

Année 2019/2020

N°

Thèse

Pour le

DOCTORAT EN MEDECINE

Diplôme d'État

par

Benjamin MEUNIER

Né le 14/09/1991 à Blois (41)

TITRE

Simulation de radiographies pulmonaires pédiatriques à doses de rayons X décroissantes : un outil innovant de radioprotection

Présentée et soutenue publiquement le **mercredi 8 avril 2020** devant un jury composé de :

Président du Jury :

Professeur Laurent BRUNEREAU, Radiologie et imagerie médicale, Faculté de Médecine – Tours

Membres du Jury :

Professeur Jean-Philippe COTTIER, Radiologie et imagerie médicale, Faculté de Médecine – Tours

Professeur Frédéric PATAT, Biophysique et médecine nucléaire, Faculté de Médecine – Tours

Directeur de thèse : Docteur Baptiste MOREL, Radiologie et imagerie médicale, MCU-PH, Faculté de Médecine – Tours

UNIVERSITE DE TOURS
FACULTE DE MEDECINE DE TOURS

DOYEN

Pr Patrice DIOT

VICE-DOYEN

Pr Henri MARRET

ASSESEURS

Pr Denis ANGOULVANT, Pédagogie

Pr Mathias BUCHLER, Relations internationales

Pr Theodora BEJAN-ANGOULVANT, Moyens – relations avec l'Université

Pr Clarisse DIBAO-DINA, Médecine générale

Pr François MAILLOT, Formation Médicale Continue

Pr Patrick VOUREC'H, Recherche

RESPONSABLE ADMINISTRATIVE

Mme Fanny BOBLETER

DOYENS HONORAIRES

Pr Emile ARON (†) – 1962-1966

Directeur de l'Ecole de Médecine - 1947-1962

Pr Georges DESBUQUOIS (†) - 1966-1972

Pr André GOUAZE - 1972-1994

Pr Jean-Claude ROLLAND – 1994-2004

Pr Dominique PERROTIN – 2004-2014

PROFESSEURS EMERITES

Pr Daniel ALISON

Pr Philippe ARBEILLE

Pr Catherine BARTHELEMY

Pr Gilles BODY

Pr Jacques CHANDENIER

Pr Alain CHANTEPIE

Pr Pierre COSNAY

Pr Etienne DANQUECHIN-DORVAL

Pr. Dominique GOGA

Pr Alain GOUDEAU

Pr Anne-Marie LEHR-DRYLEWICZ

Pr Gérard LORETTE

Pr Roland QUENTIN

Pr Elie SALIBA

PROFESSEURS HONORAIRES

P. ANTHONIOZ – A. AUDURIER – A. AUTRET – P. BAGROS – P. BARDOS – J.L. BAULIEU – C. BERGER – JC. BESNARD – P. BEUTTER – C. BONNARD – P. BONNET – P. BOUGNOUX – P. BURDIN – L. CASTELLANI – B. CHARBONNIER – P. CHOUTET – T. CONSTANS – C. COUET – L. DE LA LANDE DE CALAN – J.P. FAUCHIER – F. FETISSOF – J. FUSCIARDI – P. GAILLARD – G. GINIES – A. GOUAZE – J.L. GUILMOT – N. HUTEN – M. JAN – J.P. LAMAGNERE – F. LAMISSE – Y. LANSION – O. LE FLOCH – Y. LEBRANCHU – E. LECA – P. LECOMTE – E. LEMARIE – G. LEROY – M. MARCHAND – C. MAURAGE – C. MERCIER – J. MOLINE – C. MORAINÉ – J.P. MUH – J. MURAT – H. NIVET – L. POURCELOT – P. RAYNAUD – D. RICHARD-LENOBLE – A. ROBIER – J.C. ROLLAND – D. ROYERE – A. SAINDELLE – J.J. SANTINI – D. SAUVAGE – D. SIRINELLI – B. TOUMIEUX – J. WEILL

PROFESSEURS DES UNIVERSITES - PRATICIENS HOSPITALIERS

ANDRES Christian	Biochimie et biologie moléculaire
ANGOULVANT Denis	Cardiologie
AUPART Michel	Chirurgie thoracique et cardiovasculaire
BABUTY Dominique	Cardiologie
BAKHOS David	Oto-rhino-laryngologie
BALLON Nicolas	Psychiatrie ; addictologie
BARILLOT Isabelle	Cancérologie ; radiothérapie
BARON Christophe	Immunologie
BEJAN-ANGOULVANT Théodora	Pharmacologie clinique
BERNARD Anne	Cardiologie
BERNARD Louis	Maladies infectieuses et maladies tropicales
BLANCHARD-LAUMONNIER Emmanuelle	Biologie cellulaire
BLASCO Hélène	Biochimie et biologie moléculaire
BONNET-BRILHAULT Frédérique	Physiologie
BRILHAULT Jean	Chirurgie orthopédique et traumatologique
BRUNEREAU Laurent	Radiologie et imagerie médicale
BRUYERE Franck	Urologie
BUCHLER Matthias	Néphrologie
CALAIS Gilles	Cancérologie, radiothérapie
CAMUS Vincent	Psychiatrie d'adultes
COLOMBAT Philippe	Hématologie, transfusion
CORCIA Philippe	Neurologie
COTTIER Jean-Philippe	Radiologie et imagerie médicale
DE TOFFOL Bertrand	Neurologie
DEQUIN Pierre-François	Thérapeutique
DESOUBEUX Guillaume	Parasitologie et mycologie
DESTRIEUX Christophe	Anatomie
DIOT Patrice	Pneumologie
DU BOUEXIC de PINIEUX Gonzague	Anatomie & cytologie pathologiques
DUCLUZEAU Pierre-Henri	Endocrinologie, diabétologie, et nutrition
DUMONT Pascal	Chirurgie thoracique et cardiovasculaire
EL HAGE Wissam	Psychiatrie adultes
EHRMANN Stephan	Réanimation
FAUCHIER Laurent	Cardiologie
FAVARD Luc	Chirurgie orthopédique et traumatologique
FOUGERE Bertrand	Gériatrie
FOUQUET Bernard	Médecine physique et de réadaptation
FRANCOIS Patrick	Neurochirurgie
FROMONT-HANKARD Gaëlle	Anatomie & cytologie pathologiques
GAUDY-GRAFFIN Catherine	Bactériologie-virologie, hygiène hospitalière
GOUPILLE Philippe	Rhumatologie
GRUEL Yves	Hématologie, transfusion
GUERIF Fabrice	Biologie et médecine du développement et de la reproduction
GUYETANT Serge	Anatomie et cytologie pathologiques
GYAN Emmanuel	Hématologie, transfusion
HAILLOT Olivier	Urologie
HALIMI Jean-Michel	Thérapeutique
HANKARD Régis	Pédiatrie
HERAULT Olivier	Hématologie, transfusion
HERBRETEAU Denis	Radiologie et imagerie médicale
HOURIOUX Christophe	Biologie cellulaire
LABARTHE François	Pédiatrie
LAFFON Marc	Anesthésiologie et réanimation chirurgicale, médecine d'urgence
LARDY Hubert	Chirurgie infantile
LARIBI Saïd	Médecine d'urgence
LARTIGUE Marie-Frédérique	Bactériologie-virologie
LAURE Boris	Chirurgie maxillo-faciale et stomatologie
LECOMTE Thierry	Gastroentérologie, hépatologie
LESCANNE Emmanuel	Oto-rhino-laryngologie

LINASSIER Claude	Cancérologie, radiothérapie
MACHET Laurent	Dermato-vénéréologie
MAILLOT François	Médecine interne
MARCHAND-ADAM Sylvain	Pneumologie
MARRET Henri	Gynécologie-obstétrique
MARUANI Annabel	Dermatologie-vénéréologie
MEREGHETTI Laurent	Bactériologie-virologie ; hygiène hospitalière
MITANCHEZ Delphine	Pédiatrie
MORINIERE Sylvain	Oto-rhino-laryngologie
MOUSSATA Driffa	Gastro-entérologie
MULLEMAN Denis	Rhumatologie
ODENT Thierry	Chirurgie infantile
OUAISSI Mehdi	Chirurgie digestive
OULDAMER Lobna	Gynécologie-obstétrique
PAINTAUD Gilles	Pharmacologie fondamentale, pharmacologie clinique
PATAT Frédéric	Biophysique et médecine nucléaire
PERROTIN Dominique	Réanimation médicale, médecine d'urgence
PERROTIN Franck	Gynécologie-obstétrique
PISELLA Pierre-Jean	Ophthalmologie
PLANTIER Laurent	Physiologie
REMERAND Francis	Anesthésiologie et réanimation, médecine d'urgence
ROINGEARD Philippe	Biologie cellulaire
ROSSET Philippe	Chirurgie orthopédique et traumatologique
RUSCH Emmanuel	Epidémiologie, économie de la santé et prévention
SAINT-MARTIN Pauline	Médecine légale et droit de la santé
SALAME Ephrem	Chirurgie digestive
SAMIMI Mahtab	Dermatologie-vénéréologie
SANTIAGO-RIBEIRO Maria	Biophysique et médecine nucléaire
THOMAS-CASTELNAU Pierre	Pédiatrie
TOUTAIN Annick	Génétique
VAILLANT Loïc	Dermato-vénéréologie
VELUT Stéphane	Anatomie
VOURC'H Patrick	Biochimie et biologie moléculaire
WATIER Hervé	Immunologie

PROFESSEUR DES UNIVERSITES DE MEDECINE GENERALE

DIBAO-DINA Clarisse
LEBEAU Jean-Pierre

PROFESSEURS ASSOCIES

MALLET Donatien Soins palliatifs
POTIER Alain Médecine Générale
ROBERT Jean Médecine Générale

PROFESSEUR CERTIFIE DU 2ND DEGRE

MC CARTHY Catherine Anglais

MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES - PRATICIENS HOSPITALIERS

BARBIER Louise.....Chirurgie digestive
BERHOUE Julien Chirurgie orthopédique et traumatologique
BRUNAUT Paul Psychiatrie d'adultes, addictologie
CAILLE Agnès Biostat., informatique médical et technologies de
communication
CLEMENTY Nicolas Cardiologie

DENIS Frédéric	Odontologie
DOMELIER Anne-Sophie	Bactériologie-virologie, hygiène hospitalière
DUFOUR Diane	Biophysique et médecine nucléaire
ELKRIEF Laure	Hépatologie – gastroentérologie
FAVRAIS Géraldine	Pédiatrie
FOUQUET-BERGEMER Anne-Marie	Anatomie et cytologie pathologiques
GATAULT Philippe	Néphrologie
GOUILLEUX Valérie.....	Immunologie
GUILLON Antoine	Réanimation
GUILLON-GRAMMATICO Leslie	Epidémiologie, économie de la santé et prévention
HOARAU Cyrille	Immunologie
IVANES Fabrice	Physiologie
LE GUELLEC Chantal	Pharmacologie fondamentale, pharmacologie clinique
LEFORT Bruno	Pédiatrie
LEGRAS Antoine.....	Chirurgie thoracique
LEMAIGNEN Adrien	Maladies infectieuses
MACHET Marie-Christine	Anatomie et cytologie pathologiques
MOREL Baptiste	Radiologie pédiatrique
PIVER Eric	Biochimie et biologie moléculaire
REROLLE Camille	Médecine légale
ROUMY Jérôme	Biophysique et médecine nucléaire
SAUTENET Bénédicte	Thérapeutique
TERNANT David	Pharmacologie fondamentale, pharmacologie clinique
VUILLAUME-WINTER Marie-Laure	Génétique
ZEMMOURA Ilyess	Neurochirurgie

MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES

AGUILLON-HERNANDEZ Nadia	Neurosciences
BOREL Stéphanie	Orthophonie
NICOGLU Antonine	Philosophie – histoire des sciences et des techniques
PATIENT Romuald.....	Biologie cellulaire
RENOUX-JACQUET Cécile	Médecine Générale

MAITRES DE CONFERENCES ASSOCIES

BARBEAU Ludivine	Médecine Générale
RUIZ Christophe	Médecine Générale
SAMKO Boris	Médecine Générale

CHERCHEURS INSERM - CNRS – INRA

BOUAKAZ Ayache	Directeur de Recherche INSERM – UMR INSERM 1253
CHALON Sylvie	Directeur de Recherche INSERM – UMR INSERM 1253
COURTY Yves	Chargé de Recherche CNRS – UMR INSERM 1100
DE ROCQUIGNY Hugues	Chargé de Recherche INSERM – UMR INSERM 1259
ESCOFFRE Jean-Michel	Chargé de Recherche INSERM – UMR INSERM 1253
GILOT Philippe	Chargé de Recherche INRA – UMR INRA 1282
GOUILLEUX Fabrice	Directeur de Recherche CNRS – UMR CNRS 7001
GOMOT Marie	Chargée de Recherche INSERM – UMR INSERM 1253
HEUZE-VOURCH Nathalie	Chargée de Recherche INSERM – UMR INSERM 1100
KORKMAZ Brice	Chargé de Recherche INSERM – UMR INSERM 1100
LAUMONNIER Frédéric	Chargé de Recherche INSERM - UMR INSERM 1253
MAZURIER Frédéric	Directeur de Recherche INSERM – UMR CNRS 7001
MEUNIER Jean-Christophe	Chargé de Recherche INSERM – UMR INSERM 1259
PAGET Christophe	Chargé de Recherche INSERM – UMR INSERM 1100
RAOUL William	Chargé de Recherche INSERM – UMR CNRS 7001
SI TAHAR Mustapha	Directeur de Recherche INSERM – UMR INSERM 1100
WARDAK Claire	Chargée de Recherche INSERM – UMR INSERM 1253

CHARGES D'ENSEIGNEMENT

Pour l'Ecole d'Orthophonie

DELORE Claire Orthophoniste

GOUIN Jean-Marie Praticien Hospitalier

Pour l'Ecole d'Orthoptie

MAJZOUN Samuel..... Praticien Hospitalier

Pour l'Ethique Médicale

BIRMELE Béatrice Praticien Hospitalier

SERMENT D'HIPPOCRATE

En présence des Maîtres de cette Faculté,
de mes chers condisciples
et selon la tradition d'Hippocrate,
je promets et je jure d'être fidèle aux lois de l'honneur
et de la probité dans l'exercice de la Médecine.

