (ces trois derniers organes étant maintenant inclus dans les « autres organes »). Quatre « organes » de la tête sont identifiés dans la publication n°103 de la CIPR (cerveau, glandes salivaires, région extra-thoracique et muqueuse buccale) alors que dans la publication CIPR n°60, seul le cerveau était identifié.

Tableau VIII : Facteurs de pondération tissulaire w_T selon les publications n°60 et n°103 de la CIPR (Les valeurs en grisé indiquent les principaux changements entre les 2 publications)

Organe ou tissu	Facteur de pondération tissulaire w_T		
	CIPR n° 60	CIPR n° 103	$w_{TCIPR103}/w_{TCIPR60}$
Gonades	0,20	0,08	0,4
Moelle osseuse	0,12	0,12	1
Colon	0,12	0,12	1
Poumons	0,12	0,12	1
Estomac	0,12	0,12	1
Vessie	0,05	0,04	0,8
Seins	0,05	0,12	2,4
Foie	0,05	0,04	0,8
Œsophage	0,05	0,04	0,8
Thyroïde	0,05	0,04	0,8
Surface osseuse	0,01	0,01	1
Peau	0,01	0,01	1
Cerveau	dans les organes restants	0,01	-
Glandes salivaires	0	0,01	∞
Organes restants ⁽¹⁾	0,05	0,12	2,4

⁽¹⁾ CIPR n°60 : glandes surrénales, cerveau, reins, muscles, pancréas, intestin grêle, rate, thymus, utérus.

CIPR n°103 : glandes surrénales, région extra-thoracique, vésicule biliaire, cœur, reins, ganglions lymphatiques, muscles, muqueuse buccale, pancréas, prostate, intestin grêle, rate, thymus, utérus.

Dans cette étude, les doses efficaces ont également été calculées avec ces nouveaux facteurs, bien qu'ils n'aient pas encore été intégrés dans la réglementation française, pour étudier leur impact sur la valeur des doses efficaces. Elles sont présentées dans les tableaux IX et X, respectivement pour la scanographie et la radiologie conventionnelle et comparées avec les valeurs calculées à partir des facteurs de pondération de la publication n°60 de la CIPR. Les doses moyennes délivrées aux organes dans la région explorée sont rappelées dans ces deux tableaux.

En scanographie, les doses efficaces ont été calculées manuellement à partir des doses délivrées aux organes données par le logiciel CTE expo V1.6. En radiologie, le logiciel PCXMC V2.0 permet le calcul de la dose efficace selon les recommandations de la publication n°103 de la CIPR.

Tableau IX : Comparaison des doses efficaces moyennes calculées en utilisant les facteurs de pondération tissulaire des publications n° 60 et 103 de la CIPR pour les types d'acte scanographique étudiés au paragraphe 4.2.1. Rappel de la dose moyenne aux organes dans la zone explorée.

Acte scanographique complet (code CCAM)	PDL _{moy} (mGy.cm)	Dose moyenne aux organes situés dans la zone explorée (mGy)	E _{moy} (CIPR 60) (mSv)	E _{moy} (CIPR 103) (mSv)	E _{moy,103} / E _{moy,60}
Crâne et son contenu, avec injection de produit de contraste (ACQH003) (n _{moy} = 1,5 acquisition / acte)	1408	70	3,0 ⁽¹⁾	2,4	0,8
Crâne et son contenu, sans injection de produit de contraste (ACQK001) (n _{moy} = 1,03 acquisition / acte)	1013	50	2,1 ⁽¹⁾	1,7	0,8
Thorax avec injection de produit de contraste (ZBQH001) (n _{moy} = 1,06 acquisition / acte)	475	20	6,7	7,9	1,2
Thorax sans injection de produit de contraste (ZBQK001) (n _{moy} = 1,03 acquisition / acte)	415	20	5,8	6,8	1,2
Abdomen et pelvis avec injection de produit de contraste (ZCQH001) (n _{moy} = 1,8 acquisition / acte)	1146	35	17,2 ⁽²⁾	15,5 ⁽²⁾	0,9
Abdomen et pelvis sans injection de produit de contraste (ZCQK004) (n _{moy} = 1,14 acquisition / acte)	711	20	10,7 ⁽²⁾	9,6 ⁽²⁾	0,9
Thorax, abdomen et pelvis avec injection de produit de contraste (ZCQH001+ ZBQH001) (n _{moy} = 1,14 acquisition / acte)	1232	25	18,5 ⁽²⁾	18,3 ⁽²⁾	1

(1) Dans le cas du scanner du crâne, le cerveau est l'organe qui reçoit la dose la plus élevée. La dose efficace est calculée selon la CIPR 60 en lui appliquant un facteur de pondération égal à 0,025.

(2) Testicules considérés hors champ exploré.

Tableau X : Comparaison des doses efficaces moyennes calculées en utilisant les facteurs de pondération tissulaire des publications n° 60 et 103 de la CIPR pour les types d'acte radiologique conventionnel étudiés au paragraphe 4.2.2. Rappel de la dose moyenne aux organes dans la zone explorée.

Acte radiologique complet de l'adulte (code CCAM)	PDS _{moy} (mGy.cm ²)	Doses moyennes aux organes situés dans la zone explorée (mGy)	E _{moy} (CIPR 60) (mSv)	E _{moy} (CIPR 103) (mSv)	E _{moy,103} / E _{moy,60}
Radiographie du thorax (code ZBQK002) (n _{moy} = 1,2 cliché / acte)	280	<ul style="list-style-type: none"> • Seins : 0,05 • Poumons : 0,2 	0,05	0,05	1
Radiographie du thorax avec radiographie du squelette du thorax (code LJQK002) (n _{moy} = 3,1 clichés / acte)	2798	<ul style="list-style-type: none"> • Seins : 3 • Poumons : 1 	0,5	0,75	1,5
Radiographie de l'abdomen sans préparation (code ZCQK002) (n _{moy} = 1,4 cliché / acte)	4517	<ul style="list-style-type: none"> • Estomac, colon, utérus : 2 • Ovaires : 1,5 	1,2 ⁽¹⁾	1,1 ⁽¹⁾	0,9
Radiographie du segment lombaire de la colonne vertébrale selon 1 à 3 incidences (LFQK002) (n _{moy} = 2,7 clichés / acte)	11221	<ul style="list-style-type: none"> • Estomac : 3 • Colon : 5 • Utérus, ovaires : 6 	2,4	2,0	0,8
Radiographie de la ceinture pelvienne [du bassin] selon 1 incidence (code NAQK015) (n _{moy} = 1,2 cliché / acte)	4048	<ul style="list-style-type: none"> • Colon, utérus : 1,5 • Ovaires : 1 • Testicules : 5 	1,2	0,75	0,6
Radiographie de l'articulation coxofémorale selon 1 ou 2 incidences (code NEQK010) (n _{moy} = 1,8 cliché / acte)	2341	<ul style="list-style-type: none"> • Ovaires, utérus : 1 • Testicules : 3 • Colon : 0,5 	0,35	0,20	0,6

⁽¹⁾ Testicules considérés hors champ exploré.

Les tableaux IX et X montrent qu'en radiologie conventionnelle et en scanographie, la dose efficace ne reflète pas du tout la dose délivrée aux organes et peut, dans certains cas, dissimuler des valeurs élevées de dose à certains organes. C'est en particulier le cas du scanner cérébral, pour lequel la dose efficace moyenne est évaluée à 2 mSv (cas du scanner sans injection de produit de contraste) alors que les doses moyennes délivrées au cerveau et aux cristallins sont respectivement égales à 50 mGy et 60 mGy. De même, lors d'un scanner du thorax, si la dose efficace moyenne est estimée à environ 6 mSv, les doses moyennes délivrées aux seins et aux poumons sont de l'ordre de 20 mGy.

Par ailleurs, les valeurs de dose efficace calculées dépendent des facteurs de pondération tissulaire retenus qui évoluent avec les connaissances scientifiques. L'application des nouveaux facteurs recommandés dans la publication n° 103 de la CIPR conduit en scanographie à :

- une augmentation d'environ 20 % des doses efficaces associées aux scanners thoraciques, due à l'augmentation du facteur de pondération tissulaire des seins,
- une diminution d'environ 10 % des doses efficaces relatives aux scanners abdomino-pelviens, due à la diminution des facteurs de pondération tissulaire des gonades,

- une diminution d'environ 20 % des doses efficaces relatives aux scanners crâniens, liée à la suppression de la règle de calcul de la dose efficace applicable aux « Autres tissus ou organes » (ici le cerveau) dans la publication 103 de la CIPR,
- une très faible variation de la dose efficace relative au scanner thoraco-abdomino-pelvien, la quasi-totalité des organes considérés comme les plus radiosensibles étant exposée.

En radiologie, l'application des nouveaux facteurs de pondération tissulaire conduit également à la diminution des doses efficaces associées aux examens du bassin, des hanches, de l'abdomen et du rachis lombaire. Concernant les examens du thorax, l'impact est minime pour la radiographie pulmonaire réalisée en incidence postérieure, la dose reçue par les seins étant très faible. Si les radiographies sont réalisées en incidence antérieure ou oblique, la dose reçue par les seins est plus importante et l'application des nouveaux facteurs de la CIPR conduit à une augmentation significative de la dose efficace (cas de la radiographie du squelette du thorax en incidence oblique).

Enfin, les facteurs de pondération tissulaire sont définis pour une population standard et leurs valeurs sont indépendantes de l'âge des personnes exposées. L'utilisation de la dose efficace conduit à analyser les expositions médicales de la même manière quel que soit l'âge du patient alors que la plus forte radiosensibilité des enfants devrait conduire à une analyse distincte.

Afin de décrire au mieux l'exposition médicale d'une population liée aux procédures diagnostiques utilisant les rayonnements ionisants, il conviendrait de s'intéresser, outre à la dose efficace - indicateur dosimétrique habituellement employé et recommandé, en particulier, dans le rapport européen n° 154 -, aux doses délivrées à certains organes d'intérêt et/ou à l'organe le plus exposé. Les organes d'intérêt à retenir devraient être ceux définis par la publication 103 de la CIPR comme étant les organes les plus radiosensibles, situés dans ou à proximité de la zone explorée.

La dose efficace est l'indicateur dosimétrique recommandé au niveau international (rapport EC n° 154) pour quantifier l'exposition d'une population aux rayonnements ionisants. Toutefois, en radiologie conventionnelle, tout comme en scanographie, où les doses dans l'organisme ne sont pas homogènes, elle ne reflète pas la dose reçue par les différents organes et peut, dans certains cas, dissimuler des valeurs élevées de dose délivrées à certains organes. Par ailleurs, il s'agit d'une grandeur calculée à partir de facteurs de pondération tissulaire dont les valeurs, indépendantes de l'âge du patient, évoluent avec les connaissances scientifiques.

Afin de décrire au mieux l'exposition médicale d'une population liée aux procédures diagnostiques utilisant les rayonnements ionisants, il conviendrait de compléter la connaissance de la dose efficace par celle des doses délivrées à certains organes d'intérêt situés dans ou à proximité de la zone explorée, tels que ceux définis dans la publication n° 103 de la CIPR comme étant les organes les plus radiosensibles.

5 DISCUSSION

5.1 REPRESENTATIVITE DES DONNEES

Les données dosimétriques analysées dans cette étude ont été recueillies auprès d'un échantillon national (métropolitain) représentatif de 50 services de radiologie d'établissements publics de santé. Le recueil a porté sur l'ensemble des actes réalisés pendant une semaine, sans biais de sélection des patients.

