



Association
des physiciens et ingénieurs
biomédicaux du Québec

Rapport d'étude Troisième partie

Tomodensitométrie
cardiaque

Étude des doses en tomodensitométrie



Comité de radioprotection
Mars 2011

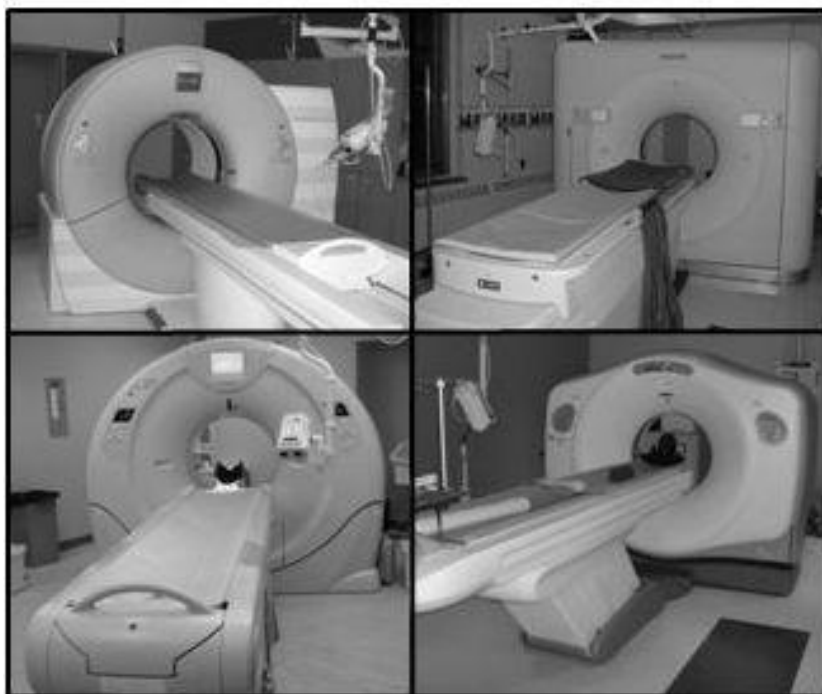


Association
des physiciens et ingénieurs
biomédicaux du Québec

Rapport d'étude Troisième partie

Tomodensitométrie
cardiaque

Étude des doses en tomodensitométrie



Comité de radioprotection
Mars 2011

Le présent rapport ne lie pas le ministère de la Santé et des Services sociaux et ne constitue pas ses orientations. Il représente l'opinion des membres du comité de radioprotection de l'Association des physiciens et ingénieurs biomédicaux du Québec. Son contenu n'engage que ses auteurs.

Édition produite par :

L'Association des physiciens et ingénieurs biomédicaux du Québec

Révision : Yvette Gagnon

Michel Dussault

Le présent document a été édité en quantité limitée et n'est maintenant disponible qu'en version électronique à l'adresse : **www.apibq.org**, section **Documents**.

Le genre masculin utilisé dans ce document désigne aussi bien les femmes que les hommes.

ISBN : 978-2-9811231-4-5 (version imprimée)

ISBN : 978-2-9811231-5-2 (PDF)

Dépôt légal - Bibliothèque et Archives nationales du Québec, 2011

Dépôt légal - Bibliothèque et Archives Canada, 2011

Tous droits réservés pour tout pays. La reproduction, par quelque procédé que ce soit, la traduction ou la diffusion du présent document, même partielles, sont interdites sans autorisation préalable. Cependant, la reproduction partielle ou complète du document à des fins personnelles ou éducatives et non commerciales est permise, à condition d'en mentionner la source.

© Association des physiciens et ingénieurs biomédicaux du Québec

Responsable de l'étude

Normand Nadon, président du comité de radioprotection
Association des physiciens et ingénieurs biomédicaux du Québec

Coordination et rédaction

Francine Noël, technologue en imagerie médicale
Centre hospitalier universitaire de Québec

Groupe de travail*Analyse des résultats*

Robert Ouellet, ingénieur physicien
Institut de cardiologie de Montréal et Centre hospitalier affilié universitaire de Québec

Lecture et commentaires

Jean Arsenault, ingénieur biomédical
Institut universitaire de cardiologie et de pneumologie de Québec

Jacques Blanchette, physicien médical
Institut universitaire de cardiologie et de pneumologie de Québec

Francine Dinelle, physicienne médicale
Centre hospitalier de l'Université de Montréal

Clément Drolet, ingénieur biomédical
Centre hospitalier universitaire de Québec

Nagi Sharoubim, ingénieur-conseil
Retraité du Centre universitaire de santé McGill

Normand Nadon, physicien médical
Hôpital du Sacré-Cœur de Montréal

Collaboration

Association des radiologistes du Québec
D^r Yves Patenaude, radiologiste
Centre hospitalier universitaire de Sherbrooke

Ordre des technologues en imagerie médicale et radio-oncologie du Québec
Danielle Boué, t.i.m., présidente
Alain Crompt, t.i.m., directeur général

Ministère de la Santé et des Services sociaux
Richard Tremblay, physicien
Direction de la santé publique

Institut national de santé publique du Québec (INSPQ)
D^{re} Anne-Marie Bourgault, directrice du Laboratoire de santé publique du Québec
Manon Rouleau, Ing., physicienne au Laboratoire de santé publique du Québec



ÉTUDE DES DOSES EN TOMODENSITOMÉTRIE, CT SCAN

TROISIÈME PARTIE : TOMODENSITOMÉTRIE CARDIAQUE

RÉSUMÉ

L'étude des doses en tomodensitométrie menée au Québec en mars 2008 a permis, entre autres, de recueillir les données techniques des examens qui sont effectués en soins cardiaques. Le présent document constitue la troisième partie de notre rapport. Des formulaires tenant compte des particularités de ces examens avaient été joints à l'envoi adressé à tous les centres publics et privés de tomodensitométrie.

Une faible proportion des centres effectuaient les examens cardiaques au cours de la période de l'étude. Au total, 9 des 75 centres participants ont transmis des données d'examens ; 3 de ceux-ci ont transmis leurs protocoles, mais n'ont effectué aucun examen pendant cette période. La collecte a permis de recueillir les données relatives à 58 examens cardiaques effectués à l'aide de 7 tomodensitomètres dotés de multidétecteurs. L'étude regroupe les données d'examens de 14 femmes et de 25 hommes. Trois types d'examens CT cardiaques ont été retenus pour l'analyse : l'angio CT aortique, la coronaro CT et le calcul du score calcique.

Plus de 900 entrées ont été saisies dans un chiffrier Excel (Microsoft Corporation). Les indices de référence utilisés dans ce rapport sont le $CTDI_{VOL}$ (*volume computed tomography dose index*) et le DLP (*dose-length product*). La dose efficace moyenne, exprimée en mSv, a été estimée à partir des valeurs DLP obtenues des différents examens et comparée aux résultats d'études similaires. Dans le cadre de l'étude, la dose efficace moyenne pour l'angio CT aortique avec produit de contraste est de 23,5 mSv, tandis qu'elle est de 10,9 mSv sans l'utilisation d'un tel produit. Par ailleurs, on obtient une dose efficace moyenne de 23 mSv pour la coronaro CT et de 3,1 mSv pour l'examen du score calcique.

L'analyse montre une grande variation d'un centre à l'autre en ce qui concerne les doses obtenues pour un même type d'examen. L'utilisation de la modulation du courant en fonction du rythme cardiaque explique en grande partie ces écarts. Depuis notre étude en mars 2008, au moins deux centres ont rehaussé leur tomodensitomètre, ce qui leur a permis d'optimiser leurs protocoles techniques et de réduire les doses des examens. Nous avons comparé leurs derniers résultats à ceux de l'étude.

Les doses des examens CT cardiaques peuvent être élevées, selon l'examen. Il est donc indispensable d'optimiser les protocoles techniques afin d'utiliser la plus faible dose de radiation possible tout en assurant la qualité informative de l'image.

TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES FIGURES.....	11
LISTE DES TABLEAUX.....	11
INTRODUCTION	13
OBJECTIFS	15
1 LA TOMODENSITOMÉTRIE CARDIAQUE	17
2 MÉTHODOLOGIE.....	20
2.1 DOSIMÉTRIE.....	20
2.1.1 STRATÉGIE	20
2.1.2 INDICATEUR : LA DOSE EFFICACE	20
2.1.3 INDICES SCANOGRAPHIQUES	21
2.1.4 NIVEAU DE RÉFÉRENCE DIAGNOSTIQUE (NRD).....	21
2.1.5 ÉVALUATION DE LA DOSE EFFICACE	22
2.2 COLLECTE DES DONNÉES.....	22
2.2.1 QUESTIONNAIRE	22
2.2.2 ASSURANCE DE LA QUALITÉ.....	22
3 SCHÉMA D'ANALYSE.....	23
4 ANALYSE ET RÉSULTATS	24
4.1 ÉCHANTILLONNAGE	24
4.1.1 TAUX DE PARTICIPATION	24
4.1.2 TRAITEMENT DES DONNÉES	24
4.2 DOSE (DLP) MOYENNE.....	27
4.2.1 DOSE (DLP) MOYENNE POUR UNE ANGIO CT AORTIQUE	27
4.2.2 DOSE (DLP) MOYENNE POUR UNE CORONARO CT	30
4.2.3 DOSE (DLP) MOYENNE POUR LE CALCUL DU SCORE CALCIQUE	31
4.2.4 EXAMENS MULTIPLES.....	32
4.3 DOSE EFFICACE MOYENNE	34
5 RÉSUMÉ DES PRINCIPAUX RÉSULTATS DE L'ÉTUDE	36
ÉVALUATION DES RISQUES.....	37
DISCUSSION	38