Je donnerai mes soins gratuits à l'indigent,
et n'exigerai jamais un salaire au-dessus de mon travail.

Admis dans l'intérieur des maisons, mes yeux
ne verront pas ce qui s'y passe, ma langue taira
les secrets qui me seront confiés et mon état ne servira pas
à corrompre les mœurs ni à favoriser le crime.

Respectueux et reconnaissant envers mes Maîtres,
je rendrai à leurs enfants
l'instruction que j'ai reçue de leurs pères.

Que les hommes m'accordent leur estime
si je suis fidèle à mes promesses.
Que je sois couvert d'opprobre
et méprisé de mes confrères
si j'y manque.

Remerciements

Aux membres du jury,

A Monsieur le Professeur Laurent BRUNEREAU,

Vous me faites l'honneur de présider cette thèse. Je vous remercie pour vos conseils riches d'enseignement, votre soutien et votre disponibilité. Recevez ici l'expression de ma sincère considération.

A Monsieur le Professeur Jean-Philippe COTTIER,

Vous me faites l'honneur d'être membre de ce jury. Merci pour votre bienveillance et votre humour, pour votre sérénité et votre sagesse. Recevez ici ma sincère reconnaissance et mon profond respect.

A Monsieur le Professeur Frédéric PATAT,

Je vous remercie d'avoir accepté de juger ce travail. Merci pour votre écoute et pour m'avoir accueilli et initié à la recherche dans votre service. Recevez ici l'expression de ma respectueuse considération.

A Monsieur le Docteur Baptiste MOREL,

Je te remercie d'avoir dirigé cette thèse. Merci pour ta motivation, ton accompagnement et ton investissement dans ce travail. Je t'en suis infiniment reconnaissant. Reçois ici mon profond respect.

A ceux qui ont participé à la réalisation de cette étude,

A Paul-Armand, merci pour le sérieux et la qualité inégalable de ton travail, la pertinence de tes conseils, ta disponibilité et le temps que tu as passé sur cette étude. A Ronan, merci pour ton travail qui a permis une double lecture des clichés de cette étude.

A mes co-internes et chefs,

Merci à la team trousseau winter is coming pour ce dernier semestre à Tours dans le rire et la bonne humeur : Thomas, Alex', Pierro, Corentin, Camille, Monsieur relais H, Monsieur Standard et Victor ! Merci à Pauline, Bruno, Kevin, Basile, Tristan, Pears', Hugo, Charlotte, Eglantine, et tous les internes avec qui j'ai partagé mon internat.

A Julien, Clara, Liliana, Alexandra, Sophie, Antoine, Gaëlle, Maxence et au Ribier, merci pour votre gentillesse et votre accompagnement. Merci à tous les radiologues qui m'ont transmis leur savoir durant l'internat.

Merci aux services du CIC-IT et du CCDC, pour m'avoir accueilli et intégré dans vos équipes. Merci aux manipulateurs radio, notamment aux équipes de nuit à Trousseau, qui m'ont permis de bien rire durant ces gardes difficiles.

A mes amis,

A Jonas, pour notre amitié d'enfance, ces heures passées sur Halo, l'appel du bâton, Sopané, et j'en passe. A Raphael, pour ces nuits sur wow. Merci à vous deux pour tous ces bons moments qui ont marqué ma jeunesse.

A Bichette, merci pour ton humour et ces délires dont nous seuls avons le secret (les dromadaires !). A Flo, pour ne pas dire Bourgeois, merci pour ton dynamisme et pour tous ces bars à vin tourangeaux que l'on a écumés. A Sylvain et Tanguy, la team P1, chocolat viennois.

A Maxime M, Marie-Ange et Raphaëlle pour nos sessions ski. A Romain, pour avoir partagé ces innombrables heures à la BU. A Rémy, pour ce périple au Vietnam sans coriandre.

A Francisco, merci pour ces moments légers depuis nos TP d'anat à la fac jusqu'aux tonus orléanais. A Métairy, pour ton accent stéphanois et ces vanes bien salées qu'on se balance quotidiennement. A Sanchez, pour ton énergie et ta bonne humeur. A MCD pour ton franc-parler ! A Wass la menace, pour tes invitations pizz'. Au Pr Layly et à Sandra Bullock, pour avoir partagé mes premiers pas en radiologie à Orléans. A Maxime H, grand chef, merci pour ces soirées chez toi.

A ma belle-famille,

A Philippe et Claudie, merci pour votre générosité, votre accueil chaleureux et tous ces repas bien arrosés. Merci pour votre soutien durant mon année de D4, je ne l'oublierai pas. A Daphné, merci pour ta bienveillance et à Pierre, merci pour ton humour. A Jean-Claude et Nadège, merci pour votre gentillesse, pour nous avoir hébergés à Saint-Jean durant de nos premières vacances.

A Marie-Charlotte, merci pour ces bons moments partagés à Tours et en vacances. Merci de nourrir mon frère au quotidien.

A Héliénie,

Merci, je n'en serai pas là sans toi,
Pour m'avoir tant aimé durant toutes ces années depuis ce gala de médecine,
Pour ta patience et ton soutien inconditionnel dans les moments les plus difficiles,
Pour ce beau projet qu'est Nouméa et tout ce qui nous attend ensuite.

A Mamie,

Merci pour ton affection et ces agréables souvenirs d'enfance. Merci pour tes petits plats durant mes études, pour m'accueillir à bras ouverts lorsque j'arrive à l'improviste.
Je sais que Papi serait fier de moi.

A mes frères,

Merci pour cette complicité qu'est la nôtre. Merci pour votre soutien tout au long de ces études et pour m'avoir supporté durant mes nombreuses périodes de révision.
A toi Hugo, pour ton humour, pour nos voyages et nos rires (#Zion).
A toi Arthur, pour nos passions partagées (#tourbière), j'ai hâte que tu prennes part à nos épopées aux quatre coins du monde.

A mes parents,

Merci,
Pour m'avoir toujours soutenu et encouragé durant mon parcours, avec ses hauts et ses bas.
A toi Maman, pour ton écoute et ta sensibilité, pour nos conversations réconfortantes.
A toi Papa, pour ta générosité et ta disponibilité, pour tes précieux conseils de père.
C'est grâce à vous si je suis arrivé jusqu'ici, je vous dédie ce travail.

Simulation de radiographies pulmonaires pédiatriques à doses de rayons X décroissantes : un outil innovant de radioprotection

Résumé

Objectif : La radiographie pulmonaire est l'un des examens d'imagerie le plus fréquemment réalisé chez l'enfant. La réduction de la dose délivrée est toujours un enjeu majeur en radiologie pédiatrique. L'objectif de notre étude était de déterminer la dose minimale de rayons X à délivrer tout en conservant la qualité d'image des radiographies pulmonaires à l'aide d'un logiciel de simulation de réduction de dose.

Matériels et méthodes : Nous avons inclus soixante enfants ayant bénéficié d'une radiographie pulmonaire, répartis en cinq groupes équitablement représentés en fonction des niveaux de référence diagnostiques (NRD) établis selon des catégories de poids. Le logiciel a simulé pour chaque radiographie, six clichés simulant le bruit photonique correspondant à 100%, 80%, 64%, 50%, 40% et 32% de la dose initiale. Les trois-cent-soixante radiographies ont été notées en aveugle par deux radiologues, selon les sept critères de qualité européens et un critère subjectif d'interprétabilité, en utilisant une échelle visuelle semi quantitative de Likert.

Résultats : Il n'y avait pas de différence significative de notation entre la radiographie de référence (100%) et les radiographies simulées, à 80% de la dose chez les enfants de 5 à 20 kg, à 50% de la dose chez les enfants de 20 à 30 kg, à 40% de la dose chez les enfants de plus de 30 kg. La reproductibilité inter-observateur était bonne.

Conclusion : La dose délivrée peut être réduite de 20% chez les enfants de 5 à 20 kg, de 50% chez les enfants de 20 à 30 kg et de 60% chez les enfants de plus de 30 kg, sans différence dans l'appréciation de la qualité d'image des radiographies pulmonaires. Un logiciel produisant des radiographies simulées avec une dose délivrée décroissante est un outil innovant dans un processus d'optimisation.

Mots clés : ALARA ; radiographie pulmonaire ; enfant ; logiciel ; optimisation

Simulation of pediatric chest radiograph with decreasing x-ray doses : an innovative radioprotection tool

Abstract

Purpose : Chest radiography is one of the most frequent X-ray examinations performed on children. Reducing delivered dose is always a major task. The objective of our study was to determine the minimum dose of X-rays to be delivered while maintaining the image quality of chest radiographs, using dose reduction simulation software.

Materials and methods : We included sixty children who had had a chest radiography in five groups equitably represented according to the diagnostic reference levels (DRL) based on weight ranges. The software simulated for each radiograph six additional simulated photonic noise images corresponding to 100%, 80%, 64%, 50%, 40% and 32% of the initial dose. The three hundred and sixty radiographs were blindly scored by two radiologists, according to the seven European quality criteria and a subjective criterion of interpretability, using a semi quantitative visual Likert scale.

Results : There was no significant difference in scoring between the reference radiograph (100%) and simulated radiographs at 80% of the dose in children between 5 to 20 kg, 50% of the dose in children between 20 to 30 kg, and between simulated radiographs at 40% of the dose in children over 30 kg. Inter-observer reproducibility was good.

Conclusion : Chest radiography dose can be reduced by 20% in children from 5 to 20 kg, 50% in children from 20 and 30 kg and 60% in children over 30 kg, without any difference in the image quality appreciation. Software that produced simulated X-ray with decreasing delivered dose is an innovating tool for an optimization process.

Keywords: ALARA; chest radiography; radioprotection; children; software; optimization

Table des matières

Abréviations	14
1. Introduction	15
2. Matériels et méthodes	16
2.1 Population de l'étude.....	16
2.2 Considérations éthiques	16
2.3 Logiciel de simulation de réduction de dose	16
2.4 Analyse de la qualité d'image	17
2.5 Analyse statistique	18
3. Résultats	19
3.1 Population	19
3.2 Critères de positionnement	19
3.3 Analyse de concordance	20
3.4 Reproductibilité inter-observateur	26
4. Discussion.....	27
5. Conclusion.....	29
6. Références bibliographiques	30
7. Annexe.....	32
Article soumis à Journal of Thoracic Imaging	32

Abréviations

ALARA : As Low As Reasonably Achievable

NRD : Niveaux de Référence Diagnostiques

kg : kilogramme

kV : kiloVoltage

mAs : milliAmpères par seconde

PDS : Produit Dose Surface

cGy.cm² : centiGray par centimètre carré

DICOM : Digital Imaging and COmmunications in Medecine

ICC : coefficient de Corrélation Intra-Classe

1. Introduction

Introduits pour la première fois par la Commission internationale de radioprotection, les Niveaux de Référence Diagnostiques (NRD) sont largement utilisés dans le cadre de processus d'optimisation de l'exposition aux rayonnements ionisants en imagerie médicale (1). La radiographie pulmonaire est l'un des actes d'imagerie le plus fréquemment réalisé en radiologie conventionnelle. Par exemple, les nouveau-nés des unités de soins intensifs ont généralement été soumis à une douzaine de radiographies pulmonaires au cours de leur hospitalisation (2). Au sein de la population pédiatrique, les valeurs de dose maximale recommandée sont fixées en fonction du poids de l'enfant, avec des valeurs spécifiques à chaque type d'examen, selon des niveaux de référence diagnostiques nationaux régulièrement mis à jour (3–7). Le processus de radioprotection est bien illustré par la démarche ALARA « as low as reasonably achievable » signifiant « aussi bas que raisonnablement possible » (8, 9). L'optimisation de l'exposition aux rayonnements ionisants en radiologie pédiatrique est essentielle en raison du risque de lésions radio-induites. Un risque accru de leucémie et de cancer du cerveau a été mis en lien avec une augmentation de l'exposition aux rayonnements, même à faibles doses (10, 11). La radiosensibilité chez l'enfant est multifactorielle, liée à un volume corporel plus faible que chez l'adulte, avec des tissus plus sensibles du fait d'une plus grande proportion de cellules en croissance et une espérance de vie plus longue (12). Les examens de radiologie diagnostique comportent un risque de cancer radio-induit par unité de rayonnement plus élevé chez les nourrissons et les enfants que chez les adultes (13). Au sein de la population pédiatrique, le risque moyen est également plus élevé chez les nourrissons et les jeunes enfants que chez les enfants plus âgés (14). Au cours d'une radiographie pulmonaire, des organes radiosensibles comme la thyroïde et les seins sont exposés aux rayonnements (15).

Les récents développements en matière d'optimisation en radiologie conventionnelle se sont concentrés sur l'augmentation de la qualité d'image par le post-traitement et/ou la diminution de l'irradiation par la modification des constantes physiques (16–18). Cependant, un logiciel innovant permet de simuler pour chaque radiographie, six images supplémentaires avec un bruit photonique simulé correspondant à 100%, 80%, 64%, 50%, 40% et 32% de la dose initiale.

L'objectif de notre étude était de déterminer la dose minimale de rayons X à délivrer tout en conservant la qualité d'image de radiographies pulmonaires pédiatriques à l'aide d'un logiciel de simulation de réduction de dose.

2. Matériels et méthodes

2.1 Population de l'étude

D'avril à août 2019, soixante patients successifs (trente-trois filles et vingt-sept garçons) ayant bénéficié d'une radiographie pulmonaire de face dans notre centre hospitalier universitaire ont été inclus prospectivement. Des données sociodémographiques ont été recueillies telles que la date de naissance, le sexe et le poids. La population à l'étude était composée de cinq groupes de douze patients selon le poids des patients. Ces groupes ont été constitués afin de se référer aux niveaux de référence diagnostiques établis selon le poids des patients, de 3 à 5 kg (NRD 1), 5 à 10 kg (NRD 2), 10 à 20 kg (NRD 3), 20 à 30 kg (NRD 4) et plus de 30 kg (NRD 5).