L'analyse de ces données n'a été réalisée que pour les types d'actes dont l'effectif était supérieur ou égal à 50. Les tableaux II et III montrent que, pour la majorité des actes étudiés, les données proviennent de plus de 20 services différents.

Par ailleurs, pour les actes radiologiques et scanographiques pour lesquels la morphologie du patient impacte sur les paramètres techniques de l'acte, et donc sur la dose délivrée, l'analyse a été restreinte à une population de morphologie homogène (poids compris entre 60 et 80 kg).

Cette méthode permet de s'assurer que les valeurs moyennes et les 75° centiles des PDS, PDL et CTDI_{vol} sont représentatives de la pratique radiologique française, pour des patients de morphologie « standard », de poids compris entre 60 et 80 kg.

5.2 DEFINITION DES NRD EN SCANOGRAPHIE : PAR ACQUISITION OU PAR ACTE ?

Le tableau II montre que les actes de scanographie étudiés comportent en moyenne plus d'une acquisition. De plus, l'analyse détaillée des registres de données transmis par les services montre une disparité entre les services sur le nombre d'acquisitions réalisées pour un même type d'acte.

La définition des NRD par acquisition, telle qu'elle existe aujourd'hui dans la réglementation française ne permet pas une optimisation de la dose délivrée par l'acte complet. En effet, même si les paramètres d'acquisition sont correctement optimisés et conduisent à des PDL par acquisition inférieurs au NRD, la réalisation systématique, dans certains services, de plusieurs acquisitions peut conduire in fine à délivrer aux patients un PDL global très supérieur au NRD.

Afin de proposer un outil d'optimisation pour les actes complets de scanographie, les NRD par acquisition pourraient être complétés par la définition de NRD par acte complet, comme cela se pratique dans d'autres pays, sans toutefois perdre de vue que la réalisation éventuelle de plusieurs acquisitions doit, en premier lieu, répondre au principe de justification.

5.3 REPRESENTATIVITE DES PATIENTS DE MORPHOLOGIE « STANDARD », DE 60 A 80 KG

Le tableau XI présente, pour les actes de scanographie pour lesquels la morphologie influe de manière importante sur les paramètres d'acquisition, les valeurs moyennes et les 75° centiles des distributions des PDL et des CTDI_{vol} par acquisition, pour tous les patients adultes d'une part, et pour les seuls patients de poids compris entre 60 et 80 kg d'autre part. Pour l'ensemble des types d'actes scanographiques étudiés, les écarts observés sont inférieurs à 5 %, sauf pour le scanner abdomino-pelvien sans injection où il est égal à 7 %.

Tableau XI : Scanographie : comparaison des valeurs moyennes et 75° centiles des distributions des PDL et des CTDI_{vol} par acquisition, pour tous les patients et pour les patients de 60 et 80 kg.

Acte scanographique (code CCAM)	Patients	PDL _{moy} (mGy.cm)	PDL _{75°} (mGy.cm)	CTDI _{vol,moy} (mGy)	CTDI _{vol,75°} (mGy)
Thorax avec injection de produit de contraste (ZBQH001)	Patients de 60 à 80 kg (N ₁ = 410)	450	555	12,2	14,4
	Tous patients (N ₂ =777)	454	554	12,2	14,4
	Ecart (%)	< 1 %	< 1 %	< 1 %	< 1 %
Thorax sans injection de produit de contraste (ZBQK001)	Patients de 60 à 80 kg (N ₁ =222)	402	487	11,5	14,3
	Tous patients (N ₂ =460)	421	510	11,8	14,6
	Ecart (%)	< 5 %	< 5 %	< 5 %	< 5 %
Abdomen et pelvis avec injection de produit de contraste (ZCQH001)	Patients de 60 à 80 kg (N ₁ =932)	643	763	15,4	18,0
	Tous patients (N ₂ =1636)	652	798	15,2	18,0
	Ecart (%)	< 5 %	< 5 %	< 5 %	< 1 %
Abdomen et pelvis sans injection de produit de contraste (ZCQK004)	Patients de 60 à 80 kg (N ₁ =159)	626	777	14,3	18,0
	Tous patients (N ₂ =283)	645	829	14,2	18,1
	Ecart (%)	< 5 %	7%	< 1 %	< 1 %
Segment de la colonne vertébrale sans injection de produit de contraste (LHQK001)	Patients de 60 à 80 kg (N ₁ =239)	907	1143	40,9	50,1
	Tous patients (N ₂ =455)	954	1184	41,4	49,8
	Ecart (%)	5%	< 5 %	< 5 %	< 1 %
Thorax, abdomen et pelvis avec injection de produit de contraste (ZCQH001+ ZBQH001)	Patients de 60 à 80 kg (N ₁ =277)	925	1142	18,5	21,1
	Tous patients (N ₂ =531)	935	1185	18,0	21,5
	Ecart (%)	1 %	< 5 %	< 5 %	< 5 %
Thorax et abdomen avec injection de produit de contraste (ZCQH002+ ZBQH001)	Patients de 60 à 80 kg (N ₁ =99)	659	751	14,9	16,0
	Tous patients (N ₂ =197)	658	772	14,7	16,1
	Ecart (%)	< 1 %	< 5 %	< 5 %	< 1 %

Le tableau XII présente, pour les actes de radiologie conventionnelle pour lesquels la morphologie influe de manière importante sur les paramètres d'acquisition, les valeurs moyennes et les 75° centiles des distributions des PDS, pour tous les patients adultes d'une part, et pour les seuls patients de poids compris entre 60 et 80 kg d'autre part.

Les écarts observés sur les 75° centiles des distributions des PDS et sur les PDS moyens sont inférieurs à 20 % dans tous les cas étudiés, sauf pour la « radiographie du thorax avec radiographie du squelette du thorax » où l'écart est respectivement égal à 81 % et 43 %.

Il convient cependant de noter que les échantillons pour les actes de radiologie conventionnelle sont plus faibles qu'en scanographie.

Tableau XII : Radiologie conventionnelle : comparaison des valeurs moyennes et des 75° centiles des distributions des PDS pour tous les patients et pour les patients de 60 et 80 kg.

Acte radiologique (code CCAM)	Patients	PDS _{moy} (mGy.cm ²)	PDS _{75°} (mGy.cm ²)
Radiographie du thorax (code ZBQK002)	Patients de 60 à 80 kg (N ₁ = 897)	280	305
	Tous patients (N ₂ =1680)	340	323
	Ecart (%)	21 %	6 %
Radiographie du thorax avec radiographie du squelette du thorax (code LJQK002)	Patients de 60 à 80 kg (N ₁ =35)	2798	2684
	Tous patients (N ₂ =58)	4010	4845
	Ecart (%)	43 %	81 %
Radiographie de l'abdomen sans préparation (code ZCQK002)	Patients de 60 à 80 kg (N ₁ =200)	4517	5404
	Tous patients (N ₂ =408)	5147	6143
	Ecart (%)	14 %	14 %
Radiographie du segment lombaire de la colonne vertébrale selon 1 à 3 incidences (LFQK002)	Patients de 60 à 80 kg (N ₁ =54)	11221	13721
	Tous patients (N ₂ =108)	12231	15921
	Ecart (%)	9 %	16 %
Radiographie de la ceinture scapulaire et/ou de l'épaule selon 1 ou 2 incidences (code MAQK003)	Patients de 60 à 80 kg (N ₁ =104)	1264	1761
	Tous patients (N ₂ =197)	1331	1675
	Ecart (%)	5 %	5 %
Radiographie de la ceinture pelvienne [du bassin] selon 1 incidence (code NAQK015)	Patients de 60 à 80 kg (N ₁ =82)	4048	5565
	Tous patients (N ₂ =146)	4585	5634
	Ecart (%)	13 %	1 %
Radiographie de l'articulation coxofémorale selon 1 ou 2 incidences (code NEQK010)	Patients de 60 à 80 kg (N ₁ =57)	2341	2661
	Tous patients (N ₂ =106)	2418	2758
	Ecart (%)	3 %	4 %

Les tableaux XI et XII montrent que les résultats présentés au paragraphe 4, portant sur des populations de morphologie « standard » (60 à 80 kg) sont transposables à la population adulte dans son ensemble, sans critère morphologique, à l'exception notable de la « radiographie du thorax avec radiographie du squelette du thorax ».

Par ailleurs, en vue d'établir ou de mettre à jour les NRD au niveau national, le critère morphologique « 70 ± 10 kg » qui existe actuellement dans la réglementation [8] semble ne pas être nécessaire, ce qui permettrait d'atteindre plus facilement un échantillon de données de taille suffisante (au moins égale à 50).

6 CONCLUSION

L'objectif du travail, mené conjointement depuis 2003 par l'IRSN et l'InVS, est de mettre à disposition des pouvoirs publics des informations actualisées sur l'exposition de la population française liée aux actes de diagnostic médical. La présente étude a permis d'actualiser les connaissances relatives aux doses délivrées aux patients lors d'actes de radiologie fréquents, sur la base d'une enquête prospective réalisée pendant une semaine auprès de 50 services de radiologie du secteur hospitalier public.

En scanographie, l'étude a porté sur des types d'actes parmi les plus fréquents réalisés chez l'adulte en France explorant le crâne, le thorax, la zone abdomino-pelvienne, la zone thoraco-abdomino-pelvienne, le rachis ou les vaisseaux du thorax (angioscanner thoracique) [4]. Pour ces types d'actes :

- les valeurs moyennes et les 75° centiles des distributions des PDL et $CTDI_{vol}$ par acquisition ont été déterminées. Ces dernières sont cohérentes avec les NRD recommandés [5],
- le nombre moyen d'acquisition par type d'acte a été évalué : il varie de 1 à 1,8 selon les types d'acte. Les valeurs moyennes et les 75° centiles des distributions des PDL et $CTDI_{vol}$ par acte complet ont ainsi pu être déterminées, ce qui a permis d'améliorer la connaissance des doses réellement délivrées aux patients pour chaque type d'acte.

En radiologie conventionnelle, l'étude a porté sur des types d'actes parmi les plus fréquents chez l'adulte : radiographie du thorax, de l'abdomen sans préparation, de la colonne vertébrale, du bassin, du crâne, ainsi que sur certains examens radiologiques des membres et des extrémités. Les radiographies thoraciques chez l'enfant (de 5 kg, 10 kg et 20 kg) ont également été étudiées. Pour ces types d'actes, les valeurs moyennes et les 75° centiles des distributions des PDS par acte complet ont été déterminés, ces derniers paraissant également cohérents avec les NRD recommandés [5].

Pour les actes réalisés chez l'adulte, les valeurs moyennes de PDS et des PDL par type d'acte ont permis de calculer une dose efficace moyenne par type d'acte, établie sur la base de la pratique et de la technologie actuelles. La dose efficace varie, pour les actes étudiés, de 0,05 à 2,4 mSv pour les actes radiologiques et de 2 mSv à 18,5 mSv pour les actes scanographiques.