CONCLUSION	40
BIBLIOGRAPHIE.....	42
ANNEXES.....	45
ANNEXE 1 : FORMULAIRE DES PARAMÈTRES D'EXPOSITION	47
ANNEXE 2 : FORMULAIRE DE RENSEIGNEMENTS	49

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Répartition des DLP obtenus pour une angio CT aortique C+	28
Figure 2 : Répartition des DLP obtenus pour une angio CT aortique C-	29
Figure 3 : Répartition des DLP obtenus pour une coronaro CT	30
Figure 4 : Répartition des DLP obtenus pour l'examen visant le calcul du score calcique	32
Figure 5 : Proportion des patients selon le nombre d'examens subis	33

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Répartition des tomodensitomètres selon la technologie	24
Tableau 2 : Répartition des poids selon le sexe des patients	25
Tableau 3 : Répartition de l'âge des patients de l'étude selon le sexe	26
Tableau 4 : Couverture anatomique moyenne selon le type d'examen	26
Tableau 5 : Indicateurs de dose pour l'aortographie C+	27
Tableau 6 : Indicateurs de dose pour l'angio CT aortique C-	28
Tableau 7 : Indicateurs de dose pour une coronaro CT	30
Tableau 8 : Indicateurs de dose pour l'examen visant le calcul du score calcique	31
Tableau 9 : Dose efficace des examens et comparaison avec d'autres études	34

INTRODUCTION

La tomodensitométrie (CT ou TDM) est une technologie d'imagerie médicale de plus en plus utilisée pour les soins cardiaques. L'examen tomodensitométrique joue plutôt un rôle complémentaire pour le diagnostic ou le suivi des maladies cardiaques, particulièrement celles qui affectent les artères. L'examen CT, utile surtout parce qu'il présente une reconstruction des images en 3D, permet de visualiser les très petites artères, mais il exige une dose de radiation X généralement plus élevée que l'examen d'imagerie cardiaque conventionnel.

Au cours des dernières années, les avancées technologiques ont permis d'accroître la précision de l'examen en même temps que de réduire la durée de celui-ci et la dose de radiation X qu'il implique ; la modulation du courant en tomodensitométrie cardiaque s'associe à la synchronisation avec le rythme cardiaque, ce qui permet d'acquérir des images pendant une phase précise du cycle.

Les examens CT cardiaques ont fait l'objet d'une attention particulière de la part de différentes organisations et de divers groupes de professionnels que la radioprotection intéresse. Dans son rapport n° 60, l'International Atomic Energy Agency présente les risques associés aux procédures effectuées en soins cardiaques selon les pratiques courantes et les avancées technologiques des dernières années. Compte tenu de l'augmentation importante du nombre de ces examens, l'American College of Radiology a révisé son guide de pratique en 2009. Pour sa part, l'Association canadienne des radiologistes a approuvé en janvier 2009 ses lignes directrices et les normes de pratique en matière de tomodensitométrie cardiaque.

L'étude des doses en tomodensitométrie tenue au Québec en 2008 concernait principalement les examens courants (tête, thorax, abdomen). Cependant, les centres étaient invités à faire connaître leurs données techniques pour les examens cardiaques effectués par tomodensitométrie durant la même période. Le présent document constitue la troisième partie du rapport de l'étude ; les deux autres, portant sur les doses des examens courants et sur la coloscopie virtuelle, ont paru en mai 2009 et en août 2010 respectivement.

Au Québec, très peu de centres offraient les examens de tomodensitométrie cardiaque en mars 2008. Néanmoins, neuf centres ont transmis leurs protocoles techniques. Afin de suivre l'évolution de la pratique, une brève analyse comparative a été faite à partir de données reçues ultérieurement à l'étude.

Cette étude a été rendue possible grâce à l'appui financier du ministère de la Santé et des Services sociaux du Québec, par l'entremise de la Direction de la santé publique, et grâce à la collaboration de l'Association des radiologistes du Québec et de l'Ordre des technologues en imagerie médicale et en radio-oncologie du Québec. Nous souhaitons remercier l'Institut de cardiologie de Montréal et son personnel en imagerie médicale ainsi que l'Institut universitaire de cardiologie et de pneumologie de Québec pour les résultats transmis après l'étude ; ceux-ci nous ont permis de procéder à une analyse comparative après un processus d'optimisation des doses.

OBJECTIFS

Le présent rapport donne un aperçu des examens de tomodensitométrie les plus courants effectués en soins cardiaques au Québec et de la dose de radiation X reçue pour ce type d'examen. Les données techniques ont été recueillies au moment de l'étude des doses en tomodensitométrie tenue en mars 2008.

De façon à suivre l'évolution technique des examens CT cardiaques, nous présentons dans ce rapport une brève analyse comparative entre les résultats obtenus dans le cadre de notre étude en 2008 et ceux qu'ont depuis enregistrés deux des centres participants à la suite du rehaussement de leurs équipements.

Ce rapport traite des trois examens suivants :

- l'angio CT (angioscanner), notamment l'angio aortique avec synchronisation cardiaque ;
- la coronaro CT (scanner des artères coronaires) ;
- le calcul du score calcique (CT cardiaque).

Pour chaque type d'examen, une attention particulière est portée aux moyens que les centres utilisent afin de réduire les doses des examens, par exemple le choix des paramètres techniques (mode d'acquisition, mA ou mAs et kV), l'utilisation de la modulation du courant en fonction du rythme cardiaque et la couverture anatomique¹.

1. Le lecteur peut se référer au document principal de l'étude, portant sur les examens courants, pour connaître les définitions techniques et avoir des détails sur la méthodologie de l'étude (voir APIBQ – ASSOCIATION DES PHYSICIENS ET INGÉNIEURS BIOMÉDICAUX DU QUÉBEC, COMITÉ DE RADIOPROTECTION (2008). *Étude des doses en tomodensitométrie – Première partie : Analyse des examens courants*, Québec, Association des physiciens et ingénieurs biomédicaux du Québec, 86 p., [En ligne], < http://www.apibq.org/client_file/upload/document/Radioprotection2/Rapport%20APIBQ%20Quebec%202009_%20Etude%20des%20doses%20en%20TDM.pdf >).

1 LA TOMODENSITOMÉTRIE CARDIAQUE

La tomodensitométrie cardiaque permet d'évaluer la morphologie des chambres cardiaques, des ventricules, des artères coronaires, de l'aorte, des artères et des veines pulmonaires centrales².

Habituellement, les examens tomodensitométriques en soins cardiaques sont indiqués pour la recherche d'une sténose ou d'une anomalie coronaire, le contrôle de la perméabilité de pontages coronaires et celui de la pose d'une endoprothèse (*stent*) coronaire³.

Principes et fonctionnement

La tomodensitométrie cardiaque se caractérise par des acquisitions avec synchronisation sur le rythme cardiaque, l'objectif étant d'obtenir des images associées à un temps déterminé du cycle cardiaque avec le plus de précision possible. L'électrocardiogramme (ECG) du patient est transmis au tomodensitomètre et l'acquisition se fait en synchronisation avec l'ECG.

Avec une résolution temporelle de l'ordre de 200 msec, il est possible de minimiser les artéfacts de mouvement et d'obtenir des images cliniquement acceptables, surtout dans la phase diastolique du cycle cardiaque. La résolution temporelle est très importante pour ce type d'examen. Elle se définit comme le temps (msec) minimal requis pour effectuer les projections nécessaires à la reconstruction d'images pendant un battement ou cycle cardiaque.

Il existe deux modes de synchronisation : la synchronisation prospective, aussi appelée balayage axial séquentiel ou technique *step-and-shoot*⁴, et la synchronisation rétrospective.

Lorsque le mode prospectif est utilisé, le tube à rayons X émet la radiation seulement au cours de la phase du cycle cardiaque déterminée pour effectuer l'examen. Cela permet donc de minimiser la dose, mais ne permet pas de reconstruction à une autre phase du cycle cardiaque. C'est le mode privilégié pour l'examen du score calcique, qui vise uniquement à quantifier la calcification sur des images acquises pendant la phase diastolique.

La synchronisation rétrospective nécessite une exposition aux rayons X tout au long de l'examen. Pour explorer l'ensemble du cycle cardiaque, il faut que le tube à rayons X émette la radiation d'une façon continue tout en acquérant le signal de l'électrocardiogramme. Dans un deuxième temps, il y aura reconstruction des images à des phases du cycle cardiaque déterminées.

2. ACR – AMERICAN COLLEGE OF RADIOLOGY (2009), *ACR Practice Guideline for the Performance and Interpretation of Cardiac Computed Tomography (CT)*, Resolution n° 36, révisée, p. 2. Pour de plus amples informations, le lecteur peut consulter le site Web de l'ACR, à l'adresse suivante : < www.acr.org >.

3. France (2006). « Décret du 8 juin 2006 relatif aux procédures radiologiques : réalisation, critères de qualité et optimisation », *Journal de la République française*, n°2006-676, article 2, 10 juin, p. 36-38. [En ligne], < <http://eassa.cordo.pagesperso-orange.fr/SFROPRI/scanMC.pdf> >.