Les radiographies pulmonaires ont été réalisées sur un appareil Samsung GC85. Les paramètres d'acquisition que sont la tension (kV), l'intensité du courant (mAs) et le produit dose surface (PDS) exprimé en cGy.cm² ont également été recueillis.

2.2 Considérations éthiques

L'étude a été approuvée par le Comité d'éthique sur la recherche humaine (2019_088). Le consentement éclairé écrit des parents a été obtenu pour tous les nourrissons.

2.3 Logiciel de simulation de réduction de dose

Les clichés prétraités (RAW) des radiographies pulmonaires ont été extraits sous un format DICOM anonymisé vers un logiciel commercial (Dose Simulation Tool, Samsung, Corée) afin d'effectuer des simulations de dose. Ce logiciel permet de simuler la qualité d'image à différents niveaux d'intensité de courant du tube et à un kilovoltage constant. Pour chaque radiographie, six images synthétiques ont été produites en simulant une diminution de l'intensité du courant du tube (à 100%, 80%, 64%, 50%, 40% et 32% de la dose initiale). Par exemple, une réduction de dose de 50% (en cGy.cm²) équivalait à une réduction de 50% de l'intensité (en mAs). Ces clichés synthétiques à dose réduite ont été comparés à la radiographie pulmonaire simulée à 100% de la dose.

2.4 Analyse de la qualité d'image

Les trois-cent-soixante radiographies produites ont été anonymisées et lues en aveugle de la dose de rayonnement par deux radiologues (ayant respectivement trois et quatre années d'expérience en radiologie) à l'aide d'un logiciel de visualisation DICOM (MicroDicom). La lecture des radiographies a été effectuée sur des écrans de deux ou trois millions de pixels, dans les conditions de pratique habituelle. Afin de permettre une évaluation standardisée de la qualité d'image d'une radiographie, la Commission européenne a développé des critères basés sur des détails anatomiques pour chaque examen de radiographie standard (19, 20). Les études de benchmarking sur la qualité d'image peuvent se référer à ces critères anatomiques dont la visibilité varie en fonction des paramètres techniques utilisés (21). L'utilisation d'une échelle visuelle pour évaluer la qualité de reproduction de ces critères anatomiques sur un cliché est actuellement la méthode de référence pour ce type d'étude (22). Ce principe repose sur l'hypothèse que la détection d'une pathologie est directement corrélée à la bonne reproduction des structures anatomiques (23). L'évaluation de la qualité d'image a été jugée selon les critères de qualité européens pour la réalisation de radiographies pulmonaires en radiologie pédiatrique (20). Ces derniers comprenaient trois critères liés au positionnement du patient et quatre critères liés à la visibilité des structures anatomiques.

Les trois premiers critères de qualité, liés au positionnement du patient, étaient la réalisation de la radiographie en inspiration profonde, la reproduction du thorax sans rotation ni inclinaison et la reproduction du thorax devant s'étendre des apex pulmonaires jusqu'aux vertèbres T12/L1. Les quatre critères de qualité suivants, liés à la visibilité des structures anatomiques, étaient la reproduction de la trame vasculaire dans les 2/3 centraux des hémichamps pulmonaires, la reproduction de la trachée et des bronches proximales, la reproduction visuellement nette du diaphragme et des angles costo-diaphragmatiques, la reproduction de la colonne vertébrale et des structures paravertébrales et la visualisation du poumon rétrocardiaque et du médiastin. Une échelle d'analyse de Likert à quatre niveaux a été utilisée pour évaluer les critères de qualité des clichés. Les trois premiers critères européens étaient notés 0 si « non respecté » ou 1 si « respecté » en raison de leur caractère binaire. Les quatre critères suivants étaient notés 0 si « non visible », 1 si « visualisation difficile », 2 si « visualisation moyenne » ou 3 si « parfaitement visualisé ». Les quatre degrés d'évaluation pour ces derniers critères ont permis une analyse plus détaillée.

De plus, il a été demandé aux observateurs de fournir une estimation de la qualité globale d'image avec un critère subjectif évaluant l'inconfort global ressenti à l'interprétation en

fonction du bruit photonique présent sur la radiographie. Ce critère était noté 0 si « non interprétable », 1 si « inconfort significatif à l'interprétation », 2 si « peu d'inconfort à l'interprétation », et 3 si « absence d'inconfort à l'interprétation ».

L'ensemble des critères de qualité est résumé dans le Tableau 1. La somme des notes de chaque critère de qualité (à l'exclusion des trois critères de positionnement) a donné lieu à une note totale sur 15 points par radiographie analysée. La moyenne des notes totales obtenues par les deux radiologues a ensuite été calculée pour chaque radiographie et utilisée pour l'analyse.

Tableau 1. Critères de qualité de la radiographie et notation.

Critères de qualité de la radiographie pulmonaire de face	Notation
Réalisée en inspiration profonde	1
Reproduction du thorax sans rotation ni inclinaison	1
Reproduction du thorax étendue des apex pulmonaires jusqu'aux vertèbres T12/L1	1
Reproduction de la trame vasculaire dans les 2/3 centraux des héli champs pulmonaires	3
Reproduction de la trachée et des bronches proximales	3
Reproduction visuellement nette du diaphragme et des angles costo-diaphragmatiques	3
Reproduction de la colonne vertébrale et des structures paravertébrales et la visualisation du poumon rétrocardiaque et du médiastin	3
Inconfort global ressenti à l'interprétation	3

2.5 Analyse statistique

Toutes les analyses statistiques ont été effectuées à l'aide du logiciel Matlab®. L'analyse de la concordance entre la radiographie de référence simulée à 100% de la dose et les radiographies simulées à une réduction de dose a été réalisée à l'aide d'un test de Friedman pour données appariées sur la moyenne des notes des deux radiologues dans les différents groupes de NRD. Des analyses par paires ont également été effectuées à l'aide du test de Wilcoxon. Le but de l'analyse était de détecter à quel pourcentage de réduction de dose la note n'était significativement pas différente de celle de la radiographie simulée à 100% de la dose ($p < 0.05$), ce qui suggérerait que la dose puisse être réduite à ce plus faible pourcentage de dose sans diminution de la qualité d'image.

L'analyse de la reproductibilité inter-observateur entre les deux radiologues a été effectuée grâce au coefficient de corrélation intra-classe (ICC) et son intervalle de confiance à 95% sur les notes totales des radiographies.

3. Résultats

3.1 Population

Les données démographiques, les caractéristiques dosimétriques de la radiographie pulmonaire initiale et les niveaux de référence diagnostiques ont été présentés par groupes de NRD dans le Tableau 2. Les variables quantitatives ont été exprimées en utilisant la médiane suivie des 1^{er} (Q1) et 3^e (Q3) quartiles, et les variables qualitatives en utilisant le nombre et le pourcentage.

Tableau 2. Démographie de la population, caractéristiques dosimétriques de la radiographie pulmonaire initiale et niveaux de référence diagnostiques.

	NRD 1 : 3-5kg (n = 12)	NRD 2 : 5-10kg (n = 12)	NRD 3 : 10-20kg (n = 12)	NRD 4 : 20-30kg (n = 12)	NRD 5 : >30kg (n = 12)
Age (mois)	0.7 [0.4 ; 0.8]	6.5 [6.0 ; 9.1]	44.1 [28.3 ; 50.8]	102.7 [93.1 ; 106.1]	154.9 [146.3 ; 169.6]
Sexe - n (%)					
Garçon	6 (50)	4 (33)	5 (42)	4 (33)	8 (67)
Fille	6 (50)	8 (67)	7 (58)	8 (67)	4 (33)
Poids (kg)	4 [3 ; 4]	7 [7 ; 9]	15 [12 ; 16]	26 [24 ; 27]	42 [37 ; 47]
kV	79.4 [79.4 ; 81.2]	81.2 [81.1 ; 82.1]	81.6 [81.1 ; 91.3]	94.2 [91.1 ; 96.8]	118.1 [116.8 ; 121.2]
mAs	0.40 [0.40 ; 0.45]	0.40 [0.35 ; 0.45]	0.40 [0.40 ; 0.40]	0.55 [0.45 ; 0.80]	0.45 [0.35 ; 0.55]
Produit Dose Surface (cGy.cm²)	0.14 [0.13 ; 0.19]	0.14 [0.12 ; 0.25]	0.28 [0.18 ; 0.33]	0.68 [0.57 ; 1.01]	0.86 [0.75 ; 1.10]
NRD recommandé (cGy.cm²)	0.9	1.3	1.9	3.5	aucun

3.2 Critères de positionnement

Parmi les 360 clichés analysés, 315 (87.5%) radiographies étaient réalisées en inspiration profonde, 328 (91.1%) radiographies étaient réalisées strictement de face avec une reproduction du thorax sans rotation ni inclinaison, et 360 (100%) radiographies reproduisaient correctement le thorax des apex pulmonaires jusqu'aux vertèbres T12/L1.

3.3 Analyse de concordance

Dans le groupe NRD 1 (3-5 kg), il y avait des différences statistiquement significatives de notation entre les radiographies simulées à 100% de la dose et toutes les radiographies simulées avec réduction de dose ($p<0.05$).

Dans les groupes NRD 2 (5-10 kg) et NRD 3 (10-20 kg), il n'y avait pas de différence statistiquement significative de notation entre les radiographies simulées à 100% de la dose et les radiographies simulées à 80% de la dose initiale.

Dans le groupe NRD 4 (20-30 kg), il n'y avait pas de différence statistiquement significative de notation entre les radiographies simulées à 100% de la dose et les radiographies simulées à 50% de la dose initiale.

Dans le groupe NRD 5 (>30 kg), il n'y avait pas de différence statistiquement significative de notation entre les radiographies simulées à 100% de la dose et les radiographies simulées à 40% de la dose initiale.

L'ensemble des résultats est détaillé dans le Tableau 3. Les Figures 1 à 5 illustrent respectivement des radiographies simulées à 100% et 80% de la dose initiale dans les groupes NRD 1, NRD 2 et NRD 3, des radiographies simulées à 100% et 50% de la dose initiale dans le groupe NRD 4 et des radiographies simulées à 100% et 40% de la dose initiale dans le groupe NRD 5.

Tableau 3. Notes exprimées sous forme de médiane [Q1 ; Q3].

	100%	80%	64%	50%	40%	32%
NRD 1:	10.8	8.3*	7.8*	6.0*	4.0*	3.5*
3-5kg	[7.8 ; 12.3]	[7.0 ; 10.3]	[4.0 ; 10.0]	[3.8 ; 7.8]	[3.5 ; 5.5]	[2.5 ; 5.0]
NRD 2:	12.5	11.0	8.5*	7.8*	6.5*	4.8*
5-10kg	[7.3 ; 14.0]	[6.8 ; 13.8]	[4.8 ; 11.0]	[3.8 ; 11.5]	[3.8 ; 9.5]	[3.5 ; 7.3]
NRD 3:	14.5	14.3	12.8*	11.0*	10.0*	8.8*
10-20kg	[13.0 ; 14.8]	[11.0 ; 14.8]	[10.3 ; 14.5]	[8.8 ; 13.5]	[7.8 ; 14.0]	[6.5 ; 11.3]
NRD 4:	15.0	14.5	14.5	14.0	14.3*	12.8*
20-30kg	[14.5 ; 15.0]	[14.0 ; 15.0]	[14.0 ; 14.5]	[13.8 ; 14.8]	[13.5 ; 14.8]	[11.3 ; 14.3]
NRD 5:	15.0	14.8	14.5	14.8	14.5	14.0*
>30kg	[14.8 ; 15.0]	[14.5 ; 15.0]	[14.0 ; 15.0]	[14.3 ; 15.0]	[13.5 ; 15.0]	[13.8 ; 14.8]

* : paramètres présentant une différence statistiquement significative ($p<0.05$) par rapport à la référence (100%).

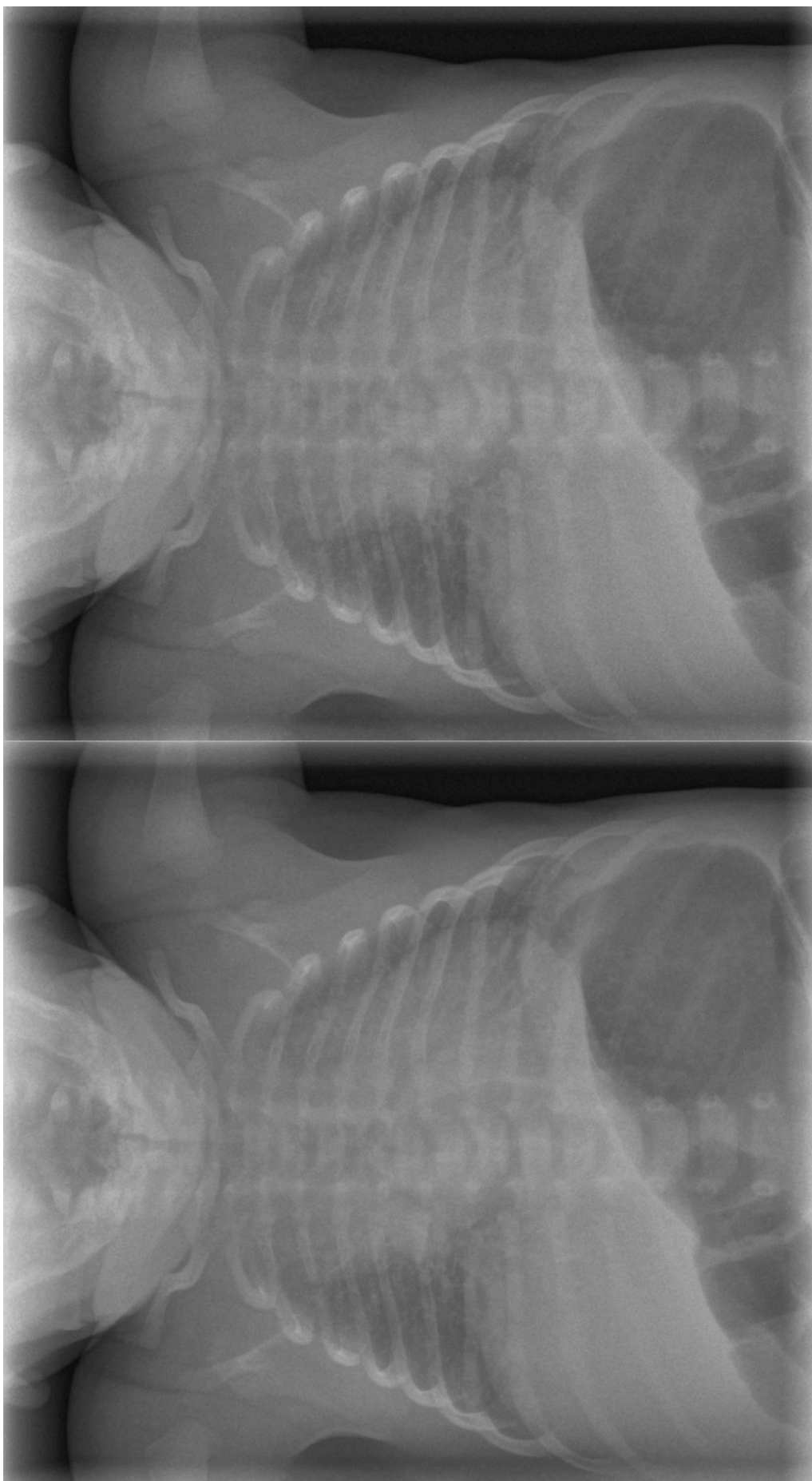


Figure 1. Groupe NRD 1, radiographies simulées à 100% (à gauche) et 80% (à droite) de la dose initiale.