La dose efficace est l'indicateur dosimétrique recommandé au niveau international pour estimer l'exposition aux rayonnements ionisants de la population [11]. Il s'agit d'un indicateur global du risque stochastique à long terme, qui permet la comparaison et le suivi dans le temps des doses délivrées par différents types d'actes, différentes modalités d'imagerie ou par différents services. Néanmoins, il s'agit d'une grandeur pondérée sur l'ensemble de l'organisme, alors que l'exposition en radiologie et en scanographie est localisée. Elle ne reflète pas les doses, parfois élevées (plusieurs dizaines de mGy), délivrées aux organes situés dans le champ exploré. De plus, elle est calculée à l'aide de facteurs de pondération tissulaire, qui ne dépendent pas de l'âge et évoluent avec les connaissances scientifiques.

Afin de décrire au mieux l'exposition médicale d'une population liée aux procédures diagnostiques utilisant les rayonnements ionisants, et dans un but de recherche étiologique et épidémiologique ciblée, il conviendrait de compléter la connaissance de la dose efficace par les doses délivrées à certains organes d'intérêt. Les organes d'intérêt à retenir devraient être ceux définis par la CIPR dans sa publication 103 comme étant les organes les plus radiosensibles, et situés dans, ou à proximité, de la zone explorée.

7 REFERENCES

- [1] Rannou A., Aubert B., et Scanff P. (2006)
Exposition de la population française aux rayonnements ionisants
Rapport IRSN/DRPH/SER 2006-02
- [2] Directive 97/43 EURATOM
- [3] Directive 96/29 EURATOM
- [4] Etard C., Sinno-Tellier S., Aubert B. (2010)
Exposition de la population française aux rayonnements ionisants liée aux actes de diagnostic médical en 2007
Rapport InVS / IRSN
Institut de Veille Sanitaire - Département Santé Environnement
- [5] Roch P.
Analyse des données relatives à la mise à jour des niveaux de référence diagnostiques en radiologie et en médecine nucléaire - Bilan 2007-2008 - Rapport DRPH n° 2010-15
- [6] Société Française de Radiologie (2001, 2004)
Les procédures radiologiques : réalisation, critères de qualité et optimisation. Société française de radiologie et Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire, <http://www.sfrnet.org> ou lien direct : <http://pagesperso-orange.fr/eassa.cordo/SFROPRI/index.htm>
- [7] Logiciel SAS®, *Statistical Analysis System*, édité par le SAS Institute.
- [8] Arrêté du 12 février 2004 relatif aux niveaux de référence diagnostiques en radiologie et en médecine nucléaire
- [9] Stamm G. et Nagel HD. (2005)
Logiciel CTExpo V1.6, 2005
- [10] PCXMC 2.0, A monte Carlo program for calculating patient doses in medical x-ray examination, STUK, Helsinki, Finland, version 2.0, 2006.
- [11] European Commission (2008)
European Guidance on Estimating Population Doses from Medical X-Ray Procedures
Radiation Protection n° 154, European Commission, DG Energy-Transport, 2008
- [12] International Commission on Radiological protection (1990)
Recommandations 1990 de la Commission Internationale de protection Radiologique
Publication 60 de la CIPR (1990) - Edition en langue française - Pergamon Press, Oxford.
- [13] International Commission on Radiological protection (2007)
Recommandations 2007 de la Commission Internationale de protection Radiologique
Publication 103 de la CIPR (2007) - Edition en langue française - Editions Tec&Doc - Paris.

GLOSSAIRE

Dose absorbée (D)

La dose absorbée est l'énergie cédée par les rayonnements ionisants dans la matière, par unité de masse de cette dernière. Le terme « dose moyenne » utilisé dans ce rapport désigne la dose absorbée moyenne reçue par un tissu ou un organe.

L'unité de dose absorbée est le gray (Gy). Un sous-multiple fréquemment utilisé en radiologie est le milligray (mGy).

Dose efficace (E)

La dose efficace (E) est la somme des doses équivalentes pondérées délivrées par exposition interne et externe aux différents tissus et organes du corps mentionnés dans l'arrêté du 1^{er} septembre 2003 définissant les modalités de calcul de la dose efficace. Elle est définie par la formule :

$$E = \sum (w_T \times \sum (w_R \times D_{T,R}))$$

où :

- $D_{T,R}$ est la moyenne pour l'organe ou le tissu T de la dose absorbée du rayonnement R ;
- w_R est le facteur de pondération pour le rayonnement R et w_T est le facteur de pondération pour le tissu ou l'organe T.

Les valeurs appropriées de w_T et w_R sont fixées dans l'arrêté du 1^{er} septembre 2003. En radiologie, w_R est égal à 1.

Dans le domaine particulier de la radiologie :

$$E = \sum (w_T \times D_T)$$

L'unité de dose efficace est le sievert (Sv). Un sous-multiple fréquemment utilisé est le millisievert (mSv).

Produit dose x surface (PDS)

Le produit dose x surface (PDS) est une grandeur dosimétrique spécifique à la radiologie conventionnelle. Le PDS est égal au produit de la dose absorbée dans l'air à une distance d du foyer du tube à rayon X, par la surface du champ exposé à cette même distance.

Il est mesuré à l'aide d'une chambre d'ionisation à transmission, située en sortie du tube à rayons X. Il est indépendant de la distance à laquelle on le mesure.

L'unité du PDS est le Gy.m², ou ses sous-multiples tels que le mGy.cm² ou le µGy.m².

Indice de dose scanographique (IDSV ou CTDI_{vol})

Le CTDI_{vol} est une grandeur dosimétrique spécifique à la scanographie. Il caractérise la dose absorbée moyenne délivrée dans chaque coupe, en prenant la compte les coupes précédentes et suivantes.

L'unité usuelle du CTDI_{vol} est le milligray (mGy).

Produit dose x longueur (PDL)

Le produit dose x longueur (PDL) est une grandeur dosimétrique spécifique à la scanographie. Le PDL est égal au produit du $CTDI_{vol}$ par la longueur explorée.

L'unité usuelle du PDL est le mGy.cm.

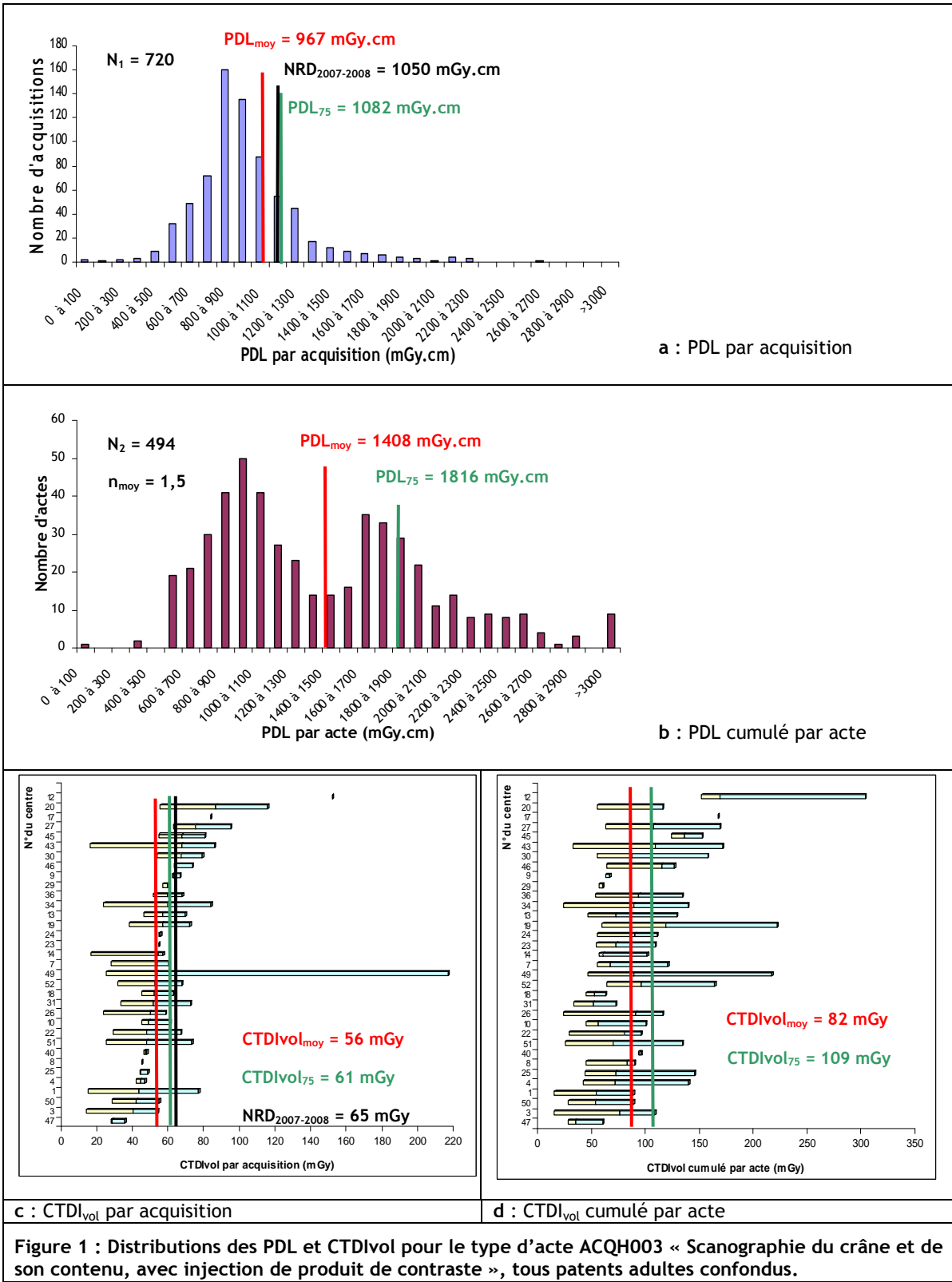
Niveau de référence diagnostiques (NRD)

Les niveaux de référence diagnostiques sont des niveaux indicateurs servant de guide pour la mise en œuvre du principe d'optimisation. En radiologie, ils sont définis par des valeurs de dose absorbée à la peau du patient ou par des valeurs de produit dose x surface, selon l'arrêté du 12 février 2004 [8].