4. CAR – ASSOCIATION CANADIENNE DES RADIOLOGISTES (2009), *Lignes directrices et normes de pratique en matière de tomodensitométrie cardiaque*, p 17. Pour de plus amples informations, le lecteur peut consulter le site Web de la CAR, à l'adresse suivante : < www.car.ca >.

Le cycle cardiaque peut être divisé en dix périodes d'une durée identique appelées phases cardiaques ou temps du cycle cardiaque. Habituellement, la reconstruction se rapporte à la diastole dans le cas de la coronaro CT ou encore à dix temps du cycle cardiaque quand on veut évaluer la cinématique.

La synchronisation rétrospective permet la modulation du courant au tube en fonction du temps cardiaque. L'intensité du courant utilisé variera selon la phase cardiaque. Le courant sera à sa plus basse intensité au moment de la systole et atteindra son maximum en phase diastolique. L'utilisation d'un plus faible courant pendant la phase systolique permet de réduire la dose de l'examen. Les images systoliques se font avec un courant inférieur, l'image des coronaires étant altérée par la cinématique cardiaque. Du point de vue dosimétrique, les examens effectués selon ce mode présentent néanmoins une dose plus élevée que les examens faits en mode prospectif.

Soulignons que la modulation du courant en fonction de la morphologie du patient ne peut s'appliquer en tomодensitométrie cardiaque, contrairement aux autres types d'examens CT. Elle se fera plutôt en fonction de l'ECG.

L'Association canadienne des radiologistes recommande, dans ses lignes directrices⁵ publiées en 2009, d'évaluer la possibilité d'avoir recours à la synchronisation prospective lorsque celle-ci permet de répondre aux besoins du diagnostic.

Au moment où se déroulait la présente étude, soit en mars 2008, les centres participants ne pouvaient effectuer les coronaro CT selon le mode de la synchronisation prospective. Cette pratique a été rendue possible dans les années qui ont suivi pour au moins deux de ces centres.

Les examens les plus courants

– L'angio CT (angioscanner)

L'angio CT est un examen de tomодensitométrie qui permet la visualisation tridimensionnelle des artères ou des veines. L'examen nécessite l'injection intraveineuse d'un produit de contraste. Cet examen, peu invasif, est efficace notamment pour le diagnostic d'embolies pulmonaires et de sténoses. Toutefois, cette méthode d'imagerie ne permet pas de poser des actes thérapeutiques tels que l'installation d'une endoprothèse. L'angio CT fournit une cartographie des vaisseaux, laquelle contribuera à planifier le traitement⁶.

5. *Ibid.*, p. 17.

6. INFO-RADIOLOGIE (2010), [En ligne], < <http://www.info-radiologie.ch> >. Consulté les 26 et 27 septembre.

– La coronaro CT (scanner des artères coronaires)

La coronaro CT permet de visualiser les artères coronaires et de montrer leurs lésions. Cet examen nécessite l'injection intraveineuse d'un produit de contraste. Le diamètre des artères coronaires étant très petit (moins de 5 mm), la démonstration d'une lésion coronarienne nécessite une résolution spatiale élevée (précision). La qualité de l'image sera influencée par la fréquence cardiaque – une fréquence de plus de 80 battements par minute risque de diminuer la qualité de l'image. Cette procédure est de plus en plus pratiquée ; néanmoins, la procédure de référence pour évaluer une maladie coronarienne reste la coronarographie. La coronarographie, contrairement à la coronaro CT, est invasive, mais elle permet un geste thérapeutique comme la pose d'une endoprothèse coronaire.

– Le calcul du score calcique (ou score d'Agatston⁷)

L'examen CT cardiaque utilisé pour le calcul du score calcique permet d'évaluer la présence et la quantité de plaques calcifiées sur les artères coronaires. Un score élevé augmenterait le risque d'une pathologie coronarienne. Cet examen non invasif ne nécessite pas l'injection intraveineuse d'un produit de contraste. La littérature est nuancée concernant son utilisation mais, selon l'American College of Cardiology, il peut constituer une approche acceptable dans certains cas. Cet examen est de plus en plus pratiqué et on utilise généralement alors le mode de la synchronisation prospective.

7. AGATSTON, A.S., W.R. JANOWITZ, F.J. HILDNER et autres (1990), « Quantification of coronary artery calcium using ultrafast computed tomography », *Journal of the American College of Cardiology*, vol. 15, n° 4, 15 mars, p. 827-832.

2 MÉTHODOLOGIE

2.1 DOSIMÉTRIE

2.1.1 STRATÉGIE

Pour évaluer la dosimétrie dans le cadre de l'étude portant sur les soins cardiaques par tomодensitométrie, nous utilisons deux indices de référence, appelés *indices scanographiques*, qui permettent de mesurer des quantités : l'indice de dose volumique ($CTDI_{VOL}$ – *volume weighted CT dose index*) et le produit dose longueur (DLP – *dose length product*). Ces valeurs ont été consignées par le technologue en imagerie médicale du centre au moment de l'examen.

La méthodologie appliquée au moment de l'étude et la définition des termes utilisés ont été exposées en détail dans la première partie de notre rapport d'étude, qui portait sur l'analyse des examens courants et qui a été déposée le 20 mai 2009⁸. Certaines notions et informations nécessaires à la présentation de la troisième partie de notre rapport sont toutefois reprises ici.

2.1.2 INDICATEUR : LA DOSE EFFICACE

La dose efficace est un indicateur des risques des effets de la radiation qui permet de traduire une irradiation locale à l'échelle du corps entier. Elle fait intervenir des facteurs de pondération (W_T) associés à la radiosensibilité des divers tissus et organes exposés.

En 1991, la Commission internationale de radioprotection a, dans sa publication n° 60, présenté une série de valeurs pour les facteurs de pondération⁹, laquelle série est communément citée sous le vocable ICRP-60. En 2007, l'ICRP a publié de nouvelles recommandations¹⁰ dans sa publication n° 103.

Les facteurs de pondération recommandés par la Commission en 1991 et en 2007 ont été présentés dans le tableau 1 de la première partie de notre rapport, portant sur les examens courants.

8. APIBQ, op. cit.

9. ICRP – INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION (1991). « 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection », *Annals of the ICRP*, vol. 21, n°s 1-3, ICRP Publication n° 60, 201 p.

10. ICRP – INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION (2007). « The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection », *Annals of the ICRP*, vol. 37, n°s 2-4, ICRP Publication n° 103, 330 p.

2.1.3 INDICES SCANOGRAPHIQUES

Deux indices ont été utilisés dans le rapport pour évaluer la dose efficace : le CTDI volumique ($CTDI_{VOL}$ – *volume computed tomography dose index*) et le produit dose longueur (DLP – *Dose length product*). Même s'il est impossible de mesurer directement la dose efficace pour un examen, on peut l'évaluer et définir des quantités mesurables permettant de comparer les doses efficaces entre deux examens effectués à l'aide de tomodesitomètres différents.

CTDI volumique ($CTDI_{VOL}$ – *volume computed tomography dose index*)

Le $CTDI_{VOL}$ tient compte des acquisitions effectuées en mode hélicoïdal, lesquelles peuvent comporter un pas d'acquisition (*pitch*) différent de l'unité. Le $CTDI_{VOL}$ est exprimé en mGy.

Produit dose longueur (DLP – *dose-length product*)

Le DLP est un indicateur de la dose totale que reçoit le patient pendant un examen. Il représente l'intégration, sur la région corporelle couverte par l'examen, du $CTDI_{VOL}$. Le DLP se définit plus simplement comme le produit de la distance balayée par le faisceau et de la valeur moyenne du $CTDI_{VOL}$ sur cette distance. Les unités du DLP sont exprimées en mGy•cm.

Dans le cadre de l'étude, les centres ayant procédé à des examens en soins cardiaques ont pu fournir les $CTDI_{VOL}$ et les DLP qu'ils ont utilisés puisque ces examens s'effectuent avec des appareils relativement récents.

2.1.4 NIVEAU DE RÉFÉRENCE DIAGNOSTIQUE (NRD)

Aucun niveau de référence diagnostique n'a été établi pour les examens par tomodesitométrie en soins cardiaques. Toutefois, tant les différentes organisations de radioprotection que les organisations professionnelles d'imagerie médicale multiplient les recommandations visant l'optimisation des protocoles d'examens pour en réduire les doses.

Les centres de tomodesitométrie devraient, après consultation d'un physicien médical, adhérer à des politiques et à des procédures conformes au principe ALARA (As low as reasonably achievable) ; par exemple, optimiser les protocoles d'examens selon les caractéristiques physiques du patient comme le poids, la taille ou l'indice de masse corporelle¹¹.

Pour sa part, l'International Atomic Energy Agency suggère qu'un plan visant la réduction des doses soit élaboré sur la base d'outils tels qu'un guide de pratique ou des techniques d'optimisation et que des niveaux de référence diagnostiques soient établis¹².

11. ACR (2009), *op. cit.*, p. 8.

12. IAEA – INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY (2008), *Radiation Protection in Newer Medical Imaging Techniques: Cardiac CT*, Safety Reports Series n° 60, Vienne, International Atomic Energy Agency, 19 p.