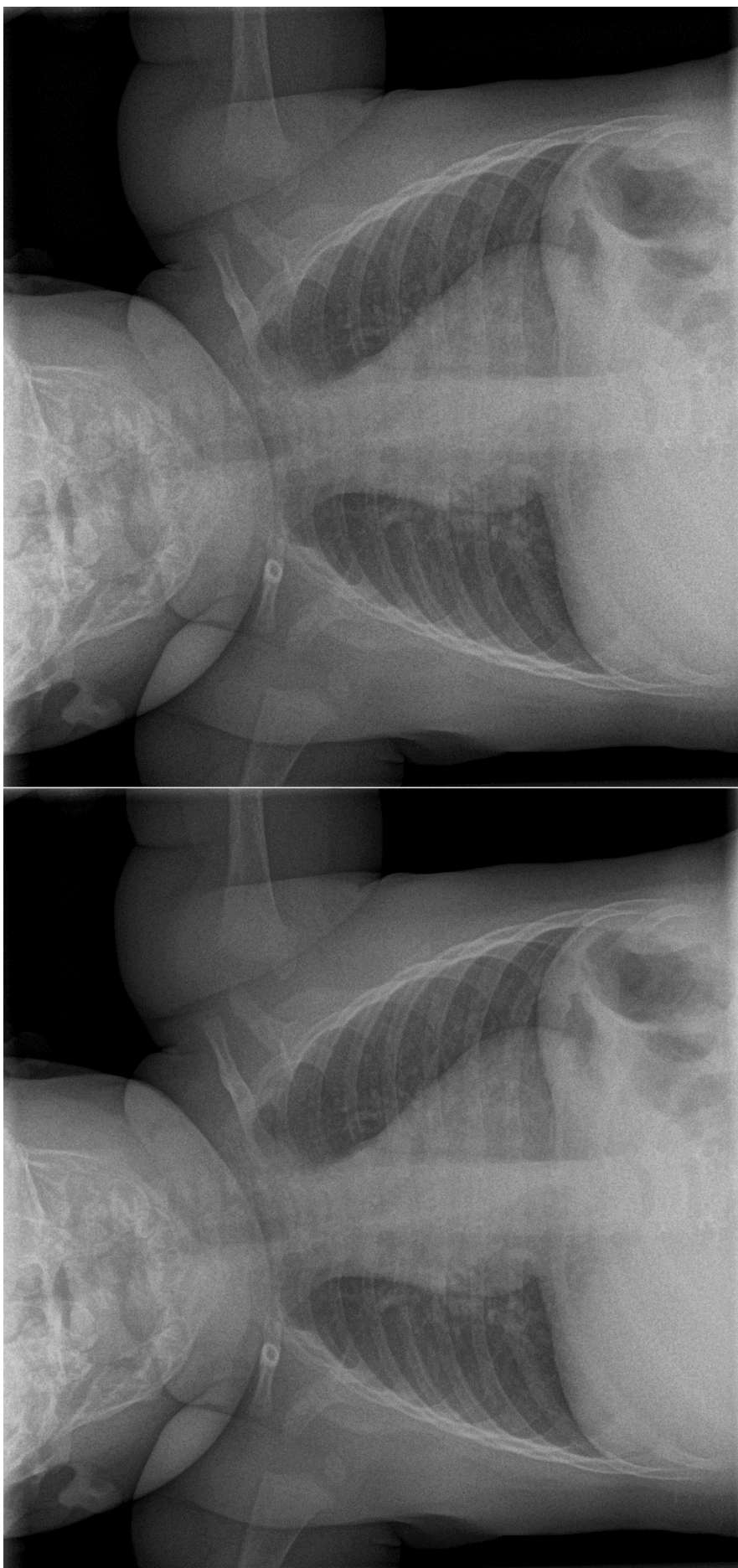


Figure 2. Groupe NRD 2, radiographies simulées à 100% (à gauche) et 80% (à droite) de la dose initiale.

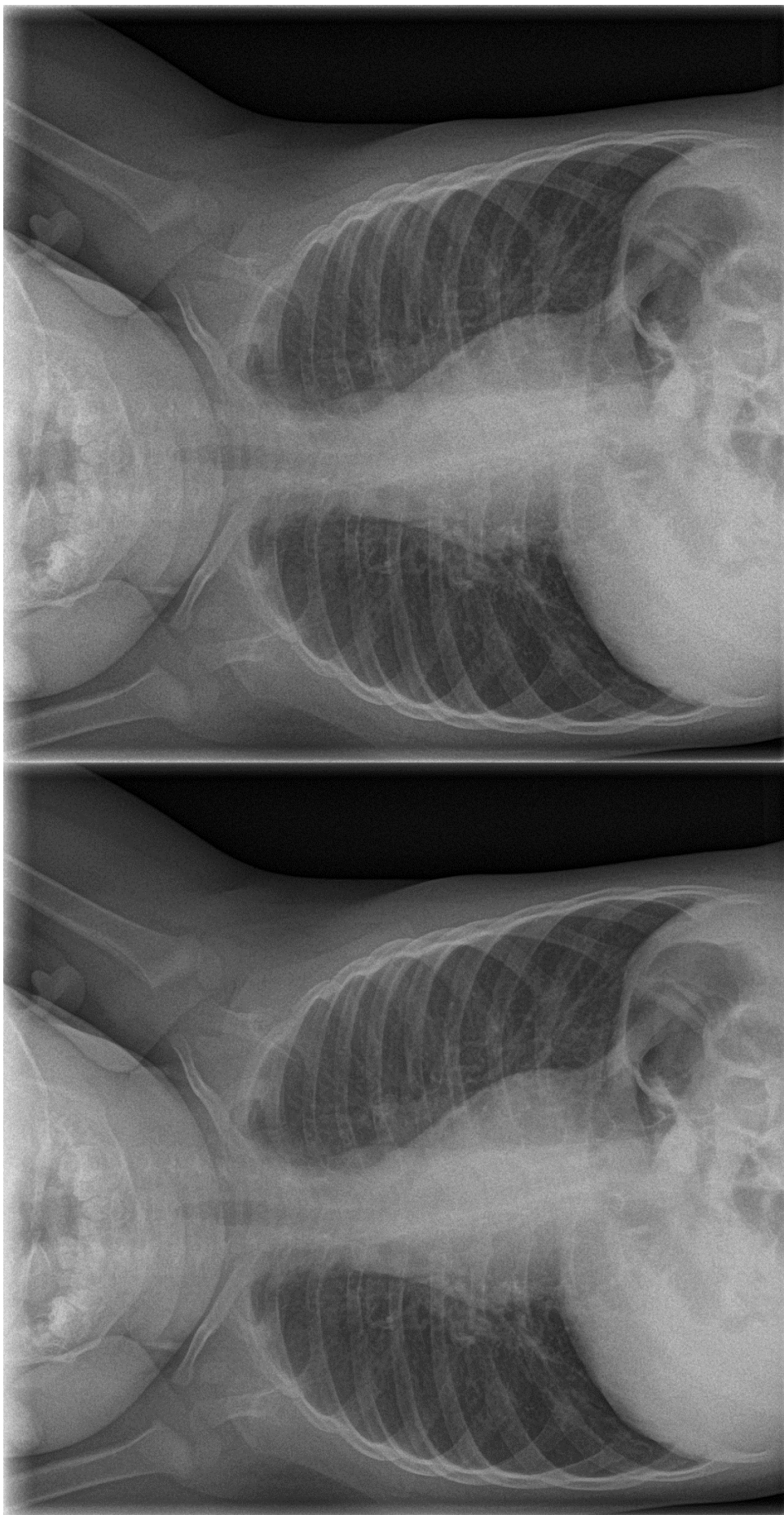


Figure 3. Groupe NRD 3, radiographies simulées à 100% (à gauche) et 80% (à droite) de la dose initiale.

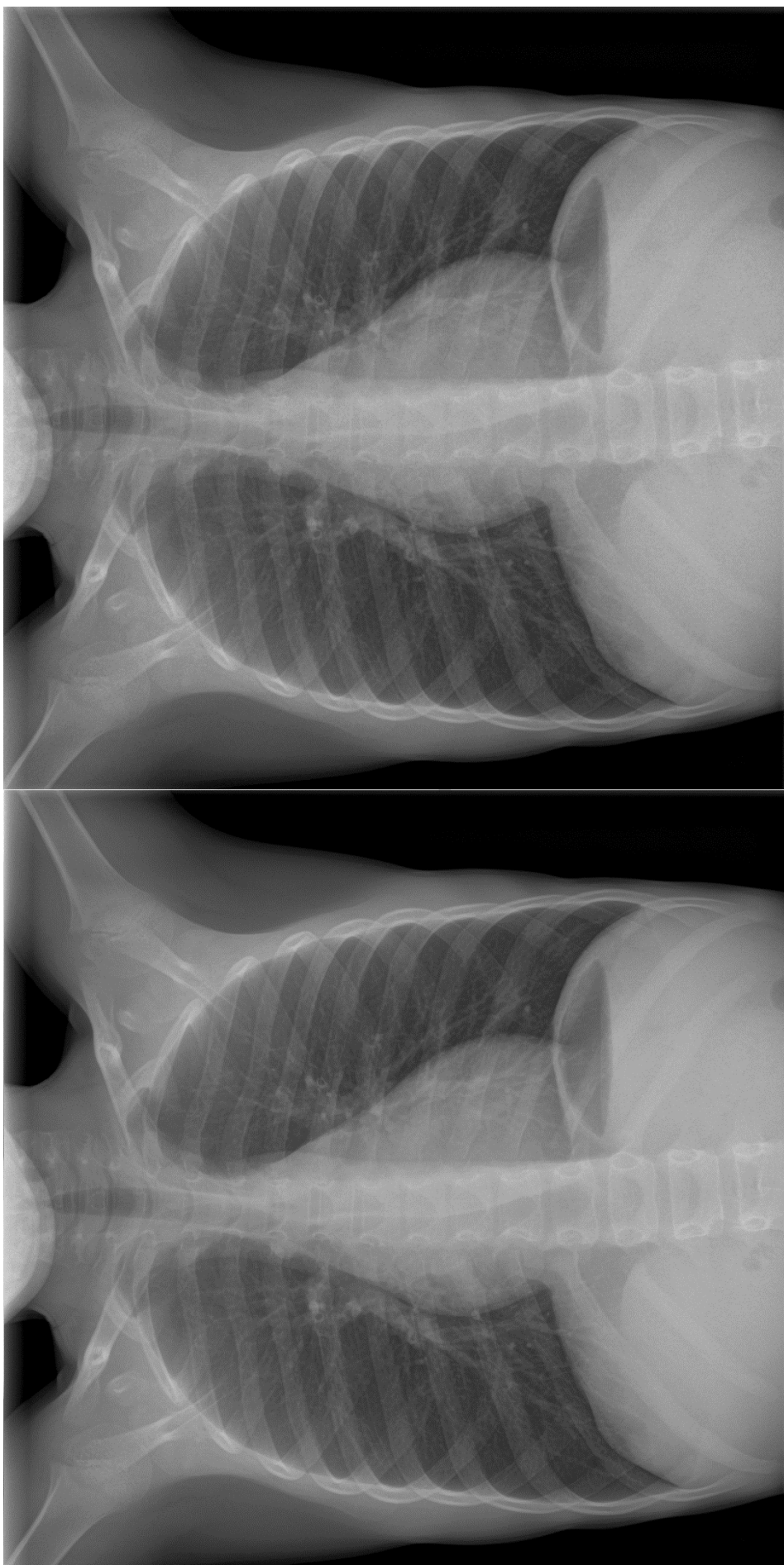


Figure 4. Groupe NRD 4, radiographies simulées à 100% (à gauche) et 50% (à droite) de la dose initiale.