ANNEXE 1

**Distribution des PDL et des $CTDI_{vol}$ pour les types d'acte
scanographique étudiés**

Scanographie du crâne et de son contenu, avec injection de produit de contraste



Scanographie du crâne et de son contenu, sans injection de produit de contraste

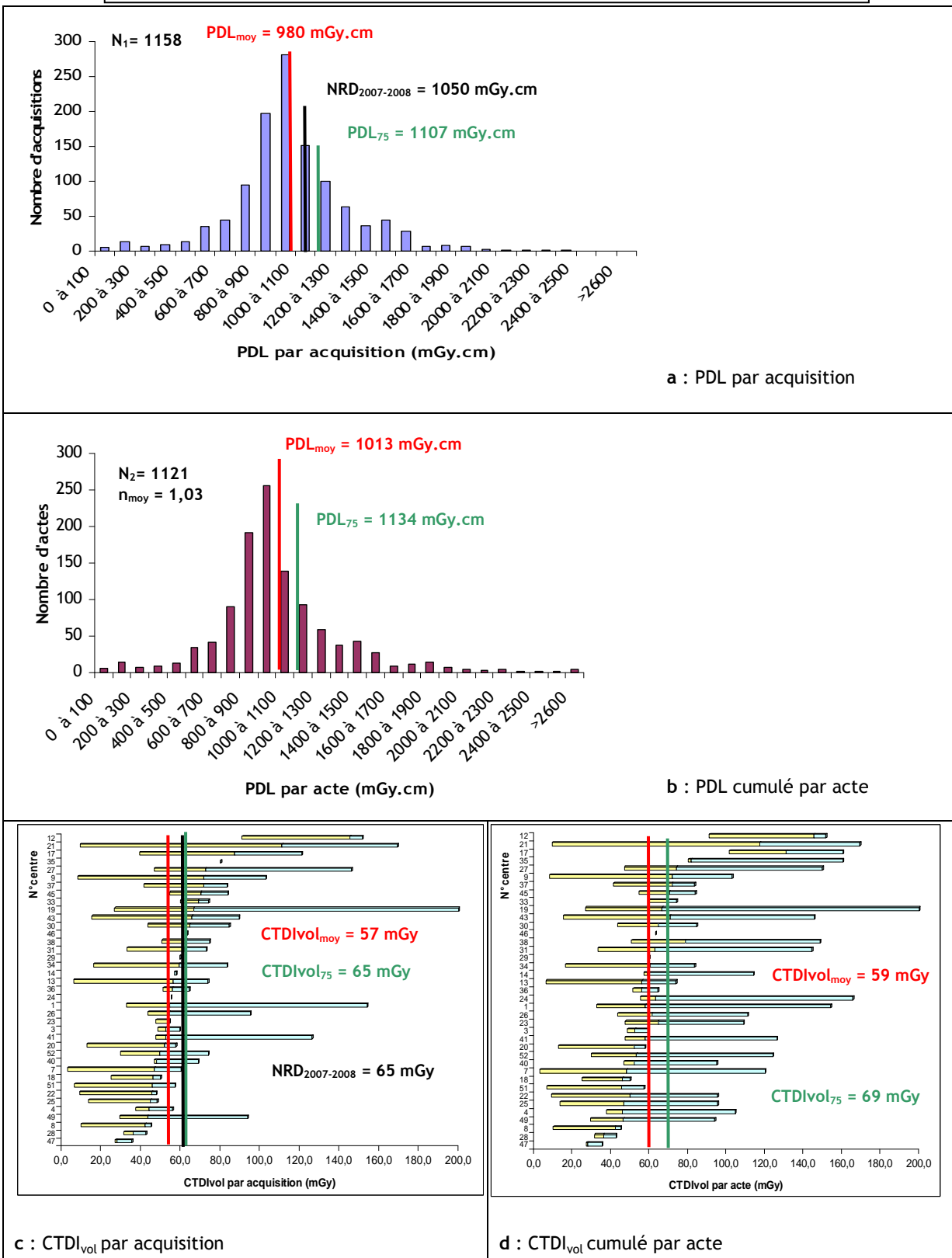


Figure 2 : Distributions des PDL et CTDIvol pour le type d'acte ACQK001 « Scanographie du crâne et de son contenu, sans injection de produit de contraste », tous patients adultes confondus.

Scanographie du thorax, avec injection de produit de contraste

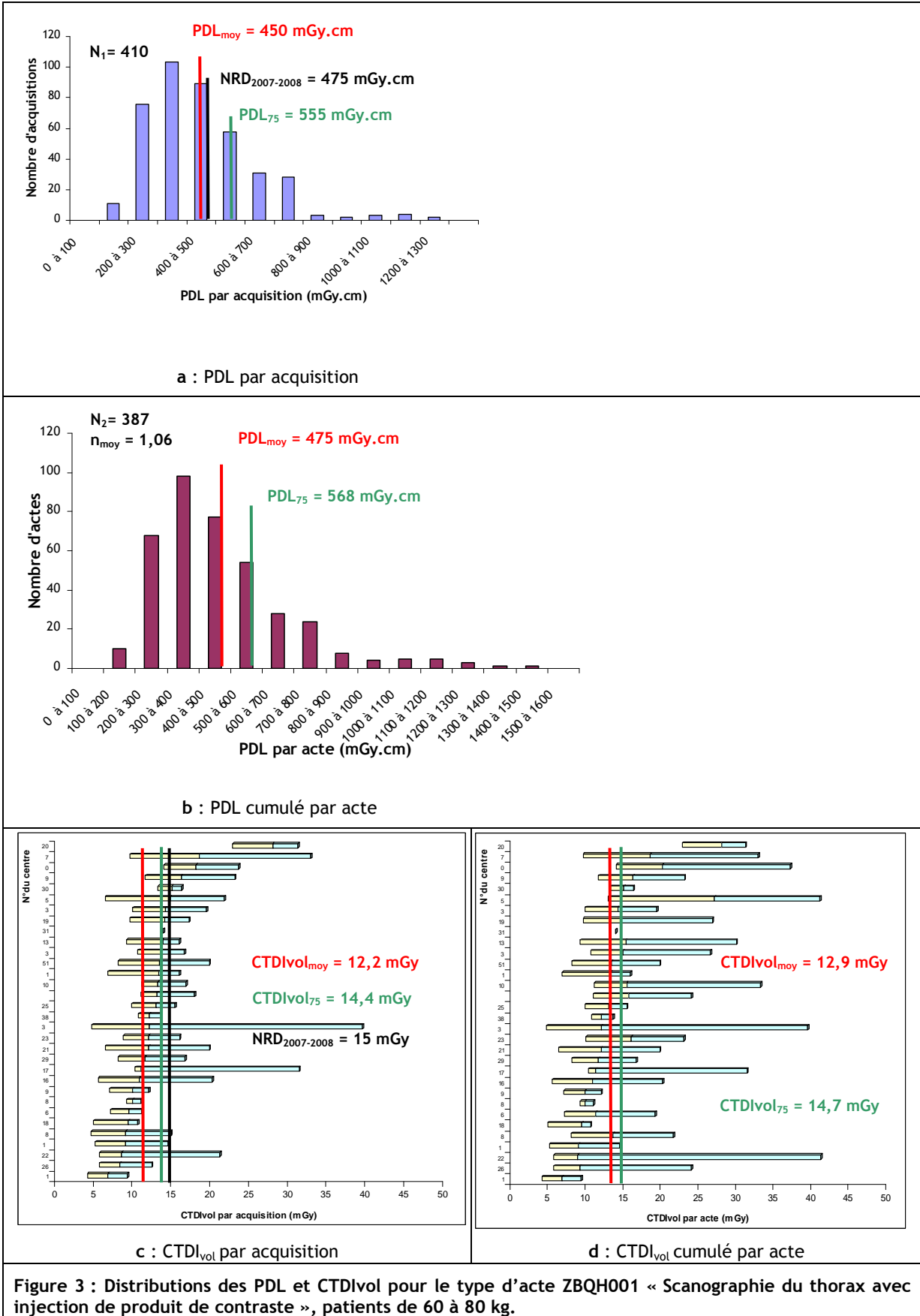
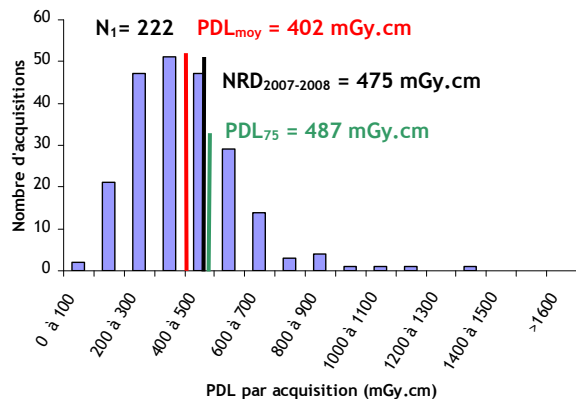
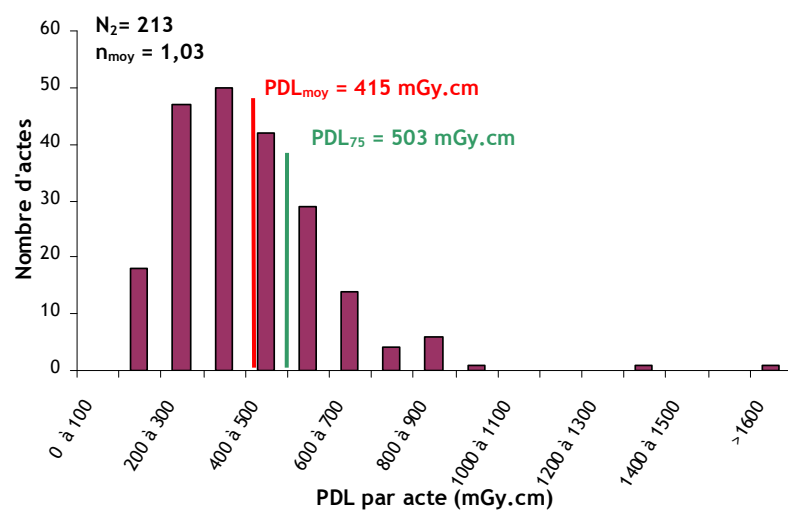


Figure 3 : Distributions des PDL et CTDIvol pour le type d'acte ZBQH001 « Scanographie du thorax avec injection de produit de contraste », patients de 60 à 80 kg.

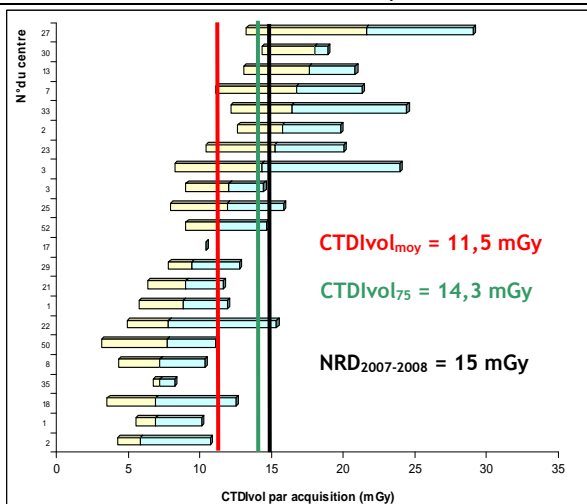
Scanographie du thorax, sans injection de produit de contraste



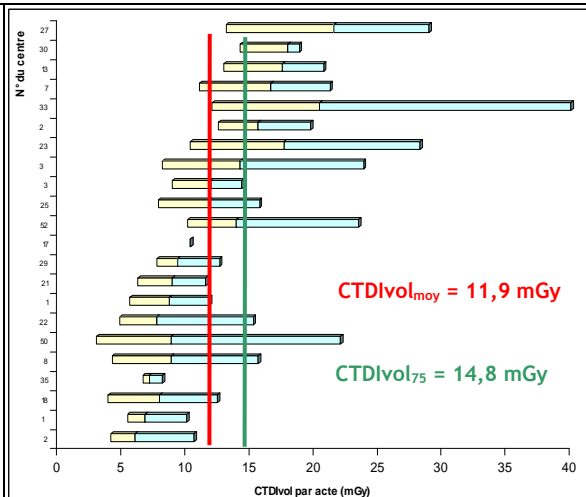
a : PDL par acquisition



b : PDL cumulé par acte



c : CTDI_{vol} par acquisition



d : CTDI_{vol} cumulé par acte

Figure 4 : Distributions des PDL et CTDI_{vol} pour le type d'acte ZBQK001 « Scanographie du thorax sans injection de produit de contraste », patients de 60 à 80 kg.