2.1.5 ÉVALUATION DE LA DOSE EFFICACE

Dans le cadre de la radioprotection, la dose efficace (E) est la grandeur dosimétrique de référence qui permet d'évaluer le risque associé à l'exposition aux rayonnements ionisants.

Pour évaluer la dose efficace en tomodensitométrie, il faut multiplier le DLP par un facteur de conversion (k). Les unités du facteur (k) sont représentées en mSv/mGy•cm. La dose efficace peut se calculer à partir de l'équation présentée ci-dessous.

Équation : Dose efficace d'une procédure

$$\text{Dose efficace d'une procédure} = \text{DLP par procédure} \bullet \text{Facteur de conversion (k)}$$

Le **facteur de conversion (k)** utilisé dans ce rapport est le même pour l'homme ou la femme et pour tous les examens CT cardiaques. On utilise le facteur (k) d'un thorax, soit **0,0177 mSv/mGy•cm**. Ce même facteur a été utilisé pour les calculs dans la première partie de notre rapport ainsi que par d'autres auteurs, notamment Morin, Gerber et Mc Collough¹³. D'autres facteurs de conversion ont été employés par différents auteurs. Le lecteur pourra refaire le calcul dosimétrique à partir de la valeur moyenne DLP selon l'évolution du consensus en la matière.

2.2 COLLECTE DES DONNÉES

2.2.1 QUESTIONNAIRE

La collecte des données a été effectuée au moyen d'un questionnaire et s'est tenue sur une période de deux semaines, en mars 2008. Les questionnaires ont été distribués par courrier à 98 centres, publics ou privés, du Québec.

Les centres qui effectuaient des examens de tomodensitométrie cardiaques étaient invités à transmettre les données techniques relatives à cet examen à l'aide des formulaires appropriés. Ces formulaires sont présentés en annexe. Pour toute information concernant les consignes aux technologues, veuillez vous référer à la première partie du rapport, qui porte sur les examens courants¹⁴.

2.2.2 ASSURANCE DE LA QUALITÉ

Plus de 900 entrées ont été saisies dans un fichier Excel (Microsoft Corporation) dont l'accès était protégé par un mot de passe, sur un seul ordinateur à administrateur unique. Les données saisies et le fichier Excel ont été vérifiés à chaque étape pour assurer l'intégrité des résultats.

13. R.L. MORIN, T.C. GERBER ET C.H. MC CULLOUGH (2003), « Radiation dose in computed tomography of the heart », *Circulation*, vol. 107, n° 6, 18 février, p.917-922.

14. APIBQ, *op. cit.*

3 SCHÉMA D'ANALYSE

L'analyse faite dans le présent rapport concerne les données obtenues pour les examens CT en soins cardiaques.

Elle prend en compte les trois examens suivants :

- l'angio CT aortique avec synchronisation cardiaque ;
- la coronaro CT ;
- le calcul du score calcique.

Plus précisément, l'analyse portera, pour chaque type d'examen, sur :

- la valeur dosimétrique $CTDI_{VOL}$ associée à chaque examen ;
- la dose (DLP) moyenne qui lui est associée ;
- la couverture anatomique ;
- la modulation du courant en fonction de l'électrocardiogramme (ECG) ;
- la dose efficace moyenne.

4 ANALYSE ET RÉSULTATS

4.1 ÉCHANTILLONNAGE

4.1.1 TAUX DE PARTICIPATION

Les examens CT cardiaques ne sont pas offerts dans tous les centres de tomodensitométrie de la province de Québec, la plupart de ces examens s'effectuant dans des centres spécialisés. Ainsi, 9 centres publics ou privés, sur un total de 75 centres participants répartis sur le territoire québécois, ont transmis leurs protocoles d'examens.

Finalement, 6 centres ont fourni des données dosimétriques et 3 centres n'ont transmis que les renseignements concernant leurs protocoles d'examens puisqu'ils n'avaient pas effectué d'examens pendant la période ciblée par l'étude.

4.1.2 TRAITEMENT DES DONNÉES

Les données relatives aux examens de tomodensitométrie cardiaque ont été saisies dans un fichier Excel 2003 (Microsoft Corporation). L'anonymat de chaque centre a été préservé tout au long de l'exercice.

Aux fins de l'analyse, les appareils ont été regroupés par technologie (nombre de barrettes). On compte 12 tomodensitomètres dotés de multidétecteurs et un seul appareil monobarrette.

Le tableau suivant présente la répartition des tomodensitomètres selon la technologie.

Tableau 1 : Répartition des tomodensitomètres selon la technologie

TECHNOLOGIE (nombre de barrettes)	NOMBRE DE TOMODENSITOMÈTRES
64	6
40	1
16	4
4	1
1	1
TOTAL	13

La collecte a permis de recueillir les données relatives à 58 procédures d'examens qui ont été effectués à l'aide de 7 tomodensitomètres dotés de multidétecteurs. Il faut préciser que 8 examens ont été retirés de l'analyse détaillée parce que les doses rapportées présentaient des incohérences par rapport à l'examen. L'analyse détaillée portera donc sur 50 examens effectués dans 6 centres du Québec. Les 6 tomodensitomètres utilisés sont tous dotés de 64 barrettes.

Les examens sont répartis en trois catégories : l'angio CT aortique avec synchronisation rétrospective, la coronaro CT et le calcul du score calcique.

Le formulaire intitulé *Paramètres d'exposition en tomodensitométrie – CT cardiaque* a servi à recueillir les protocoles techniques des examens. Quant à celui qui s'intitule *Formulaire de renseignements – CT cardiaque*, il rend compte des examens effectués pendant la période de l'étude et regroupe les données physiques des patients – sexe, âge, poids – ainsi que les renseignements techniques obtenus au moment de l'examen.

Les données ont été recueillies pour 39 patients, 14 (36 %) étant de sexe féminin et 25 (64 %) étant de sexe masculin.

Le poids des patients

Le poids en kilogrammes (kg) a été noté pour 36 patients. Il varie entre 56 et 104 kg, le poids moyen étant de 75 kg. On compte 21 patients types, c'est-à-dire dont le poids se situe entre 60 et 80 kg ; ils représentent 58 % de l'ensemble des patients de l'étude dont le poids était indiqué.

Le tableau suivant présente la répartition des poids selon le sexe des patients.

Tableau 2 : Répartition des poids selon le sexe des patients

POIDS (kg)	HOMMES	FEMMES	TOUS
< 60	1	2	3
≥ 60 et ≤ 80	16	5	21
> 80	6	6	12
TOTAL	23	13	36

Compte tenu du faible échantillonnage de la présente sous-étude, l'analyse regroupe tous les patients, sans égard à leur poids.

L'âge des patients

L'âge a été inscrit pour les 39 patients de l'étude et il varie de 20 à 94 ans. L'âge moyen est de 58 ans. Dans cette étude, 85 % des patients avaient entre 40 et 70 ans.

Le tableau ci-après montre la répartition de l'âge des patients de l'étude selon le sexe.

Tableau 3 : Répartition de l'âge des patients de l'étude selon le sexe

ÂGE (ans)	HOMMES	FEMMES	TOUS
< 40	–	1	1
≥ 40 et ≤ 60	15	6	21
> 60	10	7	17
TOTAL	25	14	39

La couverture anatomique (longueur de scan)

La couverture d'un examen fait référence à la région anatomique qui sera examinée. Rappelons le phénomène de dépassement (*overranging*) en tomodensitométrie, lequel aura une incidence sur l'irradiation du patient. Par conséquent, la couverture irradiée sera plus grande que la couverture anatomique ciblée pour l'examen.

Le tableau suivant montre la couverture anatomique moyenne utilisée au moment de notre étude, selon le type d'examen.

Tableau 4 : Couverture anatomique moyenne selon le type d'examen

EXAMEN	COUVERTURE ANATOMIQUE MOYENNE (cm)
Angio CT aortique C+	24,9
Angio CT aortique C-	25,6
Coronaro CT	16,5
Calcul du score calcique	17,6

4.2 DOSE (DLP) MOYENNE

Note : Le faible échantillonnage de 50 examens ne permet pas de caractériser de façon définitive la pratique de la tomodensitométrie dans les centres, et ceci est d'autant plus vrai que la variation dosimétrique des examens cardiaques s'avère plus grande que celle des examens tomodensitométriques courants. En effet, en plus des paramètres techniques habituels, la dose découlant des examens avec synchronisation rétrospective dépend du rythme cardiaque du patient, de sorte que plus ce rythme est lent, plus la dose sera élevée.

4.2.1 DOSE (DLP) MOYENNE POUR UNE ANGIO CT AORTIQUE

Nous présentons ici les résultats obtenus, dans le cadre de l'étude, en relation avec la dose (DLP) reçue par le patient au cours d'une procédure d'angio CT qui vise principalement l'étude de l'aorte et que nous appelons angio CT aortique.

L'angio CT aortique nécessite l'injection d'un produit de contraste au patient. Il y aura donc une séquence d'examen avec produit de contraste, que nous appelons angio CT aortique C+. Au besoin, une autre séquence sans produit de contraste, que nous appelons angio CT aortique C- peut être effectuée avant l'injection d'un tel produit. Mentionnons que les deux séquences ne sont pas effectuées systématiquement pour permettre de compléter l'examen.