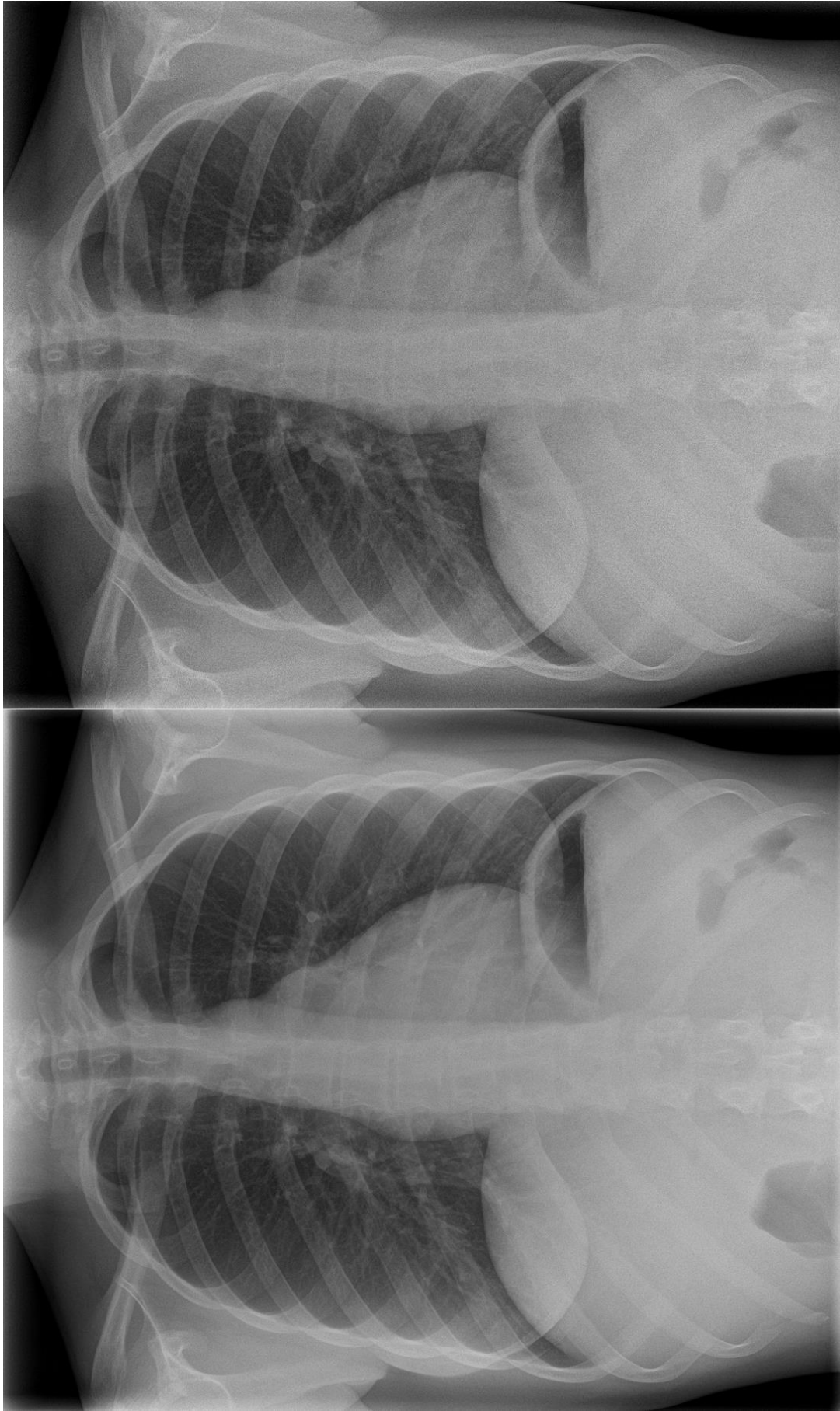


Figure 5. Groupe NRD 5, radiographies simulées à 100% (à gauche) et 40% (à droite) de la dose initiale.

3.4 Reproductibilité inter-observateur

Le coefficient de corrélation intra-classe de l'analyse globale était de 0.86 [0.83 ; 0.89]. Il y avait une différence de notation globale entre les deux radiologues de 2 points ou moins pour 34 (47.2%) radiographies dans le groupe NRD 1, pour 43 (59.7%) radiographies dans le groupe NRD 2, pour 59 (81.9%) radiographies dans le groupe NRD 3, pour 66 (91.7%) radiographies dans le groupe NRD 4 et pour 69 (95.8%) radiographies dans le groupe NRD 5 (Figure 6).

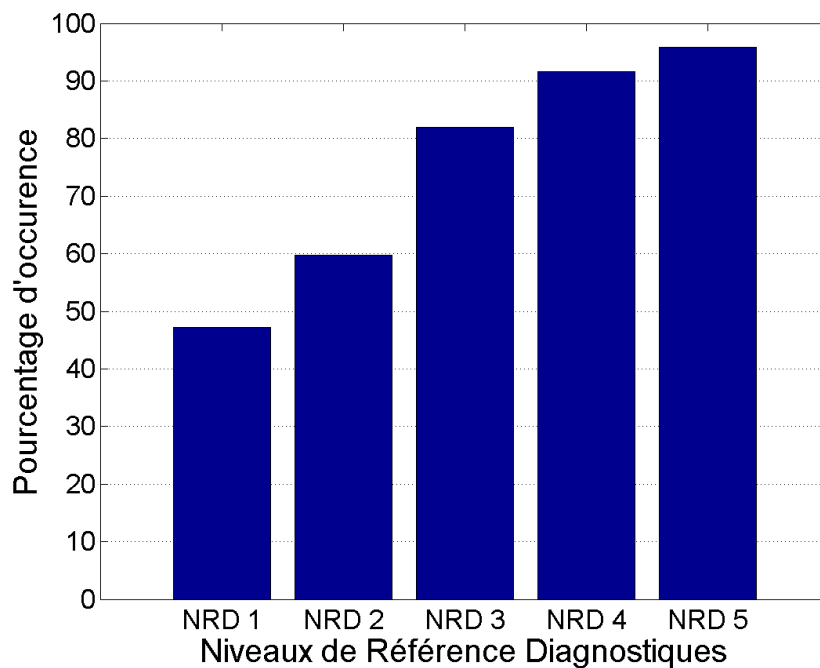


Figure 6. Différence de notation de 2 points ou moins entre les deux radiologues.

4. Discussion

Notre étude a montré que les doses de rayons X peuvent être réduites de 20% chez les enfants de 5 à 20 kg, de 50% chez les enfants de 20 à 30 kg et jusqu'à 60% chez les enfants de plus de 30 kg, avec une qualité d'image identique des radiographies pulmonaires par rapport au cliché de référence correspondant à la radiographie simulée sans réduction de dose. L'absence de réduction possible de la dose dans le groupe d'enfants à faible pondération (groupe 1 des NRD) peut s'expliquer par une exposition déjà optimisée pour les nouveau-nés, avec une dose délivrée dans notre pratique bien inférieure aux seuils recommandés par les niveaux de référence diagnostiques (0.9 cGy.cm^2) (3).

L'avantage du logiciel de simulation de dose utilisé résidait dans sa capacité à fournir des radiographies simulées avec une dose délivrée de rayonnement ionisant décroissante. Il a permis aux radiologues d'évaluer les clichés et de déterminer le meilleur compromis de dose délivrée tout en maintenant la qualité d'image (24). Il constitue une nouvelle approche méthodologique pour réduire l'exposition aux rayonnements, et ce, plus rapidement qu'en diminuant progressivement la dose délivrée en fonction de l'appréciation subjective des radiologues interprètes. Cela pourrait expliquer pourquoi notre réduction de dose a été significative mais le serait probablement davantage dans un centre de radiologie adulte sans processus d'optimisation fréquemment réalisé.

Une des forces de notre recherche était l'étude par groupes, basée sur les niveaux de référence diagnostiques nationaux établis selon des catégories de poids, permettant une analyse plus détaillée et cliniquement pertinente avec des valeurs de référence comparatives (3, 5). Notre échantillon de soixante enfants représentait un nombre relativement important de patients et était similaire aux effectifs d'études antérieures de radioprotection rapportées dans la littérature (16, 18, 25). L'utilisation de critères de qualité européens a donné de la robustesse à notre analyse de la qualité d'image. Les critères de positionnement nous ont permis de nous conforter quant au respect des recommandations de réalisation des radiographies. Nous avons décidé d'ajouter un critère subjectif décrivant l'inconfort global ressenti à l'interprétation par le radiologue. Cet inconfort était lié au bruit photonique, qui était de plus en plus présent à mesure que la dose délivrée diminuait. La prise en compte du bruit photonique est importante en radiologie pédiatrique en raison de la taille réduite des structures anatomiques analysées, ce qui influence davantage les performances diagnostiques du radiologue, comme l'ont signalé d'autres études (26, 27).

La reproductibilité inter-observateur était bonne. Cependant nous avons logiquement observé que l'écart de notation des radiographies entre les deux radiologues, avec un seuil de différence de 2 points, était plus élevé chez les patients les plus jeunes dont les radiographies pulmonaires étaient les plus optimisées avec un niveau de bruit proportionnellement plus élevé. L'écart était négligeable chez les enfants plus âgés, ce qui suggère un impact clinique non significatif sur l'interprétabilité des radiographies pulmonaires. Dans la conception de l'étude, la réduction de la dose délivrée tout en maintenant la qualité d'image n'était qu'un reflet indirect de l'information diagnostique. Il serait également intéressant de comparer l'interprétation des radiographies mais cela introduirait un autre biais lié à la subjectivité potentielle de l'interprétation selon chaque radiologue.

Nos résultats méritent d'être confirmés par une étude avec une population plus importante et par d'autres examens de radiologie conventionnelle intéressant des organes radiosensibles. Les radiographies simulées obtenues grâce au logiciel doivent maintenant être comparées à nos futures radiographies obtenues en adaptant nos paramètres d'acquisition en pratique courante afin de nous assurer que le logiciel fournit des clichés simulés réalistes.

5. Conclusion

Le logiciel a été utile pour identifier les groupes d'enfants au sein desquels la dose de rayons X délivrée au cours d'une radiographie pulmonaire de face peut être réduite. Avec une bonne reproductibilité inter-observateur, nous avons observé que la dose peut être réduite jusqu'à 60% et adaptée en fonction du poids des enfants, tout en maintenant la qualité d'image. Les radiographies simulées obtenues avec le logiciel Dose Simulation Tool ont été utiles pour déterminer le meilleur compromis entre la qualité d'image et la dose de rayons X délivrée dans le cadre d'un processus d'optimisation de radiographies pulmonaires pédiatriques.

6. Références bibliographiques

1. Harding K, Thomson WH. Radiological protection and safety in medicine - ICRP 73. *Eur J Nucl Med* 1997;24:1207–1209
2. Komatsu CV, Silva CC, Souza LRMF de, Gonçalves LF. Excess Radiation to Newborns Hospitalized in the Intensive Care Unit. *Radiat Prot Dosimetry* 2017;177:331–341
3. Anon. Les niveaux de référence diagnostiques en radiologie. <https://nrd.irsnn.fr/radiologie>. Accessed August 12, 2019
4. Wachabauer D, Röthlin F, Moshhammer HM, Homolka P. Diagnostic Reference Levels for conventional radiography and fluoroscopy in Austria: Results and updated National Diagnostic Reference Levels derived from a nationwide survey. *European Journal of Radiology* 2019;113:135–139
5. Asada Y, Ichikawa T. Consideration of diagnostic reference levels for pediatric chest X-ray examinations. *Radiol Phys Technol* 2019;12:382–387
6. Chytrá K, Novák L, Rejtar P, Homola M, Daničková K, Červinková I. RADIATION EXPOSURE OF PAEDIATRIC GENERAL RADIOGRAPHY, FLUOROSCOPY AND CT PROCEDURES IN THE CZECH REPUBLIC—PILOT STUDY. *Radiat Prot Dosimetry*
7. Schegerer AA, Loose R, Heuser L, Brix G. Diagnostic reference levels for diagnostic and interventional X-ray procedures in Germany: update and handling – Answer to the comments of members of the chest radiology workshop of the German Roentgen Society. *Fortschr Röntgenstr* 2020;192:83–83
8. Voss SD, Reaman GH, Kaste SC, Slovis TL. The ALARA concept in pediatric oncology. *Pediatr Radiol* 2009;39:1142
9. Willis CE, Slovis TL. The ALARA concept in pediatric CR and DR: dose reduction in pediatric radiographic exams – A white paper conference Executive Summary. *Pediatr Radiol* 2004;34:S162–S164
10. Pearce MS, Salotti JA, Little MP, McHugh K, Lee C, Kim KP, et al. Radiation exposure from CT scans in childhood and subsequent risk of leukaemia and brain tumours: a retrospective cohort study. *The Lancet* 2012;380:499–505
11. Mathews JD, Forsythe AV, Brady Z, Butler MW, Goergen SK, Byrnes GB, et al. Cancer risk in 680 000 people exposed to computed tomography scans in childhood or adolescence: data linkage study of 11 million Australians. *BMJ* 2013;346
12. Anon. The Essential Physics of Medical Imaging, Third Edition. - PubMed - NCBI. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28524933>. Accessed May 8, 2019
13. Khong P-L, Ringertz H, Donoghue V, Frush D, Rehani M, Appelgate K, et al. ICRP Publication 121: Radiological Protection in Paediatric Diagnostic and Interventional Radiology. *Ann ICRP* 2013;42:1–63
14. Preston DL, Ron E, Tokuoka S, Funamoto S, Nishi N, Soda M, et al. Solid Cancer Incidence in Atomic Bomb Survivors: 1958–1998. *rare* 2007;168:1–64