Scanographie de l'abdomen et du pelvis, avec injection de produit de contraste

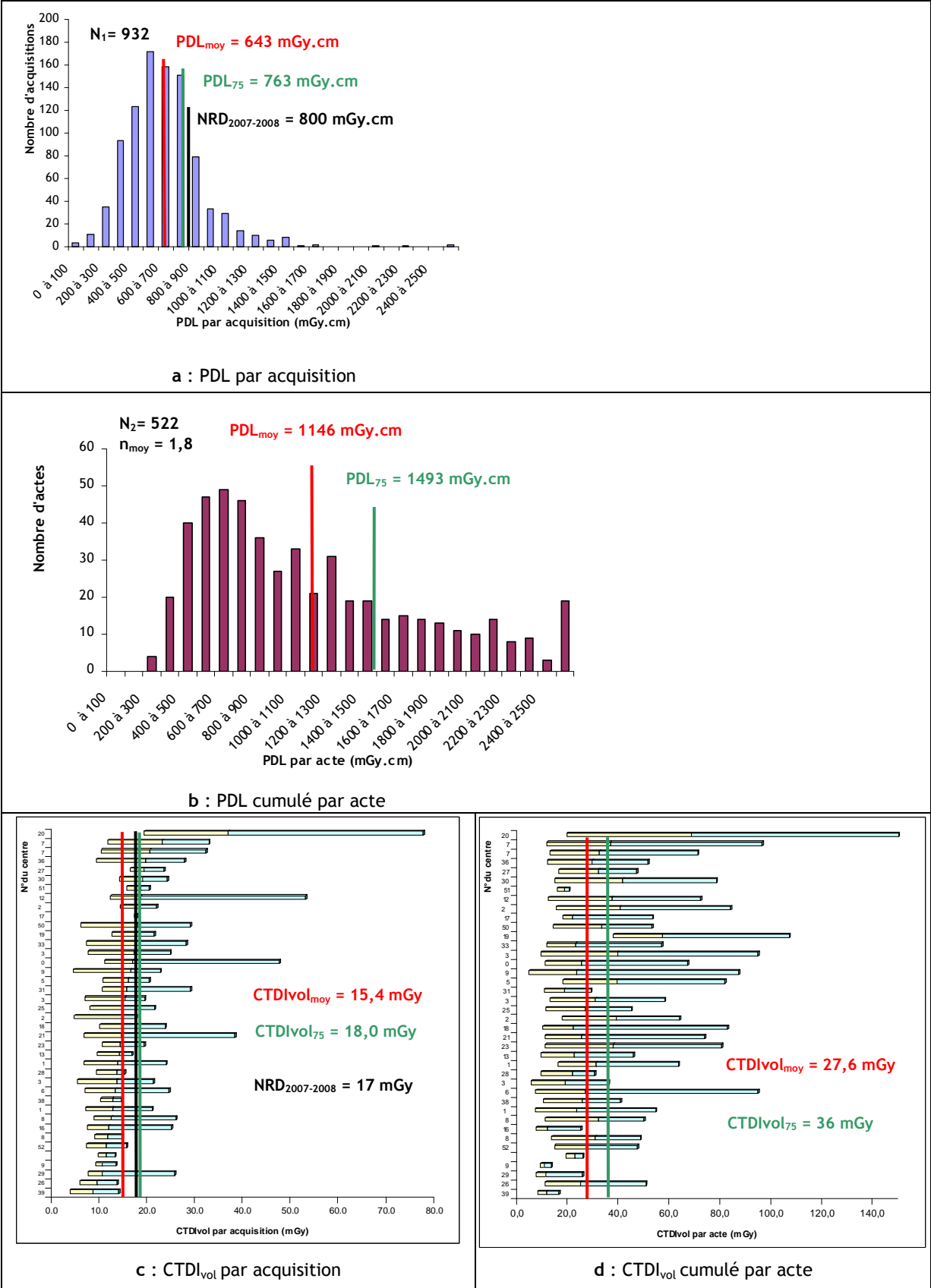
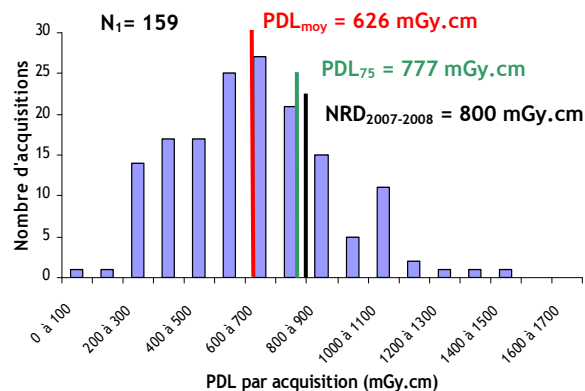
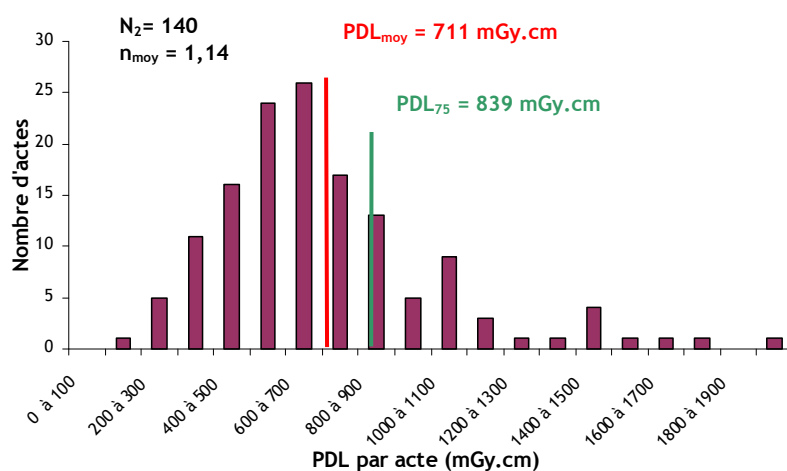


Figure 5 : Distributions des PDL et CTDI_{vol} pour le type d'acte ZCQH001 « Scanographie de l'abdomen et du pelvis avec injection de produit de contraste », patients de 60 à 80 kg.

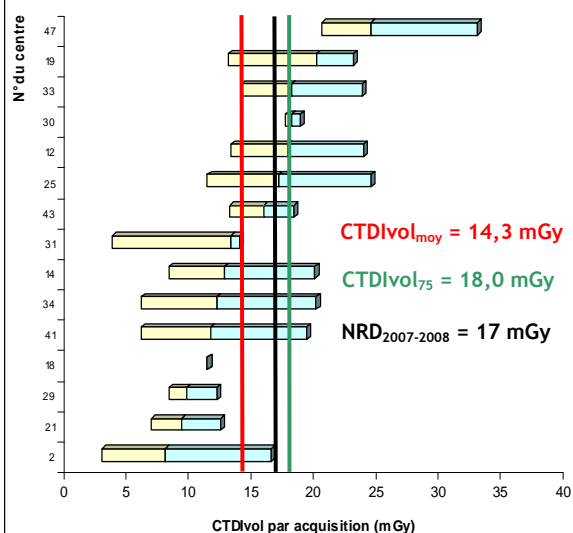
Scanographie de l'abdomen et du pelvis, sans injection de produit de contraste



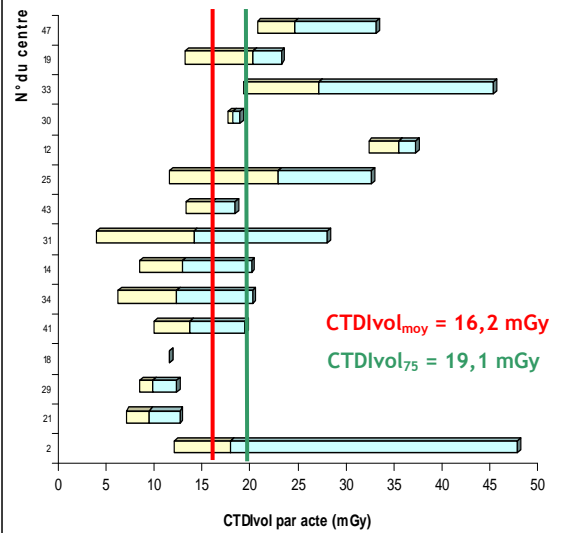
a : PDL par acquisition



b : PDL cumulé par acte



c : CTDI_{vol} par acquisition



d : CTDI_{vol} cumulé par acte

Figure 6 : Distributions des PDL et CTDI_{vol} pour le type d'acte ZCQK004 « Scanographie de l'abdomen et du pelvis sans injection de produit de contraste », patients de 60 à 80 kg.

Scanographie du thorax, de l'abdomen et du pelvis (TAP), avec injection de produit de contraste

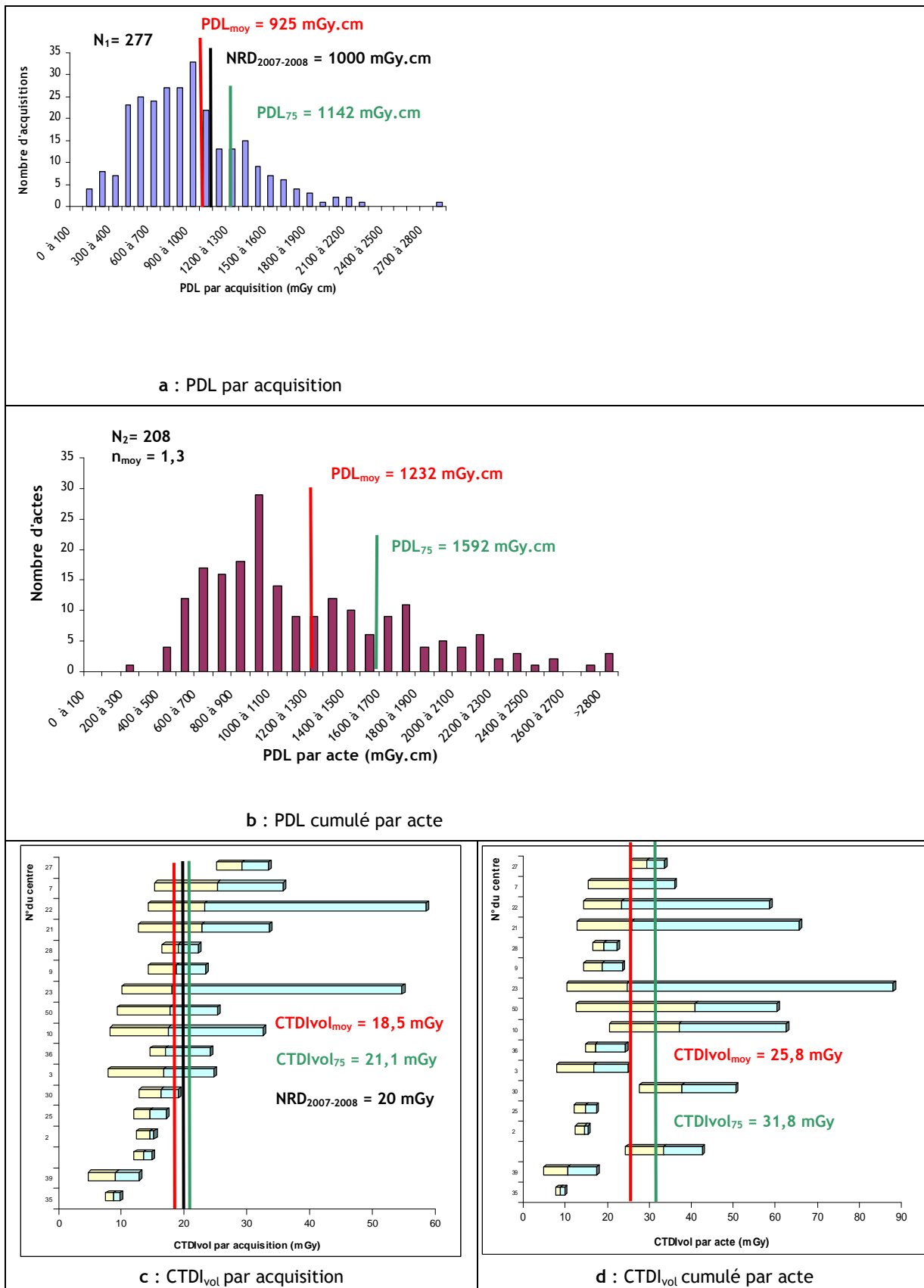


Figure 7 : Distributions des PDL et CTDIvol pour le type d'acte « Scanographie du thorax, de l'abdomen et du pelvis (TAP) avec injection de produit de contraste », patients de 60 à 80 kg.