L'ANGIO CT AORTIQUE C+ (avec produit de contraste)

L'analyse porte sur 8 procédures d'angio CT aortique C+. Les résultats sont présentés dans le tableau ci-dessous.

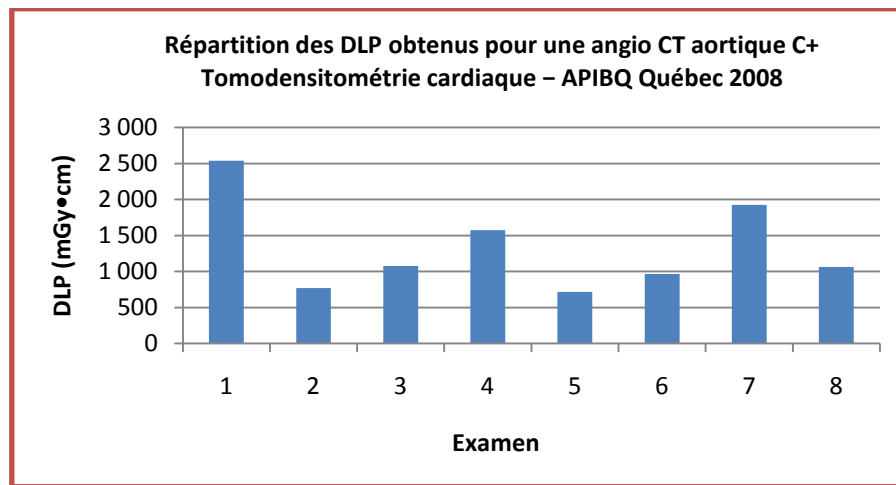
Tableau 5 : Indicateurs de dose pour l'aortographie C+

PROCÉDURE ANGIO CT AORTIQUE C+	CTDI _{VOL} (mGy)	DLP (mGy•cm)	COUVERTURE ANATOMIQUE (mm)
1	111,34	2 539	190
2	28,8	770	230
3	37,7	1 075	250
4	51,1	1 575	280
5	24,1	716	265
6	32,83	967	260
7	85,95	1 926	278
8	38,31	1 063	243
MOYENNE	51	1 329	249

Dans le cadre de l'étude, on obtient un CTDI_{VOL} moyen de 51 mGy pour une angio CT aortique C+. On remarque une grande variation des valeurs CTDI_{VOL} d'un centre à l'autre.

La figure suivante montre la répartition des DLP obtenus pour l'examen d'angio CT aortique C+.

Figure 1 : Répartition des DLP obtenus pour une angio CT aortique C+



Dans le cadre de l'étude, le DLP moyen pour l'ensemble des procédures d'angio CT aortique C+ est de 1 329 mGy•cm. On observe une grande variation de la dose reçue par les patients pour cet examen. Selon les résultats de l'étude, le DLP d'une procédure peut varier de 716 à 2 539 mGy•cm.

L'ANGIO CT AORTIQUE C– (sans produit de contraste)

L'analyse porte sur 9 procédures d'angio CT aortique C–. Les résultats sont présentés dans le tableau ci-dessous.

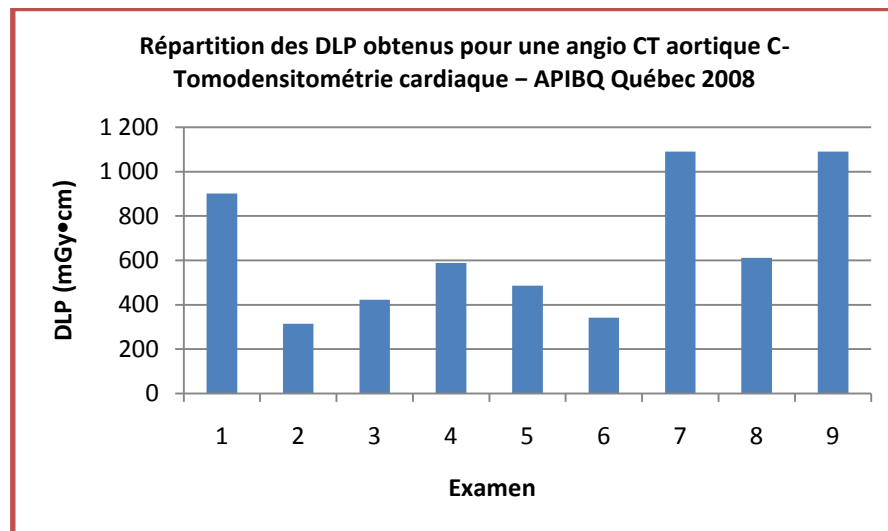
Tableau 6 : Indicateurs de dose pour l'angio CT aortique C–

PROCÉDURE ANGIO CT AORTIQUE C–	CTDI _{VOL} (mGy)	DLP (mGy•cm)	COUVERTURE ANATOMIQUE (mm)
1	40,15	901	190
2	11,56	314	240
3	16,2	422	230
4	17,59	588	300
5	15,57	486	280
6	11,78	342	260
7	36,08	1 090	267
8	64,93	612	244
9	56,36	1 091	261
MOYENNE	28	614	256

Dans le cadre de l'étude, on obtient un CTDI_{VOL} moyen de 28 mGy pour une procédure d'angio CT aortique C–.

La figure suivante montre la répartition des DLP obtenus pour les procédures d'angio CT aortique C-.

Figure 2 : Répartition des DLP obtenus pour une angio CT aortique C-



Dans le cadre de l'étude, le DLP moyen pour l'ensemble des procédures d'angio CT aortique C- est de 614 mGy•cm. On observe, ici aussi, une grande variation de la dose reçue par les patients pour cet examen : les résultats montrent des DLP variant entre 314 et 1 091 mGy•cm pour un examen effectué sans utiliser de produit de contraste.

Le patient subira très souvent deux examens pour répondre aux besoins du diagnostic. Dans certains cas, il faudra deux acquisitions – avec et sans contraste – pour que la procédure soit complète ou deux examens distincts, par exemple une angio CT aortique C+ suivie d'une coronaro CT.

Note : Le poids de tous les patients pour ces deux examens se situe entre 60 et 80 kg, ce qui caractérise un patient type aux fins de l'optimisation des doses. Un seul patient pour chaque examen présentait un poids légèrement inférieur (56 kg et 57 kg).

4.2.2 DOSE (DLP) MOYENNE POUR UNE CORONARO CT

L'analyse porte sur 17 procédures de coronaro CT. Les résultats sont présentés dans le tableau ci-dessous.

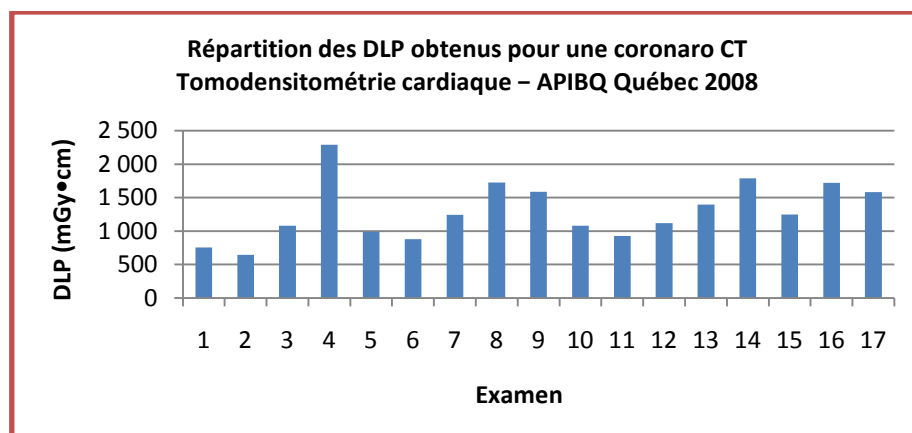
Tableau 7 : Indicateurs de dose pour une coronaro CT

PROCÉDURE	CTDI _{vol} (mGy)	DLP (mGy•cm)	COUVERTURE ANATOMIQUE (mm)
1	26,8	753	245
2	21,25	645	270
3	79,28	1 078	100
4	113,41	2 289	222
5	55,94	990	177
6	55,94	881	157
7	120,46	1 241	103
8	113,37	1 723	152
9	132,27	1 587	120
10	35,3	1 079	174
11	77,87	928	115
12	98,26	1 120	115
13	47	1 393	190
14	70,26	1 787	290
15	120,46	1 245	103
16	113,37	1 722	152
17	132,27	1 583	120
MOYENNE	83	1 297	165

Dans le cadre de l'étude, on obtient un CTDI_{vol} moyen de 83 mGy et un DLP moyen de 1 297 mGy•cm. La couverture anatomique moyenne est de 16,5 cm.

La figure suivante montre la répartition des DLP obtenus pour les procédures de coronaro CT.

Figure 3 : Répartition des DLP obtenus pour une coronaro CT



Il est très important de porter attention à la couverture anatomique de ces examens. On observe à ce sujet une grande variation dans les résultats. En effet, la couverture anatomique pour ces examens va de 10 à 29 cm.

Habituellement, une coronaro CT nécessite une couverture se situant entre 15 et 18 cm. On peut avancer deux hypothèses pour expliquer ces écarts : soit que l'opérateur a surdimensionné la couverture anatomique (souvent à cause de la difficulté du patient à retenir sa respiration pendant l'acquisition), soit que l'examen n'était pas effectué exclusivement pour les artères coronaires mais qu'il avait une vocation mixte, par exemple coronaro CT et angio CT aortique ou coronaro CT et angio CT pour embolie pulmonaire.