15. Levy A, Goldberg M, Mayo N, Hanley J, Poitras B. Reducing the Lifetime Risk of Cancer From Spinal Radiographs Among People With Adolescent Idiopathic Scoliosis. *Spine* 1996;21:1540–1547
16. Precht H, Gerke O, Rosendahl K, Tingberg A, Waaler D. Digital radiography: optimization of image quality and dose using multi-frequency software. *Pediatr Radiol* 2012;42:1112–1118
17. Precht H, Gerke O, Rosendahl K, Tingberg A, Waaler D. Large dose reduction by optimization of multifrequency processing software in digital radiography at follow-up examinations of the pediatric femur. *Pediatr Radiol* 2014;44:239–240
18. Precht H, Waaler D, Outzen CB, Brock Thorsen JB, Steen T, Hellfritsch MB, et al. Does software optimization influence the radiologists' perception in low dose paediatric pelvic examinations? *Radiography* 2019;25:143–147
19. Maccia C, Ariche-Cohen M, Nadeau X, Severo (INVITED) G. The 1991 CEC Trial on Quality Criteria for Diagnostic Radiographic Images. *Radiat Prot Dosimetry* 1995;57:111–117
20. Anon. *European guidelines on quality criteria for diagnostic radiographic images: In paediatrics*. Luxembourg: European Commission, 1996
21. Almén A, Tingberg A, Besjakov J, Mattsson S. The use of reference image criteria in X-ray diagnostics: an application for the optimisation of lumbar spine radiographs. *Eur Radiol* 2004;14:1561–1567
22. Båth M, Månsson LG. Visual grading characteristics (VGC) analysis: a non-parametric rank-invariant statistical method for image quality evaluation. *Br J Radiol* 2007;80:169–176
23. Niemann T, Reisinger C, Ruiz-Lopez L, Bongartz G. Image quality in conventional lumbar spine radiography. *European Journal of Radiology* 2009;70:357–361
24. Alejo L, Corredoira E, Sánchez-Muñoz F, Huerga C, Aza Z, Plaza-Núñez R, et al. Radiation dose optimisation for conventional imaging in infants and newborns using automatic dose management software: an application of the new 2013/59 EURATOM directive. *BJR* 2018;91:20180022
25. Moore CS, Avery G, Balcam S, Needler L, Swift A, Beavis AW, et al. Use of a digitally reconstructed radiograph-based computer simulation for the optimisation of chest radiographic techniques for computed radiography imaging systems. *BJR* 2012;85:e630–e639
26. Huda W. Assessment of the problem: pediatric doses in screen-film and digital radiography. *Pediatr Radiol* 2004;34:S173–S182
27. Verdun FR, Lepori D, Monnin P, Valley J-F, Schnyder P, Gudinchet F. Management of patient dose and image noise in routine pediatric CT abdominal examinations. *Eur Radiol* 2004;14:835–841

7. Annexe

Article soumis à Journal of Thoracic Imaging

Journal of Thoracic Imaging
A Dose Simulation X-Ray Software: an innovating tool to reduce chest radiograph exposure in children.
 --Manuscript Draft--

Manuscript Number:	
Full Title:	A Dose Simulation X-Ray Software: an innovating tool to reduce chest radiograph exposure in children.
Article Type:	Original Study
Section/Category:	Pulmonary/thoracic
Keywords:	chest radiography; radioprotection; children; software; optimization
Corresponding Author:	Baptiste MOREL Universite de Tours Tours, Centre FRANCE
Corresponding Author's Institution:	Universite de Tours
Order of Authors:	Benjamin Meunier, MD Ronan Boënnec Paul-Armand Dujardin Jean Michel Rafin Dominique Sirinelli Guillaume Chassagnon Baptiste MOREL
Manuscript Region of Origin:	FRANCE
Abstract:	<p>Purpose Chest radiography is one of the most frequent X-ray examinations performed on children. Reducing delivered dose is always a major task. The objective of our study was to determine the minimum dose to be delivered while maintaining the image quality of chest radiographs, using dose reduction simulation software.</p> <p>Materials and Methods We included 60 children who had had a chest radiography in 5 groups established according to the diagnostic reference levels (DRL) equitably represented by weight ranges. The software simulated for each radiograph 6 additional simulated photonic noise images corresponding to 100%, 80%, 64%, 50%, 40% and 32% of the initial dose. The 360 radiographs were blindly scored by two radiologists, according to the seven European quality criteria and a subjective criterion of interpretability, using a semi quantitative visual Lickert scale.</p> <p>Results There was no significant difference in scoring between the reference radiograph (100%) and simulated radiographs at 80% of the dose in children between 5kg to 20kg, 50% of the dose in children between 20 to 30kg, and between simulated radiographs at 40% of the dose in children over 30kg. Inter-observer reproducibility was moderate to excellent.</p> <p>Conclusion Chest radiography dose can be reduced by 20% in children between 5kg to 20kg, 50% in children between 20 and 30kg and 60% in children over 30kg, without any difference in the image quality appreciation. Software that produced simulated X-ray with decreasing delivered dose is an innovating tool for an optimization process.</p>
Suggested Reviewers:	
Opposed Reviewers:	

A Dose Simulation X-Ray Software: an innovating tool to reduce chest radiograph exposure in children.

Software to reduce chest exposure in children

Benjamin Meunier¹, MD, Ronan Boënnec¹, MD, Paul-Armand Dujardin², MsC, Jean Michel Rafin¹, Dominique Sirinelli¹, MD, Guillaume Chassagnon³, PhD, Baptiste Morel^{1,4} PhD

Affiliations:

1 Pediatric Radiology department, Clocheville Hospital, CHRU of Tours, Tours, France

2 CIC 1415, CHU Tours, Inserm, Tours Cedex, France

3 Radiology Department, Groupe Hospitalier Cochin-Hôtel Dieu, AP-HP, Université Paris Descartes, 27 Rue du Faubourg Saint-Jacques, 75014 Paris, France

4 UMR 1253, iBrain, Université de Tours, Inserm, Tours, France.

Corresponding author

Dr Baptiste Morel, bamorel@univ-tours.fr

Department of Pediatric Radiology, Clocheville Hospital, 49 Boulevard Beranger, 37000 Tours, France

Phone Number: 00/33 2 47 47 36 14

Fax Number: 00/33 2 47 47 86 90

Funding Source: No funding was secured for this study.

Conflict of Interest: The authors have no conflicts of interest or financial relationships relevant to this article to disclose.

The local institutional review board approved this single multicentric prospective cohort study (2019-88)

Acknowledgments: The authors thank Mr John Sheath for English language assistance and his friendly support.

A Dose Simulation X-Ray Software: an innovating tool to reduce chest radiograph exposure in children.

Abstract

Purpose

Chest radiography is one of the most frequent X-ray examinations performed on children. Reducing delivered dose is always a major task. The objective of our study was to determine the minimum dose to be delivered while maintaining the image quality of chest radiographs, using dose reduction simulation software.

Materials and methods

We included sixty children who had had a chest radiography in five groups equitably represented according to the diagnostic reference levels (DRL) based on weight ranges. The software simulated for each radiograph six additional simulated photonic noise images corresponding to 100%, 80%, 64%, 50%, 40% and 32% of the initial dose. The three hundred and sixty radiographs were blindly scored by two radiologists, according to the seven European quality criteria and a subjective criterion of interpretability, using a semi quantitative visual Likert scale.

Results

There was no significant difference in scoring between the reference radiograph (100%) and simulated radiographs at 80% of the dose in children between 5 to 20 kg, 50% of the dose in children between 20 to 30 kg, and between simulated radiographs at 40% of the dose in children over 30 kg. Inter-observer reproducibility was good.

Conclusion

Chest radiography dose can be reduced by 20% in children from 5 to 20 kg, 50% in children from 20 to 30 kg and 60% in children over 30 kg, without any difference in the image quality appreciation. Software that produced simulated X-ray with decreasing delivered dose is an innovating tool for an optimization process.

Keywords: ALARA; chest radiography; radioprotection; children; software; optimization

Research article

Introduction

First introduced by the International Commission on Radiological Protection, Diagnostic Reference Levels (DRLs) are widely used to optimize medical imaging exposures (1). Chest radiography was one of the most frequent acts of conventional radiology. For example, newborns in intensive care units were generally subjected to a dozen of chest radiographs procedures during their hospitalization (2). Within the pediatric population, the recommended maximum dose values are set based on the weight of the child, with values specific to each type of examination, according to national DRLs that are regularly updated (3–7). The radiation protection process is illustrated by the ALARA approach meaning « as low as reasonably achievable » (8, 9). Optimization of ionizing exposure in pediatric radiology is essential due to the risk of radiation-induced damages. An increased risk of leukemia and brain cancer have been linked to an increase in radiation exposure, even at low doses (10, 11). Radio sensitivity in children is multifactorial, related to a smaller body volume than in adults, with more sensitive tissues explained by larger proportion of growing cells and a longer lifespan (12). Diagnostic radiological examinations carry a higher cancer risk per unit of radiation in infants and children compared with adults (13). In pediatric population, the average risk is also higher in infants and young children compared with older children (14). During chest radiographs, radiosensitive organs such as the thyroid and breasts are exposed to radiation (15).

Recent optimization developments in conventional radiography focus on increasing image quality through post-processing and/or decreasing irradiation by modifying physical constants (16–18). However, an innovating software can simulate, for each radiograph, six additional simulated photonic noise images corresponding to a percentage of the initial dose.

The objective of our study was to determine the minimum radiation exposure while maintaining the image quality of pediatric chest radiography using a new software simulating radiographs.

Materials and methods

Study population

From Aprils to August 2019, sixty successive patients (thirty-three girls and twenty-seven boys) having frontal chest radiography at our university hospital center were prospectively enrolled. Socio-demographic data were collected such as date of birth, sex and weight. The study population consisted in five groups of twelve patients depending on patients' body weight. These groups were formed in order to study diagnosis reference level for patients weighting 3 to 5 kg (DRL 1), 5 to 10 kg (DRL 2), 10 to 20 kg (DRL 3), 20 to 30 kg (DRL 4) and more than 30 kg (DRL 5).

Chest radiographs were performed on a Samsung GC85 device. Acquisition parameters including tension expressed in kilovolt (kV), intensity expressed in milliamps per second (mAs), and the dose area product (DAP) expressed in cGy.cm^2 were collected in addition to patients characteristics.

Ethical considerations

The study was approved by the Human Research Ethic Committee (2019_088). Written informed parental consent was obtained for all infants.

Dose reduction simulation software

The preprocessed (RAW) chest radiographs images were extracted in a anonymized DICOM format to a commercially available software (Dose Simulation Tool, Samsung, Korea) to perform dose simulations. Briefly, this software can simulate image quality at different levels of tube current intensity at constant kilovoltage. For each exam, six synthetic images were produced by simulating a decrease of intensity in tube current (at 100%, 80%, 64%, 50%, 40% and 32% of the initial dose). For example, a 50% dose reduction (in cGy.cm^2) is equivalent to a 50% intensity reduction (in mAs). These synthetic low-dose images were compared to the simulated x-ray at 100% of the radiation dose.

Image quality analysis

The three hundred and sixty radiographs products were anonymized and read blindly to the radiation dose level by two radiologists (with respectively three and four years of experience in radiology) using a DICOM viewer software (MicroDicom). The reading was performed on

two or three million-pixel screens, under the usual practice conditions. For a standardized evaluation of the image quality of a radiograph, the European Commission has developed criteria based on anatomical details for each standard X-ray examination (19, 20). Image quality benchmarking studies may refer to these anatomical criteria, whose visibility varies depending on the technical parameters used (21). The use of a visual scale to assess the reproduction quality of these anatomical criteria on a snapshot was currently the reference method for this type of study (22). This principle was based on the assumption that the detection of a pathology was directly correlated with the proper reproduction of anatomical structures (23). The evaluation of the image quality was judged on the European quality criteria for performing chest radiographs in pediatric radiology, corresponding to the European guidelines (20). These criteria included three criteria related to the patient positioning and four criteria related to the visibility of anatomic structures.

The first three quality criteria were a radiography performed at peak of inspiration, reproduction of the thorax without rotation and tilting, and reproduction of the chest must extend from just above the apices of the lungs to T12/L1. The following four quality criteria were the reproduction of the vascular pattern in central 2/3 of the lungs, reproduction of the trachea and the proximal bronchi, visually sharp reproduction of the diaphragm and costophrenic angles, reproduction of the spine and paraspinal structures and visualisation of the retrocardiac lung and the mediastinum. A four-level Likert scale of analysis was used to rate image quality criteria. The first three European criteria were either 0 if « not respected » or 1 if « respected » due to their binary character. The next four criteria were noted 0 if « not visible », 1 if « difficulty viewing », 2 if « average viewing », and 3 if « perfectly visualized ». A rating of four degrees for these last criteria allowed a more detailed analysis.

Additionally, observers were asked to provide an estimation of the overall image quality with a subjective criterion assessing the overall inconvenience of the felt interpretation according to the photonic noise of the radiography. This criterion was 0 if « not interpretable », 1 if « significant discomfort with interpretation », 2 if « little discomfort with the interpretation », and 3 if « absence of discomfort with the interpretation ».

The set of quality criteria is summarized in Table 1. The sum of all the image quality criteria (excluding the three positioning criteria) resulted in a total score out of 15 points per radiograph analyzed. The average of the total scores of the two radiologists per radiography was then calculated and used for analysis.

Table 1. Image quality criteria and scoring.

Diagnostic requirements image criteria	scoring
Performed at peak of inspiration	1
Reproduction of the thorax without rotation and tilting	1
Reproduction of the chest must extend from just above the apices of the lungs to T12/L1	1
Reproduction of the vascular pattern in central 2/3 of the lungs	3
Reproduction of the trachea and the proximal bronchi	3
Visually sharp reproduction of the diaphragm and costo-phrenic angles	3
Reproduction of the spine and paraspinal structures and visualisation of the retrocardiac lung and the mediastinum	3
Overall inconvenience to the felt interpretation	3

Statistical analysis

All statistical analyses were performed using Matlab® software. The analysis of the agreement between the reference radiograph corresponding to 100% of the dose and the radiographs corresponding to the dose reduction simulation was performed using a Friedman test for matched data on the average of the scores obtained by the two radiologists, in the different groups of the DRL. Pairwise analyses were further performed using the Wilcoxon's test for matched data. The goal of the analysis was to detect at which reduced percentage, compared to 100%, the score was not significantly different ($p < 0.05$), indicating that the dose can be reduced at this low percentage without decrease of image quality.

The analysis of inter-observer reproducibility between the two radiologists was performed by intraclass correlation coefficients (ICC) and its 95% confidence interval on the total score of radiographs.

Results

Population

Population demographics, dosimetry characteristics of the initial chest radiograph and diagnostic reference levels were presented by groups of DRL in Table 2. The quantitative variables were expressed using the median followed by the 1st (Q1) and 3rd (Q3) quartiles, and the qualitative variables using number and percentage.

Table 2. Population demographic, dosimetric characteristics of the initial chest radiograph and diagnostic reference levels.