Scanographie du thorax et de l'abdomen (TA), avec injection de produit de contraste

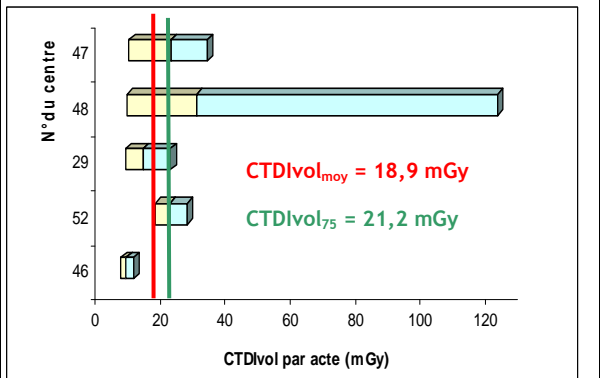
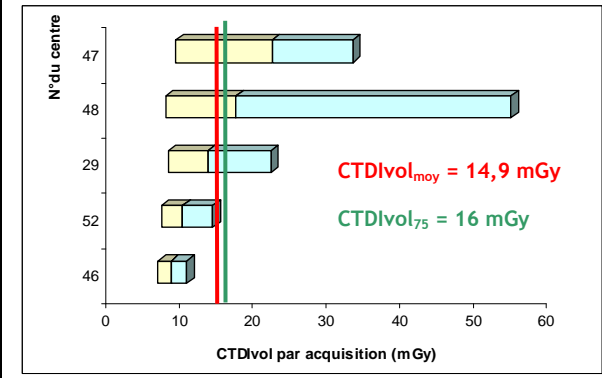
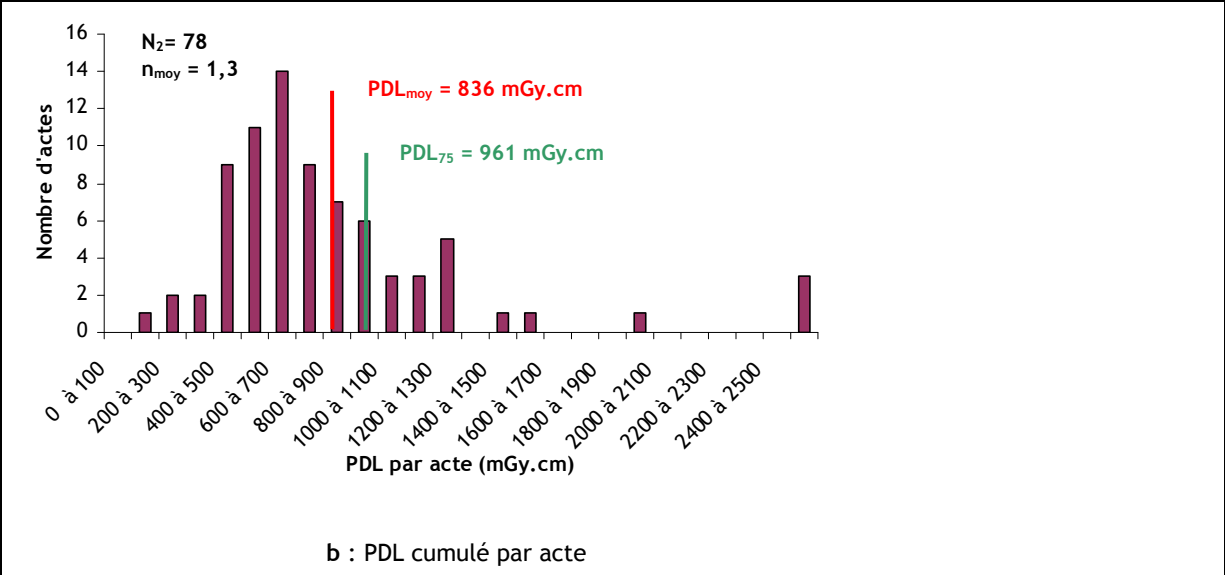
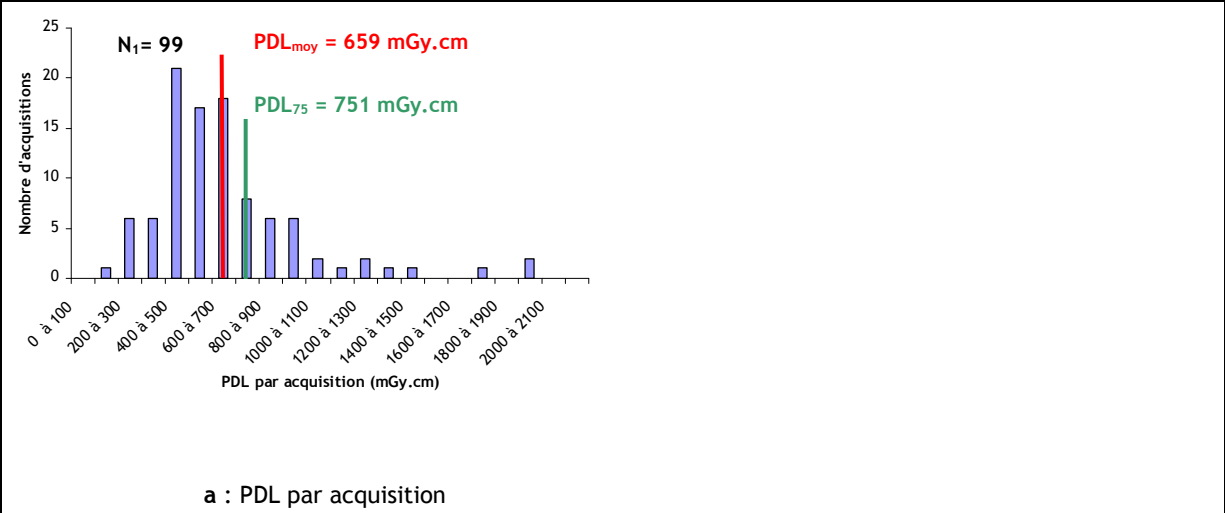
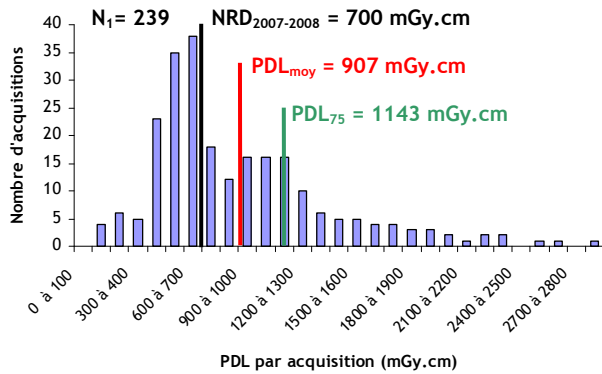
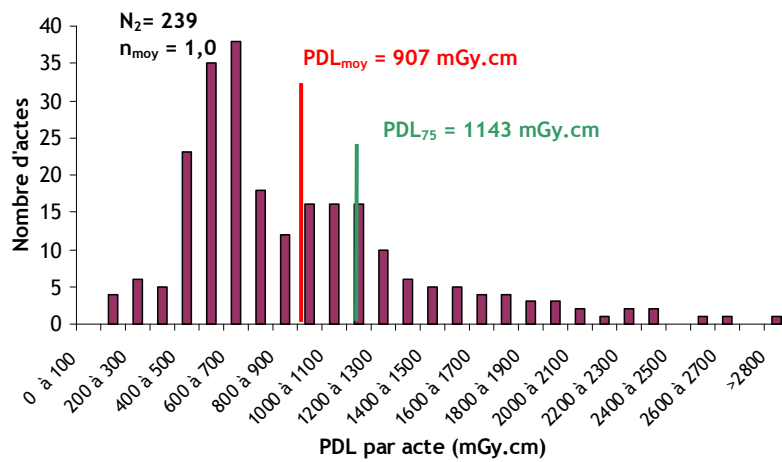


Figure 8 : Distributions des PDL et CTDI_{vol} pour le type d'acte « Scanographie du thorax et de l'abdomen (TA) avec injection de produit de contraste », patients de 60 à 80 kg.

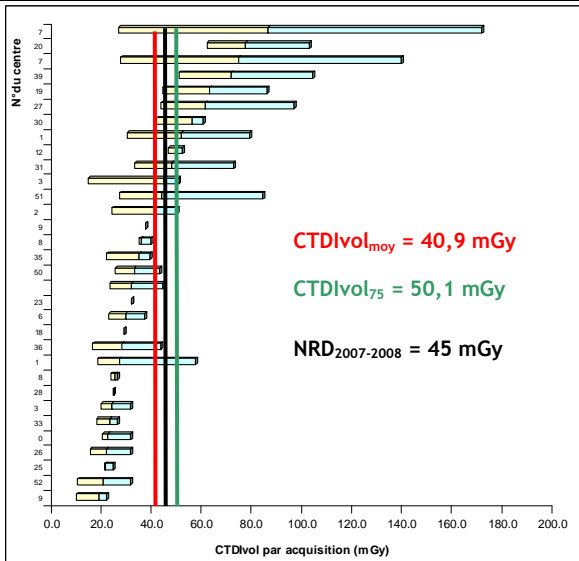
Scanographie d'un segment de la colonne vertébrale, sans injection de produit de contraste



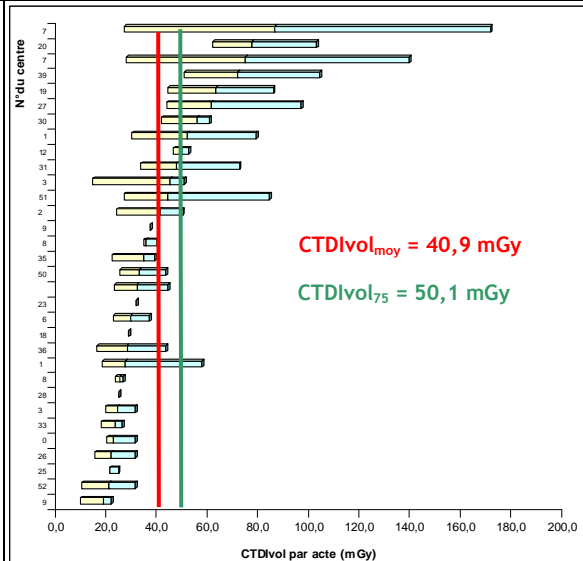
a : PDL par acquisition (NRD pour le segment lombaire)



b : PDL cumulé par acte



c : CTDI_{vol} par acquisition (NRD pour le segment lombaire)



d : CTDI_{vol} par acte

Figure 9 : Distributions des PDL et CTDI_{vol} pour le type d'acte LHQK001 « Scanographie d'un segment de la colonne vertébrale sans injection de produit de contraste », patients de 60 à 80 kg.