Les $CTDI_{VOL}$ de l'ordre de 110 à 130 mGy peuvent correspondre à une utilisation d'un tube radiogène à la puissance maximale du générateur, habituellement de 100 kilowatts. Ces valeurs indiquent par ailleurs que le courant n'a pas été modulé en fonction de l'ECG pour ces examens ou encore que le kV n'a pas été réduit pour les examens des patients de faible poids. Les $CTDI_{VOL}$ inférieurs (de 20 à 50) correspondent aux examens pour lesquels on a eu recours à la modulation du courant.

4.2.3 DOSE (DLP) MOYENNE POUR LE CALCUL DU SCORE CALCIQUE

L'analyse porte sur 16 examens visant le calcul du score calcique. Les résultats sont présentés ci-après.

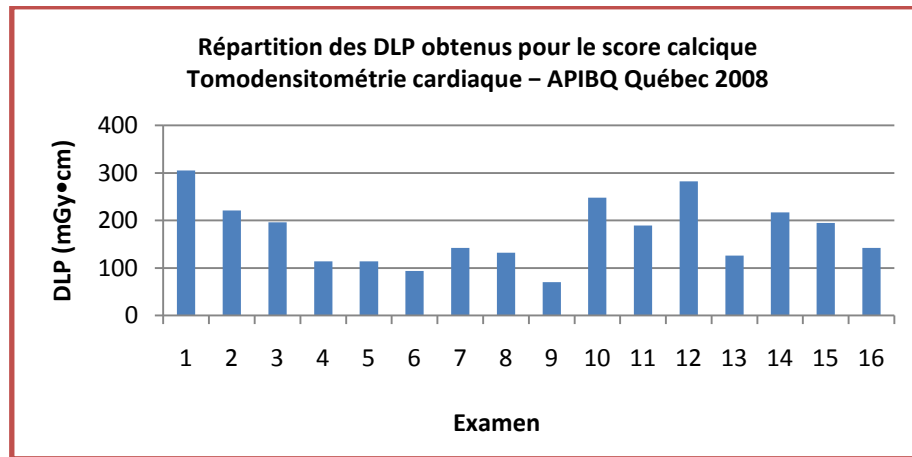
Tableau 8 : Indicateurs de dose pour l'examen visant le calcul du score calcique

PROCÉDURE SCORE CALCIQUE	$CTDI_{VOL}$ (mGy)	DLP (mGy•cm)	COUVERTURE ANATOMIQUE (mm)
1	10,16	305	265
2	7,16	221	270
3	8,7	196	190
4	9,48	114	118
5	9,48	114	118
6	9,48	94	98
7	11,85	142	118
8	8,27	132	160
9	4,98	70	138
10	12,41	248	198
11	9,06	189	209
12	11,6	282	243
13	6,07	126	208
14	10,82	217	201
15	9,8	195	200
16	11,85	142	76
MOYENNE	9,4	174	176

Dans le cadre de l'étude, le $CTDI_{VOL}$ moyen pour l'examen visant le calcul du score calcique est de 9,4 mGy et le DLP moyen est de 174 mGy•cm. La couverture anatomique moyenne est quant à elle de 17,6 cm. Encore une fois, on observe une grande variation de la couverture anatomique, soit de 7,6 à 27 cm.

La figure ci-dessous montre la répartition des DLP obtenus pour les procédures relatives au score calcique.

Figure 4 : Répartition des DLP obtenus pour l'examen visant le calcul du score calcique



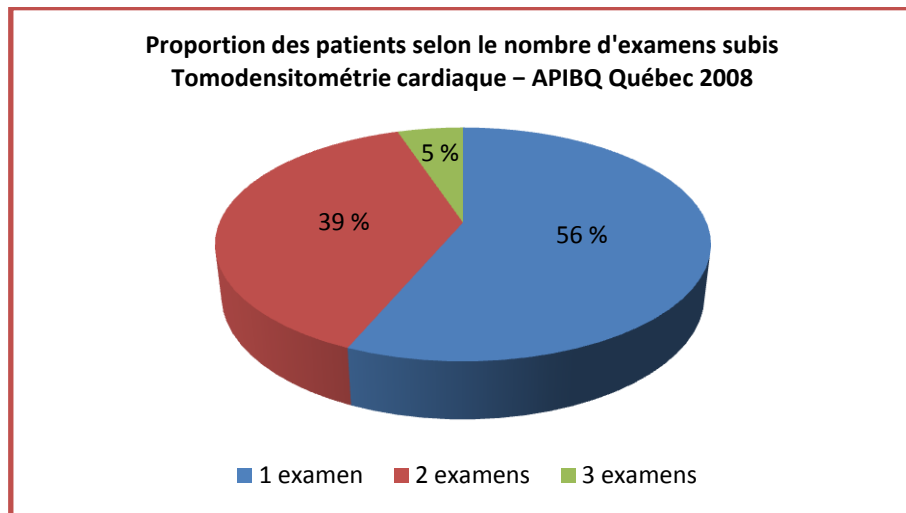
La grande variation des DLP observée d'un examen à l'autre pourrait s'expliquer en partie par la grande variation des couvertures anatomiques des examens. Nos données montrent que l'examen servant à évaluer le score calcique est souvent associé à un autre examen tel que la coronaro CT ou l'angio CT aortique.

4.2.4 EXAMENS MULTIPLES

Dans le cadre de l'étude, plusieurs patients ont subi deux ou trois examens (*double* ou *triple rule out*) pour que la procédure soit complète dans leur cas. Habituellement, l'expression *triple rule out* fait référence à un examen d'angio CT qui permet d'étudier les régions anatomiques au regard des maladies des artères coronaires, de la dissection aortique et de l'embolie pulmonaire.

La figure 5 montre la répartition des patients selon le nombre d'examens qu'ils ont passés pour une procédure complète. Cette analyse regroupe toutes les données recueillies au moment de l'étude soit celles des 58 examens effectués.

Figure 5 : Proportion des patients selon le nombre d'examens subis



Dans le cadre de l'étude, 44 % des patients ont subi plus d'un examen ou plus d'une acquisition pour que leur évaluation soit complète. De ceux-ci, 39 % ont reçu deux examens ou deux acquisitions et 5 % ont reçu trois examens ou trois acquisitions.

D'après les données, nous avons observé que les examens combinés regroupent le plus souvent la coronaro CT et le calcul du score calcique ou encore l'angio CT aortique C+ et le calcul du score calcique.

Comme pour les examens courants, analysés dans la première partie de notre rapport, on remarque un pourcentage élevé d'examens combinés.

4.3 DOSE EFFICACE MOYENNE

La dose efficace moyenne a été évaluée pour les quatre types d'examens pris en compte précédemment : l'angio CT aortique (C+ et C-), la coronaro CT et le calcul du score calcique.

Pour chaque patient de l'étude, la dose efficace a été estimée en multipliant le DLP de l'examen reçu par le facteur de conversion (k) approprié. Le facteur utilisé pour chaque type d'examen correspond à celui d'un thorax, soit 0,0177. Ce facteur est le même pour la femme ou l'homme.

Le tableau ci-après présente la dose efficace (mSv) moyenne obtenue dans le cadre de l'étude pour chaque type d'examen, ainsi qu'une comparaison avec les résultats d'autres études.

Tableau 9 : Dose efficace des examens et comparaison avec d'autres études

EXAMEN	DOSE EFFICACE MOYENNE APIBQ (mSv)	DOSE EFFICACE MOYENNE DIFFÉRENTES ÉTUDES (mSv)	DOSE EFFICACE MOYENNE IAEA ¹ (mSv)
ANGIO CT AORTIQUE C+	23,5	12 (Hausleiter et autres) ²	
ANGIO CT AORTIQUE C-	10,9		
CORONARO CT	23	3 à 10 (Morin, Gerber et Mc Collough) ³ 6,4 à 11 (Hausleiter et autres) ⁴ 14,7 (Coles et autres) ⁵	5 à 15
SCORE CALCIQUE	3,1	1,5 à 1,8 (Hunold et autres) ⁶	1 à 5

1. IAEA – International Atomic Energy Agency (2008). *Radiation Protection in Newer Medical Imaging Techniques: Cardiac CT*, Safety Reports Series n° 60, Vienne, International Atomic Energy Agency, 19 p.

2. J. HAUSLEITER et autres (2009), « Estimated radiation dose associated with cardiac CT angiography », *Journal of the American Association Medical*, vol. 301, n°5, 4 février, p. 500.

3. R.L. MORIN, T.C. GERBER et C.H. MCCULLOUGH (2003), « Radiation dose in computed tomography of the heart », *Circulation*, vol. 107, n° 6, 18 février, p. 917-922.

4. Jörg HAUSLEITER et autres (2006), « Radiation dose estimates from cardiac multislice computed tomography in daily practice: Impact of different scanning protocols on effective dose estimates », *Circulation*, vol. 113, n°10, 14 mars, p. 1305-1310.

5. D.R. COLES et autres (2006), « Comparison of radiation doses from multislice computed tomography coronary angiography and conventional diagnostic angiography », *Journal of the American College of Cardiology*, vol. 47, n°9, 2 mai, p. 1840-1845.