	DRL 1 : 3-5kg (n = 12)	DRL 2 : 5-10kg (n = 12)	DRL 3 : 10-20kg (n = 12)	DRL 4 : 20-30kg (n = 12)	DRL 5 : >30kg (n = 12)
Age (months)	0.7 [0.4 ; 0.8]	6.5 [6.0 ; 9.1]	44.1 [28.3 ; 50.8]	102.7 [93.1 ; 106.1]	154.9 [146.3 ; 169.6]
Sex - n (%)					
Boy	6 (50)	4 (33)	5 (42)	4 (33)	8 (67)
Girl	6 (50)	8 (67)	7 (58)	8 (67)	4 (33)
Weight (kg)	4 [3 ; 4]	7 [7 ; 9]	15 [12 ; 16]	26 [24 ; 27]	42 [37 ; 47]
kV	79.4 [79.4 ; 81.2]	81.2 [81.1 ; 82.1]	81.6 [81.1 ; 91.3]	94.2 [91.1 ; 96.8]	118.1 [116.8 ; 121.2]
mAs	0.40 [0.40 ; 0.45]	0.40 [0.35 ; 0.45]	0.40 [0.40 ; 0.40]	0.55 [0.45 ; 0.80]	0.45 [0.35 ; 0.55]
Dose Area Product (cGy.cm²)	0.14 [0.13 ; 0.19]	0.14 [0.12 ; 0.25]	0.28 [0.18 ; 0.33]	0.68 [0.57 ; 1.01]	0.86 [0.75 ; 1.10]
Recommanded DRL (cGy.cm²)	0.9	1.3	1.9	3.5	none

Position criteria

Of the 360 radiographs analyzed, 315 (87.5%) were taken in deep inspiration, 328 (91.1%) were taken strictly from the front with a reproduction of the thorax without rotation or tilt, and 360 (100%) correctly reproduced the thorax from the pulmonary apex to the T12/L1 vertebrae.

Concordance analysis

In groups DRL 1 there were statistically significant differences between radiography at 100% of the dose and each simulated radiography with dose reduction ($p < 0.05$).

In groups DRL 2 and DRL 3, there was no statistically significant difference between radiography at 100% of the dose and the simulated radiography at 80% of the initial dose.

In group DRL 4, there was no statistically significant difference between radiography at 100% of the dose and simulated radiography at 50% of the initial dose.

In group DRL 5, there was no statistically significant difference between radiography at 100% of the dose and simulated images at 40% of the initial dose.

All these results are detailed in Table 3. Figures 1 to 3 illustrate the simulated radiographs at 100% and 80% of the dose respectively in DRL group 1 and DRL group 3, 100% and 40% in DRL group 5.

Table 3. Score, expressed as median [Q1 ; Q3].

	100%	80%	64%	50%	40%	32%
DRL 1:	10.8	8.3*	7.8*	6.0*	4.0*	3.5*
3-5kg	[7.8 ; 12.3]	[7.0 ; 10.3]	[4.0 ; 10.0]	[3.8 ; 7.8]	[3.5 ; 5.5]	[2.5 ; 5.0]
DRL 2:	12.5	11.0	8.5*	7.8*	6.5*	4.8*
5-10kg	[7.3 ; 14.0]	[6.8 ; 13.8]	[4.8 ; 11.0]	[3.8 ; 11.5]	[3.8 ; 9.5]	[3.5 ; 7.3]
DRL 3:	14.5	14.3	12.8*	11.0*	10.0*	8.8*
10-20kg	[13.0 ; 14.8]	[11.0 ; 14.8]	[10.3 ; 14.5]	[8.8 ; 13.5]	[7.8 ; 14.0]	[6.5 ; 11.3]
DRL 4:	15.0	14.5	14.5	14.0	14.3*	12.8*
20-30kg	[14.5 ; 15.0]	[14.0 ; 15.0]	[14.0 ; 14.5]	[13.8 ; 14.8]	[13.5 ; 14.8]	[11.3 ; 14.3]
DRL 5:	15.0	14.8	14.5	14.8	14.5	14.0*
>30kg	[14.8 ; 15.0]	[14.5 ; 15.0]	[14.0 ; 15.0]	[14.3 ; 15.0]	[13.5 ; 15.0]	[13.8 ; 14.8]

*: parameters with statistically significant difference ($p < 0.05$) compared to the reference (100%).

Inter-observer reproducibility

The intra-class correlation coefficient of the global analysis was 0.86 [0.83; 0.89]. There was an overall difference in rating between the two radiologists of 2 points or less for 34 (47.2%) of the radiographs in group DRL 1, for 43 (59.7%) of the radiographs in group DRL 2, for 59 (81.9%) of the radiographs in group DRL 3, for 66 (91.7%) of the radiographs in group DRL 4, for 69 (95.8%) of the radiographs in group DRL 5.

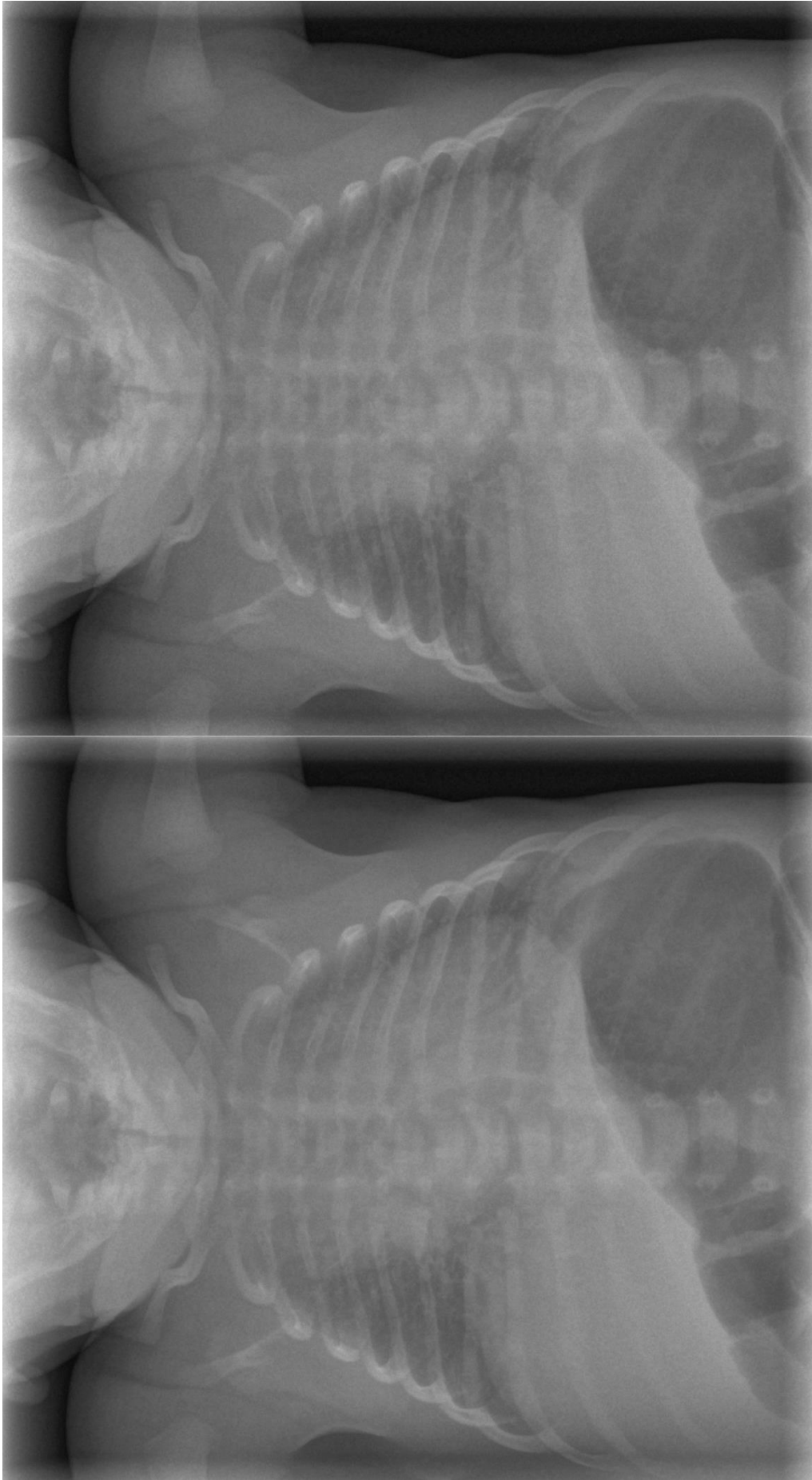


Figure 1. Group DRL 1, simulated radiographs at 100% (left) and 80% (right) of the initial dose.

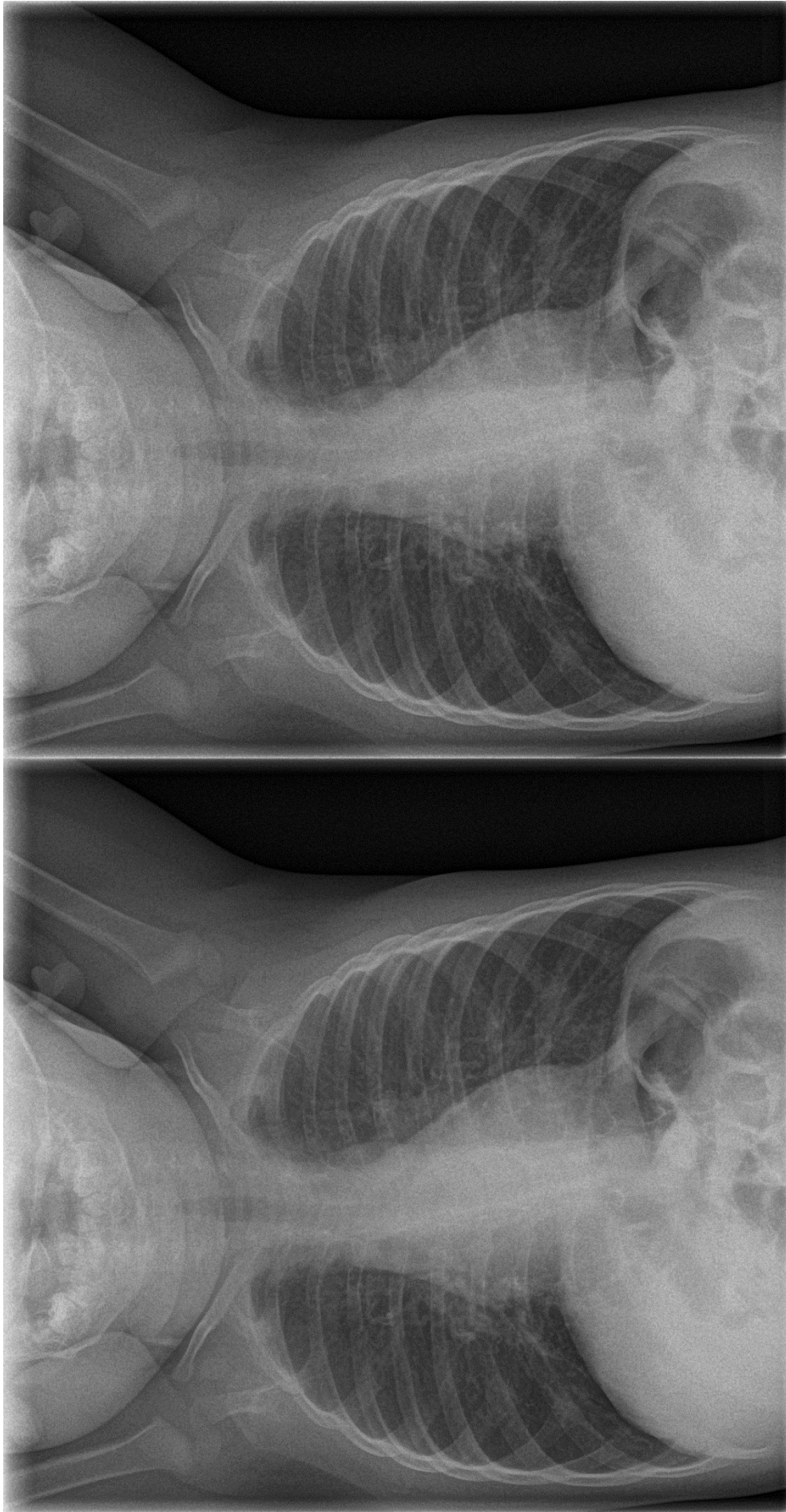


Figure 2. Group DRL 3, simulated radiographs at 100% (left) and 80% (right) of the initial dose.