Scanographie des vaisseaux du thorax et/ou du cœur [angioscanner thoracique]

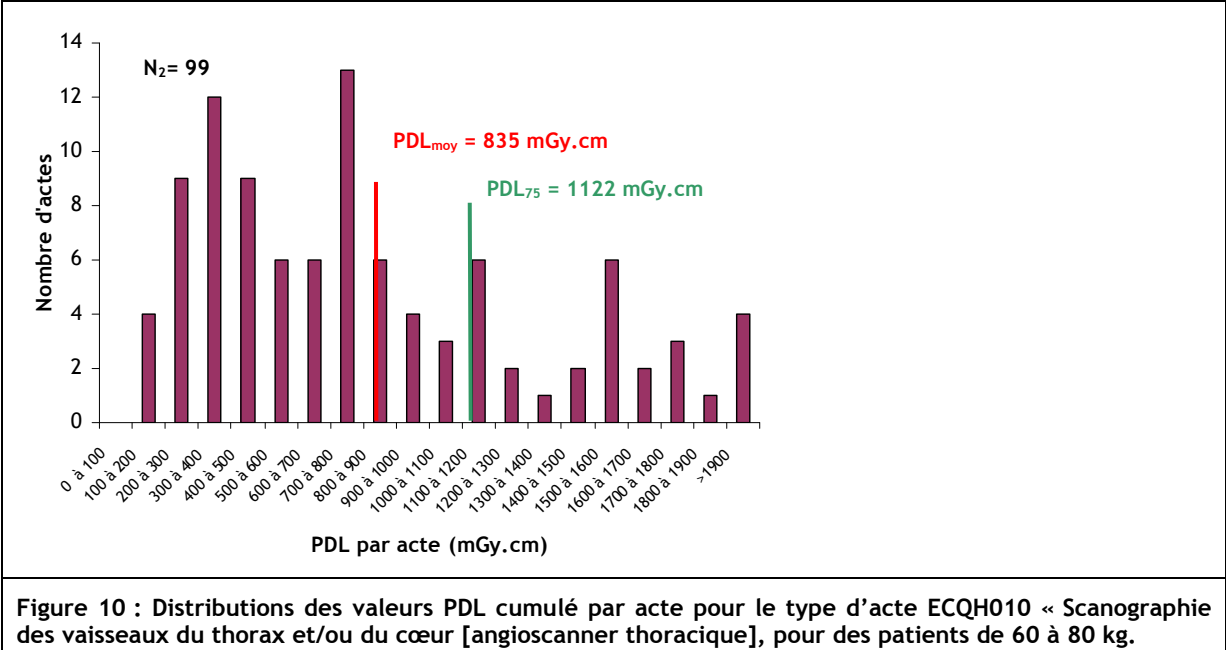


Figure 10 : Distributions des valeurs PDL cumulé par acte pour le type d'acte ECQH010 « Scanographie des vaisseaux du thorax et/ou du cœur [angioscanner thoracique], pour des patients de 60 à 80 kg.

ANNEXE 2

**Distribution des PDS pour les types d'acte de radiologie
conventionnelle étudiés**

Actes pédiatriques

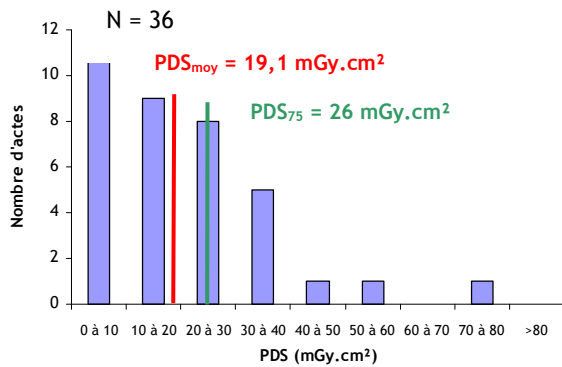


Figure 1 : Radiographie du thorax (ZBQK002) chez l'enfant de $5 \pm 2 \text{ kg}$.

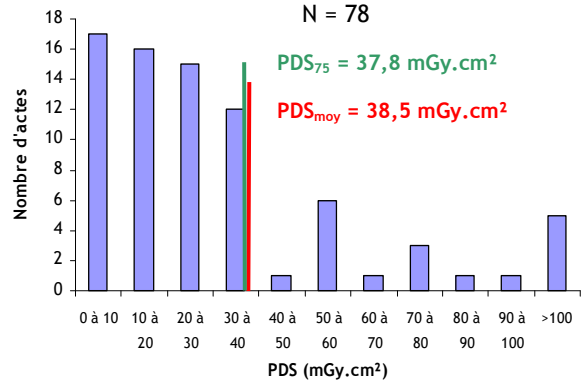


Figure 2 : Radiographie du thorax (ZBQK002) chez l'enfant de $10 \pm 3 \text{ kg}$.

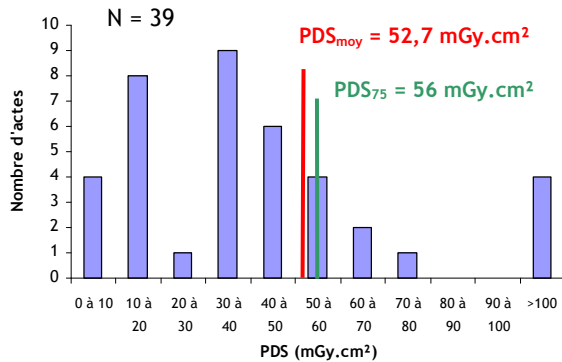


Figure 3 : Radiographie du thorax (ZBQK002) chez l'enfant de $20 \pm 3 \text{ kg}$.

Actes « adultes »

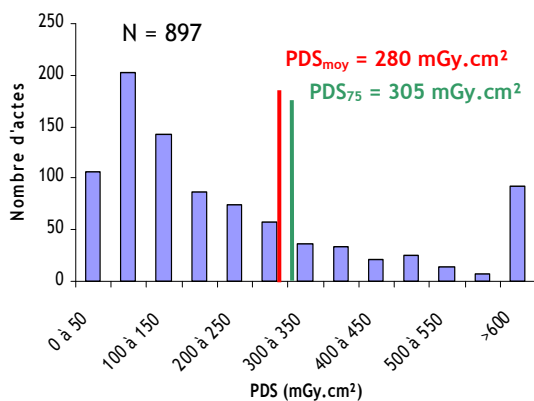


Figure 4 : Radiographie du thorax (ZBQK002). Patients de 60 à 80 kg.

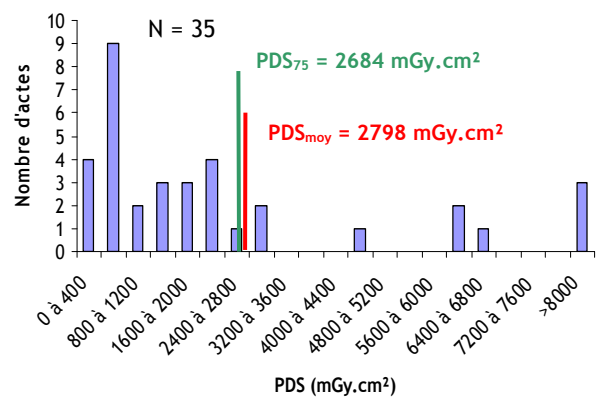


Figure 5 : Radiographie du thorax avec radiographie du squelette du thorax (LJQK002). Patients de 60 à 80 kg.

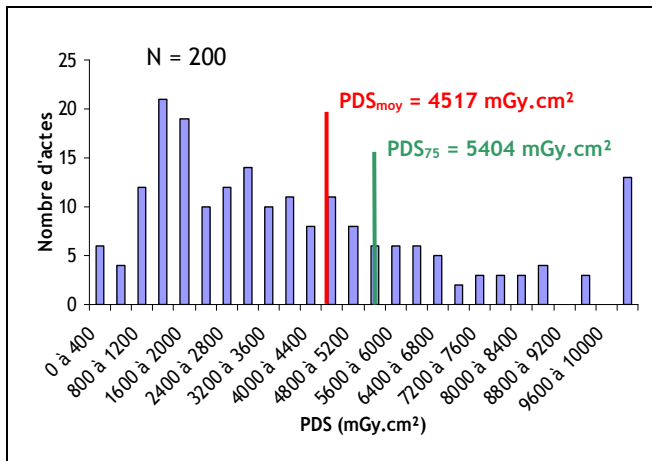


Figure 6 : Radiographie de l'abdomen sans préparation (ZCQK002). Patients de 60 à 80 kg.

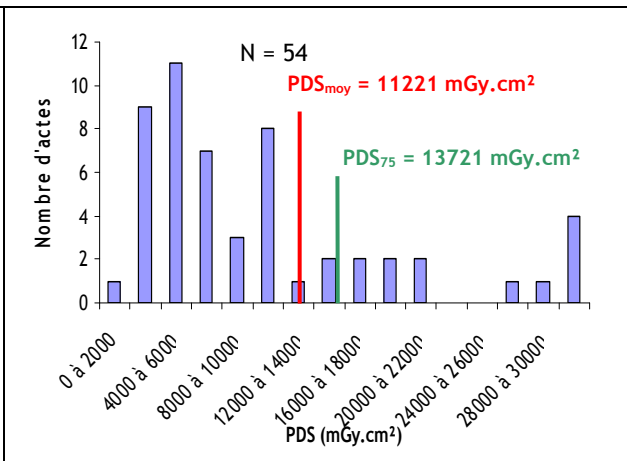


Figure 7 : Radiographie du segment lombaire de la colonne vertébrale selon 1 à 3 incidences (LFQK002). Patients de 60 à 80 kg.

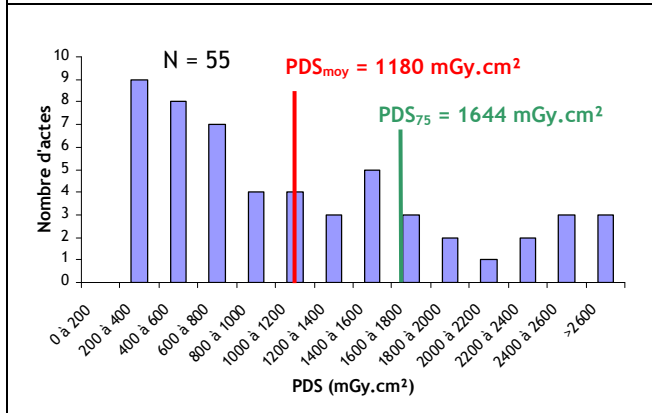


Figure 8 : Radiographie du segment cervical de la colonne vertébrale selon 1 à 3 incidences (LFQK002). Patients de 60 à 80 kg.