6. P. HUNOLD et autres (2003), « Radiation exposure during cardiac CT: Effective doses at multi-detector row CT and electron-beam CT », *Radiology*, vol. 226, n° 1, janvier, p. 145-152.

ANGIO CT AORTIQUE C+

L'analyse porte sur 8 examens. La dose efficace moyenne estimée est de 23,5 mSv. En comparaison, Hausleiter et autres rapportaient en 2009 une dose efficace moyenne estimée à 12 mSv – malgré l'existence d'outils visant la réduction des doses ceux-ci n'étaient pas fréquemment utilisés.

ANGIO CT AORTIQUE C-

L'analyse porte sur 9 examens. La dose efficace moyenne estimée est de 10,9 mSv.

CORONARO CT

La dose efficace moyenne estimée pour les 17 examens de l'étude est de 23 mSv.

La dose efficace moyenne estimée pour la coronaro CT est supérieure aux résultats obtenus dans le cadre d'autres études. La couverture anatomique supérieure à 20 cm dans le cas de 4 examens ne peut expliquer l'écart. On peut plutôt supposer que la moyenne est augmentée par certains résultats très élevés que l'on observe pour les $CTDI_{VOL}$ (de l'ordre de 120 mGy) et que la modulation du courant en fonction de l'ECG n'a pas été utilisée au moment des acquisitions.

Le tableau 9, illustré précédemment, montre des résultats assez variables entre les différentes études. Morin, Gerber et McCollough (2003) obtiennent des doses efficaces moyennes pour la coronaro CT de 3 à 10 mSv, tandis que Jörg Hausleiter et autres (2006) rapportent des doses efficaces moyennes de 6,4 et de 11,0 mSv respectivement pour les tomodensitomètres de 16 et de 64 barrettes.

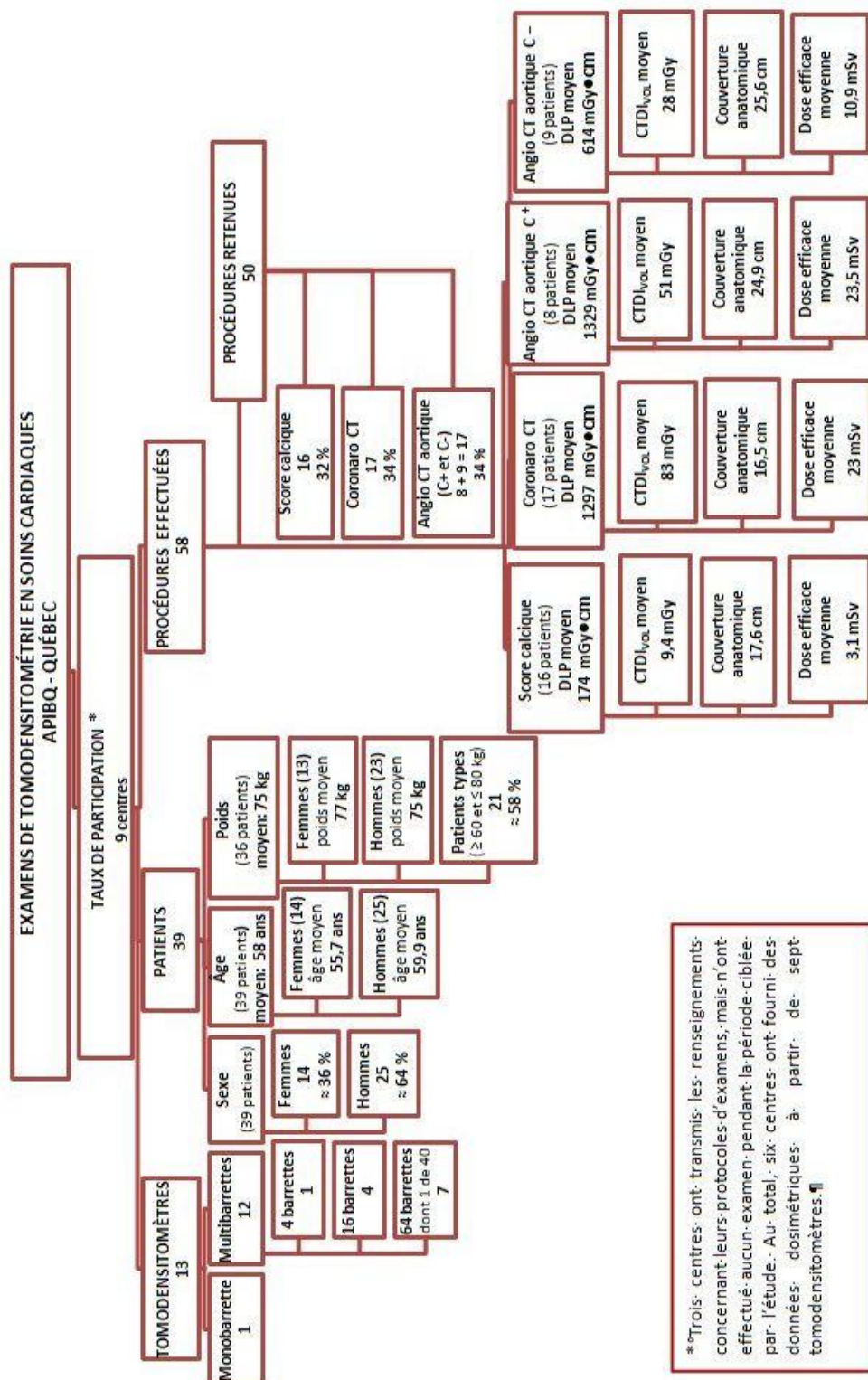
CALCUL DU SCORE CALCIQUE

La dose efficace moyenne estimée pour les 16 examens de calcul du score calcique est de 3,1 mSv.

Ce résultat est supérieur à la dose estimée dans d'autres études. Par exemple, Hunold et autres (2003) rapportent une dose efficace moyenne de 1,5 à 1,8 mSv pour un examen similaire effectué en mode prospectif. L'écart peut être en partie expliqué par nos résultats obtenus pour la couverture anatomique. En effet, 6 examens ont été effectués avec une couverture anatomique de plus de 20 cm, ce qui est plutôt élevé pour ce type d'examen. En comparaison, Hunold et autres rapportaient une couverture anatomique de 11 cm pour cet examen.

Si on exclut ces 6 examens pour le calcul du DLP moyen, on obtient une valeur de 151 mGy•cm. La dose efficace estimée serait alors réduite à 2,6 mSv.

On constate que le mode de synchronisation rétrospective n'est pas utilisé dans nos centres pour effectuer cet examen, ce qui représente un excellent choix d'un point de vue dosimétrique.



ÉVALUATION DES RISQUES

En comparaison avec l'examen cardiaque effectué en radiologie conventionnelle, la dose d'un examen cardiaque par tomodensitométrie est relativement élevée. Toutefois, les avancées technologiques associées aux techniques d'optimisation permettraient de réduire considérablement les doses des examens.

La dose de radiation étant relativement bien connue pour ces procédures, le risque de cancers radio-induits peut être estimé.

Selon l'International Atomic Energy Agency (IAEA), le risque d'incidence de nouveaux cancers dans une population pourrait s'estimer ainsi : « Si chaque année, 100 000 personnes recevaient un examen "coronaro CT" d'une dose efficace de 10 mSv, à partir de 40 ans jusqu'à 70 ans, le nombre de nouveaux cas de cancers estimé serait de 2 500¹⁵ ».

15. IAEA (2008), *op. cit.*, p. 10.

DISCUSSION

Généralement, les résultats dosimétriques obtenus dans le cadre de l'étude sont supérieurs à ceux qui sont rapportés dans la littérature. En raison du faible échantillonnage de la présente sous-étude et des différentes technologies utilisées en mars 2008, nous nous attarderons sur les points principaux et sur les moyens à prendre pour optimiser les doses des examens.

La technologie en tomodensitométrie cardiaque ainsi que ses applications évoluent très rapidement et les résultats présentés ici doivent être analysés en prenant en considération les plus récentes avancées technologiques.

Ainsi, les tomodensitomètres dotés de 64 barrettes permettent, depuis 2009, d'effectuer une coronaro CT en mode d'acquisition prospectif. On rapporte une dose efficace de 5 mSv pour des examens en mode prospectif qu'ont subis des patients dont le rythme cardiaque est stable à 60 battements par minute. Depuis notre étude, deux centres confirment avoir effectué des coronaro CT avec un DLP total de l'ordre de 300 mGy•cm, soit une dose efficace de 5 mSv. Le mode prospectif permet de réduire radicalement le portrait dosimétrique des examens cardiaques. À titre comparatif, la dose pour un examen cardiaque CT effectué en mode prospectif est de 5 mSv, tandis qu'elle s'établit à 8 mSv pour un examen thoracique conventionnel C- dont le DLP au 75^e percentile est de 500 mGy•cm.

Deux nouvelles techniques permettent une réduction de la dose équivalente ou supérieure à celle associée au mode prospectif. La première est l'acquisition hélicoïdale utilisant deux tubes à rayons X avec un *pitch* ultra élevé. Par ailleurs, Achenbach et autres¹⁶ rapportent une dose efficace de moins de 1 mSv pour une coronaro CT. La deuxième est l'acquisition de 16 cm dans l'axe Z effectuée sur une seule rotation de 0,35 seconde¹⁷.