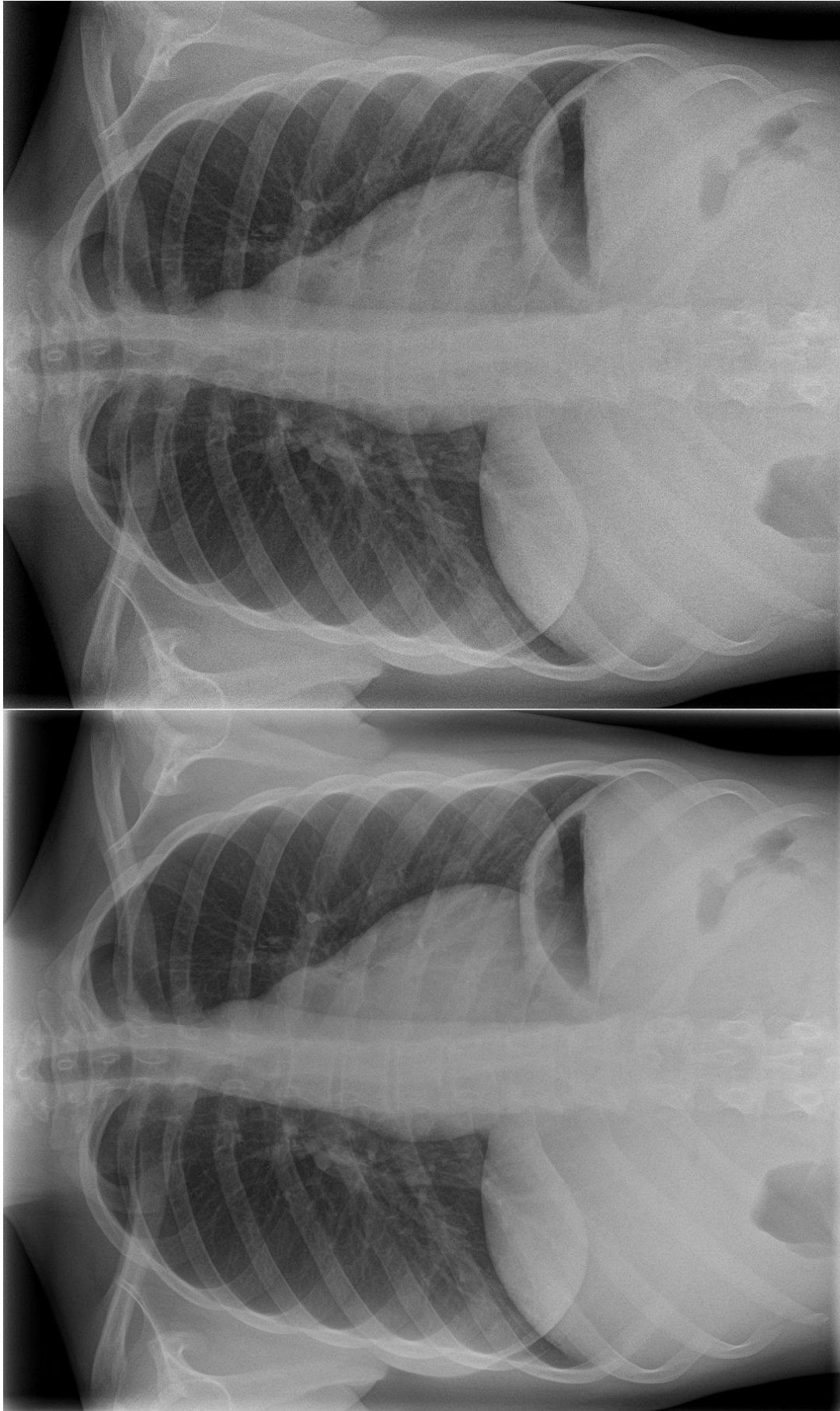


Figure 3. Group DRL 5, simulated radiographs at 100% (left) and 40% (right) of the initial dose.

Discussion

Our study showed that the X-ray doses can be reduced by 20% in children between 5 to 20 kg, 50% in children between 20 and 30 kg and up to 60% in children over 30 kg, with an identical image quality of the chest radiographs compared to those without dose reduction. The absence of reduction of dose for low weighted categories (DRL group 1) can be explained by the already optimized doses, especially for newborns corresponding to children less than 5 kg, with a dose delivered well below the recommended thresholds for diagnostic reference levels (0.9cGy.cm^2) (3).

The benefit of the dose simulation software tool was its ability to provide simulated radiographs with decreasing delivered ionizing radiation dose. It allowed radiologists to compare and choose the best compromise in delivered dose while maintaining the image quality (24). It constitutes a new methodological approach to reduce radiation exposure in a faster way than a progressive decrease of delivered dose with the subjective appreciation of the interpreting radiologists. This could explain how our reduction dose was significant but probably would be more so in an adult radiology center without a frequent optimization process.

One of the strengths of our research was the group analysis based on diagnostic reference levels established according to weight categories, allowing for a more detailed and clinically relevant analysis with comparative reference values (3, 5). Our sample of sixty children represented a relatively large number of patients and was similar to previous radiation protection studies reported in the literature (16, 18, 25). The use of European quality criteria has given robustness to our image quality analysis. Positioning criteria were useful to be confident in the respect of the recommendation. We have decided to add a subjective criterion commenting on the overall discomfort felt with the interpretation. This discomfort was related to photonic noise, which was more and more present as the delivered dose was decreasing. The consideration of photonic noise was important in pediatric radiology because of the smaller size of the anatomical structures analyzed, further influencing the diagnostic performance of the radiologist, as reported in other studies (26, 27).

Inter-observer reproducibility was good. However, we observed logically that the discrepancy measured by 2 points of difference between the two radiologists was the highest in the youngest patients whose chest radiographs were the most optimized, with a proportional highest level of noise. Discrepancy was negligible in older children, suggesting an

insignificant clinical impact in the interpretability of chest radiographs. In the image quality study design, reducing the delivered dose while maintaining image quality was only an indirect reflects of the diagnosis information. Comparing the interpretation of X-rays would be also interesting but may misleading due to another bias due to the potential subjectivity of the radiologist's interpretation.

Our results deserve to be confirmed with larger population studies and with other X-ray examinations concerning radiosensitive organs. The simulated radiographs must now be compared with our future X-rays obtained with our adapted parameters to be sure that the software provides realistic images.

Conclusion

The software was useful for identifying groups of children where the X-ray delivered dose could be reduced during frontal chest radiographs. With good inter-observer reproducibility, we observed that the dose can be reduced up to 60% and adapted depending on children's weight while maintaining the image quality. The simulated radiographs obtained with the Dose Simulation software tool was useful to determine the best compromise between image quality and delivered dose during a pediatric chest X-ray optimization process.

Conflicts of interest: The authors declared no conflict of interest.

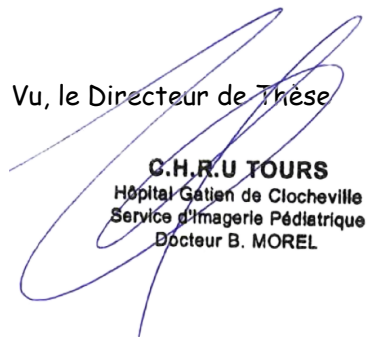
Acknowledgments: The authors thank Mr John Sheath for English language assistance and his friendly support.

References

1. Harding K, Thomson WH. Radiological protection and safety in medicine - ICRP 73. *Eur J Nucl Med* 1997;24:1207–1209
2. Komatsu CV, Silva CC, Souza LRMF de, Gonçalves LF. Excess Radiation to Newborns Hospitalized in the Intensive Care Unit. *Radiat Prot Dosimetry* 2017;177:331–341
3. Anon. Les niveaux de référence diagnostiques en radiologie. <https://nrd.irs.fr/radiologie>. Accessed August 12, 2019
4. Wachabauer D, Röthlin F, Moshhammer HM, Homolka P. Diagnostic Reference Levels for conventional radiography and fluoroscopy in Austria: Results and updated National Diagnostic Reference Levels derived from a nationwide survey. *European Journal of Radiology* 2019;113:135–139
5. Asada Y, Ichikawa T. Consideration of diagnostic reference levels for pediatric chest X-ray examinations. *Radiol Phys Technol* 2019
6. Chytrá K, Novák L, Rejtar P, Homola M, Daničková K, Červinková I. RADIATION EXPOSURE OF PAEDIATRIC GENERAL RADIOGRAPHY, FLUOROSCOPY AND CT PROCEDURES IN THE CZECH REPUBLIC—PILOT STUDY. *Radiat Prot Dosimetry*
7. Schegerer AA, Loose R, Heuser L, Brix G. Diagnostic reference levels for diagnostic and interventional X-ray procedures in Germany: update and handling – Answer to the comments of members of the chest radiology workshop of the German Roentgen Society. *Fortschr Röntgenstr* 2020;192:83–83
8. Voss SD, Reaman GH, Kaste SC, Slovis TL. The ALARA concept in pediatric oncology. *Pediatr Radiol* 2009;39:1142
9. Willis CE, Slovis TL. The ALARA concept in pediatric CR and DR: dose reduction in pediatric radiographic exams – A white paper conference Executive Summary. *Pediatr Radiol* 2004;34:S162–S164
10. Pearce MS, Salotti JA, Little MP, McHugh K, Lee C, Kim KP, et al. Radiation exposure from CT scans in childhood and subsequent risk of leukaemia and brain tumours: a retrospective cohort study. *The Lancet* 2012;380:499–505
11. Mathews JD, Forsythe AV, Brady Z, Butler MW, Goergen SK, Byrnes GB, et al. Cancer risk in 680 000 people exposed to computed tomography scans in childhood or adolescence: data linkage study of 11 million Australians. *BMJ* 2013;346
12. Anon. The Essential Physics of Medical Imaging, Third Edition. - PubMed - NCBI. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28524933>. Accessed May 8, 2019
13. Khong P-L, Ringertz H, Donoghue V, Frush D, Rehani M, Appelgate K, et al. ICRP Publication 121: Radiological Protection in Paediatric Diagnostic and Interventional Radiology. *Ann ICRP* 2013;42:1–63
14. Preston DL, Ron E, Tokuoka S, Funamoto S, Nishi N, Soda M, et al. Solid Cancer Incidence in Atomic Bomb Survivors: 1958–1998. *rare* 2007;168:1–64

15. Levy A, Goldberg M, Mayo N, Hanley J, Poitras B. Reducing the Lifetime Risk of Cancer From Spinal Radiographs Among People With Adolescent Idiopathic Scoliosis. *Spine* 1996;21:1540–1547
16. Precht H, Gerke O, Rosendahl K, Tingberg A, Waaler D. Digital radiography: optimization of image quality and dose using multi-frequency software. *Pediatr Radiol* 2012;42:1112–1118
17. Precht H, Gerke O, Rosendahl K, Tingberg A, Waaler D. Large dose reduction by optimization of multifrequency processing software in digital radiography at follow-up examinations of the pediatric femur. *Pediatr Radiol* 2014;44:239–240
18. Precht H, Waaler D, Outzen CB, Brock Thorsen JB, Steen T, Hellfritsch MB, et al. Does software optimization influence the radiologists' perception in low dose paediatric pelvic examinations? *Radiography* 2019;25:143–147
19. Maccia C, Ariche-Cohen M, Nadeau X, Severo (INVITED) G. The 1991 CEC Trial on Quality Criteria for Diagnostic Radiographic Images. *Radiat Prot Dosimetry* 1995;57:111–117
20. Anon. *European guidelines on quality criteria for diagnostic radiographic images: In paediatrics*. Luxembourg: European Commission, 1996
21. Almén A, Tingberg A, Besjakov J, Mattsson S. The use of reference image criteria in X-ray diagnostics: an application for the optimisation of lumbar spine radiographs. *Eur Radiol* 2004;14:1561–1567
22. Båth M, Månsson LG. Visual grading characteristics (VGC) analysis: a non-parametric rank-invariant statistical method for image quality evaluation. *Br J Radiol* 2007;80:169–176
23. Niemann T, Reisinger C, Ruiz-Lopez L, Bongartz G. Image quality in conventional lumbar spine radiography. *European Journal of Radiology* 2009;70:357–361
24. Alejo L, Corredoira E, Sánchez-Muñoz F, Huerga C, Aza Z, Plaza-Núñez R, et al. Radiation dose optimisation for conventional imaging in infants and newborns using automatic dose management software: an application of the new 2013/59 EURATOM directive. *BJR* 2018;91:20180022
25. Moore CS, Avery G, Balcam S, Needler L, Swift A, Beavis AW, et al. Use of a digitally reconstructed radiograph-based computer simulation for the optimisation of chest radiographic techniques for computed radiography imaging systems. *BJR* 2012;85:e630–e639
26. Huda W. Assessment of the problem: pediatric doses in screen-film and digital radiography. *Pediatr Radiol* 2004;34:S173–S182
27. Verdun FR, Lepori D, Monnin P, Valley J-F, Schnyder P, Gudinchet F. Management of patient dose and image noise in routine pediatric CT abdominal examinations. *Eur Radiol* 2004;14:835–841

Vu, le Directeur de Thèse



C.H.R.U TOURS

Hôpital Gatien de Clocheville

Service d'Imagerie Pédiatrique

Docteur B. MOREL

Vu, le Doyen

De la Faculté de Médecine de Tours

Tours, le

MEUNIER Benjamin

50 pages – 3 tableaux – 6 figures – 1 annexe

Résumé :

Objectif : La radiographie pulmonaire est l'un des examens d'imagerie le plus fréquemment réalisé chez l'enfant. La réduction de la dose délivrée est toujours un enjeu majeur en radiologie pédiatrique. L'objectif de notre étude était de déterminer la dose minimale de rayons X à délivrer tout en conservant la qualité d'image des radiographies pulmonaires à l'aide d'un logiciel de simulation de réduction de dose.

Matériels et méthodes : Nous avons inclus soixante enfants ayant bénéficié d'une radiographie pulmonaire, répartis en cinq groupes équitablement représentés en fonction des niveaux de référence diagnostiques (NRD) établis selon des catégories de poids. Le logiciel a simulé pour chaque radiographie, six clichés simulant le bruit photonique correspondant à 100%, 80%, 64%, 50%, 40% et 32% de la dose initiale. Les trois-cent-soixante radiographies ont été notées en aveugle par deux radiologues, selon les sept critères de qualité européens et un critère subjectif d'interprétabilité, en utilisant une échelle visuelle semi quantitative de Likert.

Résultats : Il n'y avait pas de différence significative de notation entre la radiographie de référence (100%) et les radiographies simulées, à 80% de la dose chez les enfants de 5 à 20 kg, à 50% de la dose chez les enfants de 20 à 30 kg, à 40% de la dose chez les enfants de plus de 30 kg. La reproductibilité inter-observateur était bonne.

Conclusion : La dose délivrée peut être réduite de 20% chez les enfants de 5 à 20 kg, de 50% chez les enfants de 20 à 30 kg et de 60% chez les enfants de plus de 30 kg, sans différence dans l'appréciation de la qualité d'image des radiographies pulmonaires. Un logiciel produisant des radiographies simulées avec une dose délivrée décroissante est un outil innovant dans un processus d'optimisation.

Mots clés : ALARA ; radiographie pulmonaire ; enfant ; logiciel ; optimisation

Jury :

Président du Jury :	Professeur Laurent BRUNEREAU
<u>Directeur de thèse :</u>	<u>Docteur Baptiste MOREL</u>
Membres du Jury :	Professeur Jean-Philippe COTTIER
	Professeur Frédéric PATAT

Date de soutenance : Mercredi 8 avril 2020