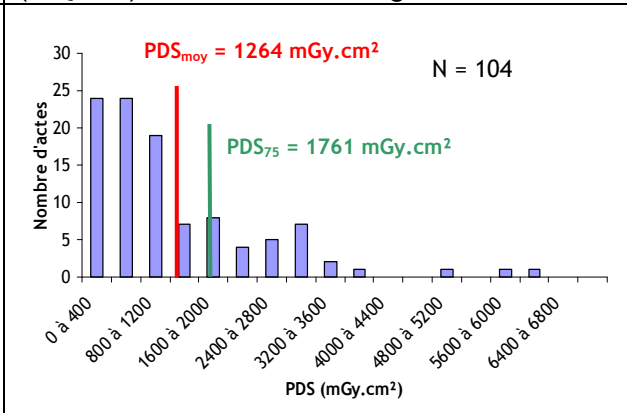


Figure 9 : Radiographie de la ceinture scapulaire et/ou de l'épaule selon 1 ou 2 incidences (MAQK003). Patients de 60 à 80 kg.

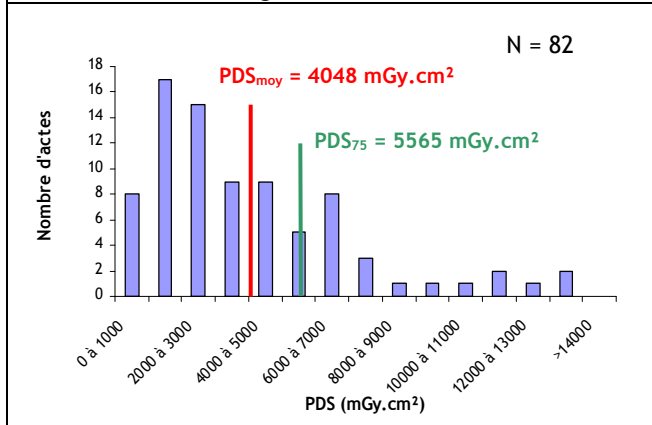


Figure 10 : Radiographie de la ceinture pelvienne [du bassin] selon 1 incidence (NAQK015).

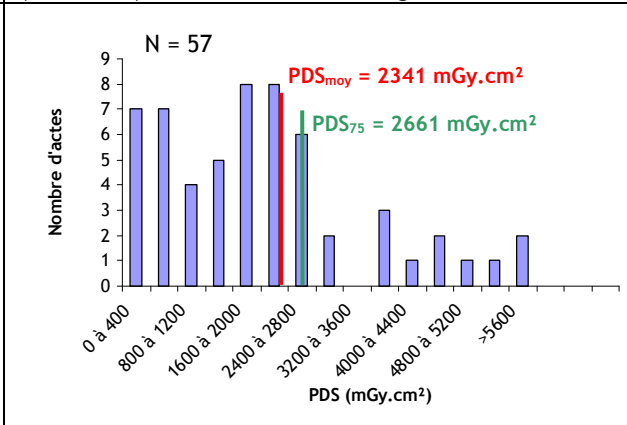


Figure 11 : Radiographie de l'articulation coxofémorale selon 1 ou 2 incidences (NEQK010).

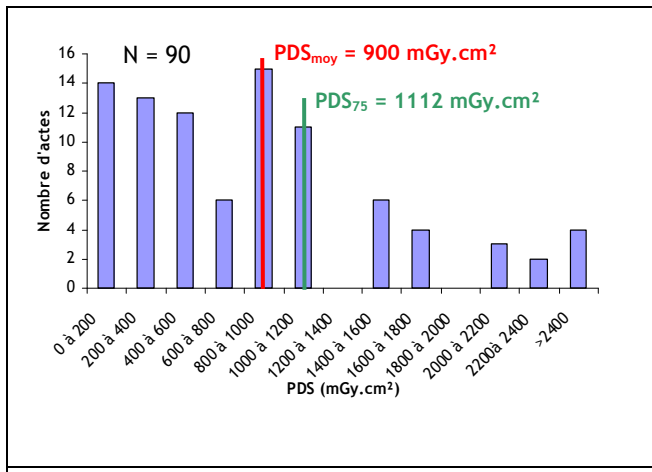


Figure 12 : Radiographie du crâne et/ou du massif facial selon 1 ou 2 incidences (LAQK003).

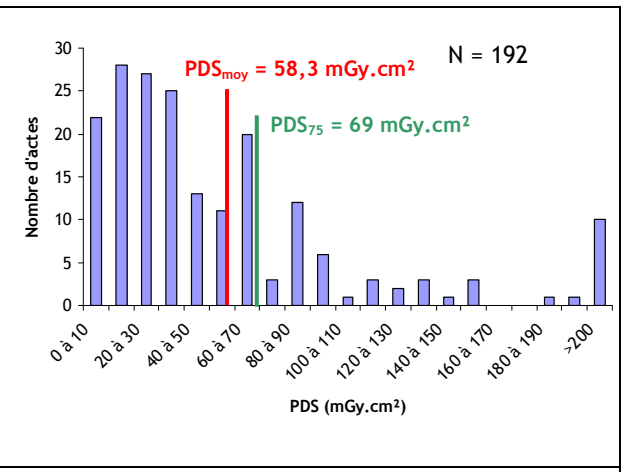


Figure 13 : Radiographie de la main ou de doigt (MDQK001).

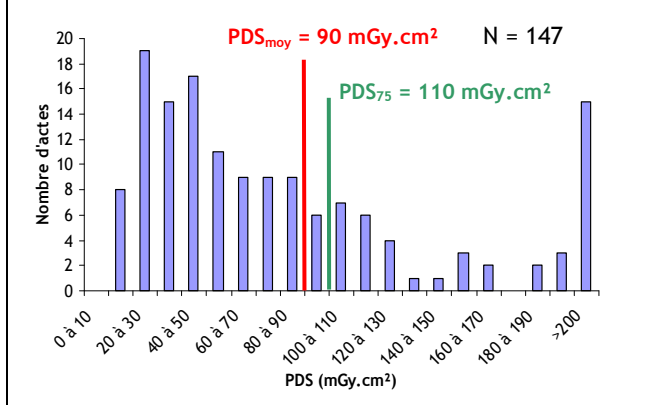


Figure 14 : Radiographie du poignet selon 1 ou 2 incidences (MGQK003).

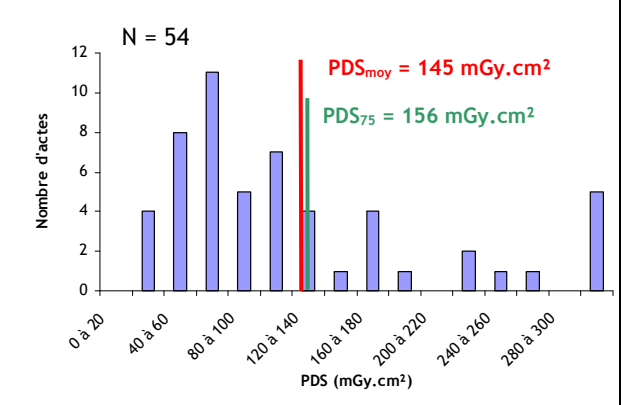


Figure 15 : Radiographie du coude selon 1 ou 2 incidences (MFQK002).

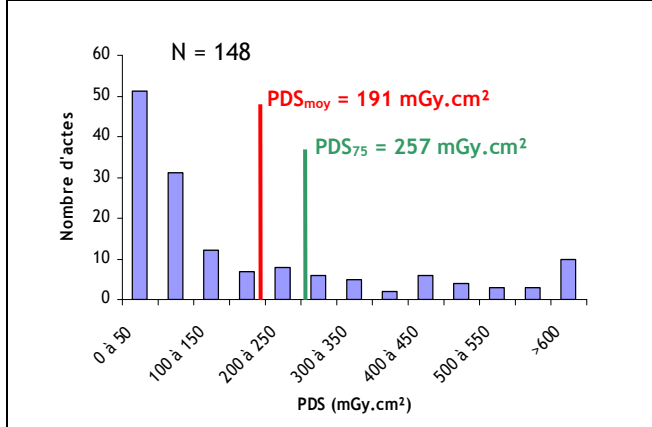


Figure 16 : Radiographie unilatérale du pied selon 1 à 3 incidences (NDQK001).

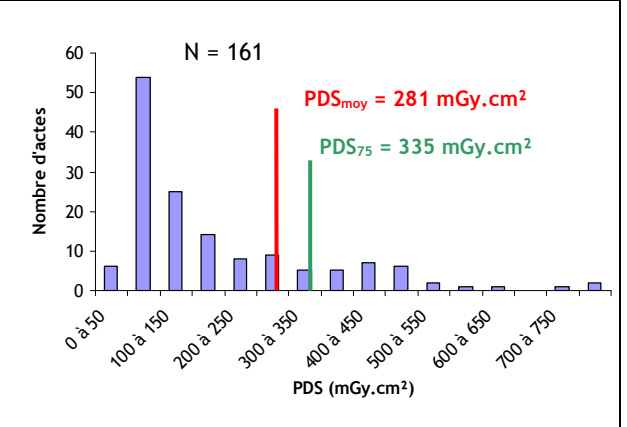


Figure 17 : Radiographie de la cheville selon 1 à 3 incidences (NGQK001).

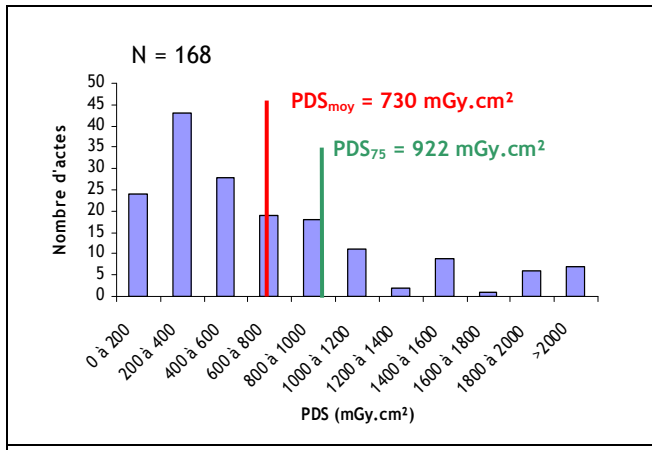


Figure 18 : Radiographie unilatérale du genou selon 1 ou 2 incidences (NFQK001).

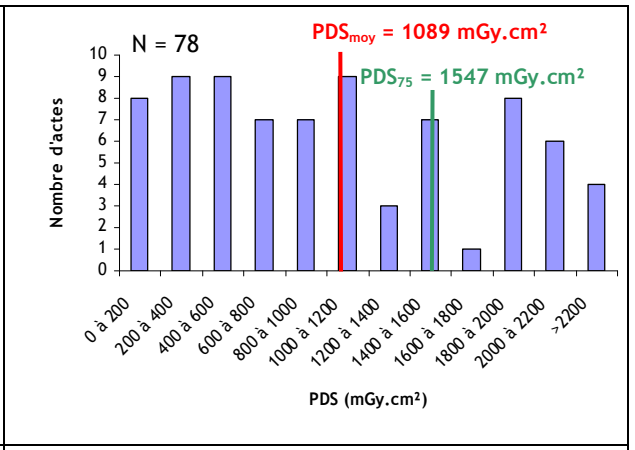


Figure 19 : Radiographie du genou selon 3 ou 4 incidences (NFQK003).