Un nouvel outil qui utilise les algorithmes de reconstruction itérative (ARI) permet d'obtenir des résultats semblables. Tous les grands fabricants ont lancé en 2009 et 2010 leur première génération de tomodensitomètre avec la technologie ARI. De récentes publications^{18, 19} révèlent que ces types d'algorithmes, combinés aux autres outils de réduction de la dose déjà existants, permettent de réaliser des coronaro CT avec une dose inférieure à 1 mSv, un résultat environ 20 fois inférieur à ceux obtenus dans notre étude.

16. S. ACHENBACH, et autres (2010), « Coronary computed tomography angiography with a consistent dose below 1 mSv using prospectively electrocardiogram – triggered high-pitch spiral acquisition », *European Heart Journal*, vol. 31, n° 3, p. 340-346.

17. A.J. EINSTEIN, et autres (2010), « Radiation dose from single-heartbeat coronary CT angiography performed with a 320 detector row volume scanner », *Radiology*, vol. 254, n° 3, mars, p. 698-706.

18. B.G. HEILBRON, J. LEIPSIC (2010), « Submillisievert coronary computed tomography angiography using adaptive statistical iterative reconstruction – a new reality », *The canadian journal of cardiology*, vol. 26, n° 1, janvier, p. 35-36.

19. J. LEIPSIC, et autres (2010), « Estimated radiation dose reduction using adaptive statistical iterative reconstruction in coronary CT angiography : the ERASIR study », *American Journal of Roentgenology*, vol. 195, septembre, p. 655-660.

Les résultats de l'étude montrent une grande variation de la dose pour un même type d'examen d'un centre à l'autre. Il semble nécessaire de réévaluer les protocoles des examens et d'utiliser tous les outils disponibles qui permettent de réduire les doses des examens. D'autres auteurs (Hausleiter et autres, 2009) ont constaté des variations importantes de la dose pour un même examen avec des tomodensitomètres différents et soulignent l'importance de considérer tous les facteurs qui conditionnent l'irradiation.

Les outils d'optimisation varient selon les tomodensitomètres. La modulation du courant en fonction de l'ECG est un outil très efficace, car elle permet de réduire la dose jusqu'à 50 % sans diminuer la qualité de l'image²⁰. La modulation synchronisée au rythme cardiaque ne peut être utilisée dans les cas d'arythmie. On l'appliquera lorsque le rythme cardiaque est lent et régulier (moins de 65 battements/minute). Son efficacité varie selon le rythme cardiaque : plus le rythme est lent, plus la modulation en fonction de l'ECG est efficace.

Les paramètres techniques comme le mA et le kV devraient être réglés selon les caractéristiques physiques du patient par exemple, le poids, la taille ou l'indice de masse corporel. Dans son rapport n° 60 publié en 2008²¹, l'IAEA rapporte que l'utilisation de protocoles établis selon le poids des patients pourrait réduire la dose efficace d'environ 12 % dans le cas de l'homme et de 25 % dans celui de la femme pour un examen CT cardiaque.

On doit s'assurer que la couverture (balayage) anatomique prévue pour l'examen a été définie d'une façon stricte qui permet toutefois de mener à bien cet examen. Un article du National Health Service (NHS)²² rapportait en 2007 qu'on pouvait réduire la dose d'un examen jusqu'à 25 % en limitant la longueur de scan aux besoins de l'examen.

Les nouvelles techniques comme le mode prospectif, l'utilisation de la modulation du courant en synchronisation avec le rythme cardiaque et l'optimisation des facteurs techniques (mA, kV) et de la couverture anatomique permettraient de réduire encore davantage la dose des examens.

20. SFR et IRSN (2006), *op. cit.*, p. 36.

21. IAEA (2008), *op. cit.*, p. 6.

22. NHS – NATIONAL HEALTH SERVICE (2007), *Diagnostic Imaging Update: Imaging developments at the Radiological Society of North America (RSNA) Conference, 2007*, CEP 07030, s. l., Centre for Evidence-based Purchasing (CEP), p. 10.

CONCLUSION

Les maladies du cœur et les accidents cérébrovasculaires entraînent plusieurs décès au Canada. Beaucoup d'efforts sont déployés chaque année pour s'attaquer aux causes de ces maladies. Les examens se raffinent pour tenter de diagnostiquer plus rapidement et même de dépister les signes avant-coureurs de la maladie. Parmi ces examens, on pense à la tomodensitométrie, examen peu invasif qui présente une reconstruction en 3D.

Cette technique d'imagerie médicale est de plus en plus utilisée en soins cardiaques. L'utilisation de la coronaro CT comme complément ou alternative à la coronarographie conventionnelle a fait l'objet d'un mandat que le ministère de la Santé et des Services sociaux (MSSS) confiait en 2006 au Comité d'experts du réseau québécois de cardiologie tertiaire.

Le *New England Journal of Medicine* rapportait à ce sujet, en 2008, une augmentation de 26 % par année des examens tomodensitométriques en soins cardiaques aux États-Unis. Les avancées technologiques permettent une plus grande précision des images avec la synchronisation au rythme cardiaque, et des outils techniques offrent maintenant la possibilité de réduire les doses des examens.

En effet, les examens en soins cardiaques par tomodensitométrie génèrent des doses de radiation X relativement élevées par rapport aux examens traditionnels. Néanmoins, ces nouvelles techniques d'examens présentent des avantages certains et leur pratique est maintenant bien établie. On doit plutôt s'attarder à mieux connaître les outils qui permettent de réduire les doses, tout en assurant un examen d'une bonne qualité informative.

Bien que l'échantillonnage de la présente sous-étude soit faible, celle-ci permet de soulever des points importants dans la pratique des examens en soins cardiaques. De façon générale, nous observons dans notre étude des doses d'examens plus élevées que celles qui sont rapportées dans la littérature. Ces différences dépendent de plusieurs facteurs, notamment : la couverture anatomique des examens, qui est souvent supérieure à celle d'un examen standard ; la non-utilisation des outils de réduction de la dose, tels que la modulation du courant en fonction du rythme cardiaque ou la synchronisation prospective lorsqu'elle est disponible, ainsi que les protocoles techniques qui ne sont pas adaptés aux caractéristiques physiques du patient, dont son poids.

Comme pour les examens courants, analysés dans la première partie de notre rapport, on remarque un pourcentage élevé pour les examens combinés (*double* ou *triple rule out*). L'examen visant le calcul du score calcique complétera le plus souvent la coronaro CT ou l'angio CT. En effet, 44 % des patients de l'étude en tomodensitométrie cardiaque ont subi plus d'un examen pour que la procédure soit complète dans leur cas. Cette pratique n'est pas exclusive au Québec. S'il ne faut pas s'en étonner, il faut par contre s'en préoccuper quand on évalue les doses de radiation reçues par les patients.

Dans son rapport n°60 publié en 2008, l'International Atomic Energy Agency (IAEA) constate une grande variation des doses des examens en soins cardiaques selon le type d'appareil, les séquences d'un examen et les paramètres techniques utilisés. Elle rappelle l'importance de se référer à un protocole d'examen établi et optimisé. L'International Commission on Radiological Protection (ICRP) abonde dans le même sens.

L'IAEA note que l'examen de tomodensitométrie visant le calcul du score calcique devrait être considéré comme un examen complémentaire, et non comme un examen de dépistage. En dehors d'un programme de dépistage, les examens diagnostiques doivent être justifiés et optimisés.

Plusieurs études (Hausleiter et autres, 2009 et 2006 ; Coles et autres, 2006 ; Budoff et autres, 2005) concluent également qu'il est nécessaire d'optimiser les protocoles techniques des examens en soins cardiaques, d'autant plus qu'il existe maintenant des outils permettant de réduire la dose.

La réduction de la dose en coronaro CT par le mode prospectif est un excellent exemple où l'évolution de la technologie fait radicalement et rapidement changer une situation. En effet, peu d'avancées technologiques au regard de la dosimétrie ont permis de réduire par un facteur 4 la dose d'un examen – mentionnons tout de même la fluoroscopie pulsée à basse cadence ou la radiographie dentaire numérique. Le mode d'acquisition prospectif est une caractéristique d'appareillage qui devrait être largement répandue pour les examens à vocation cardiaque. Plus récemment, d'autres nouvelles technologies ont fait aussi la démonstration qu'on pouvait réduire la dose de façon significative.

L'étude des doses en tomodensitométrie menée en mars 2008 a permis aux professionnels de l'imagerie médicale de faire une auto-évaluation du volet dosimétrique de leur pratique en tomodensitométrie. Maintenant, il apparaît nécessaire d'appuyer ces professionnels et de leur donner les outils dont ils ont besoin pour poursuivre l'optimisation des doses des examens. L'excellent taux de participation à cette étude montre leur volonté de continuer à améliorer leur pratique et à offrir des services de santé optimaux à la population.

BIBLIOGRAPHIE

ACHENBACH, S., et autres (2010), « Coronary computed tomography angiography with a consistent dose below 1 mSv using prospectively electrocardiogram – triggered high-pitch spiral acquisition », *European Heart Journal*, vol. 31, n° 3, p. 340-346.

ACR (American College of Radiology) (2006). *ACR Practice Guideline for the Performance and Interpretation of Cardiac Computed Tomography (CT)*, Resolution n° 10,16g,17,34,35,36, 10 p. Dernière consultation le 8 novembre 2010. [En ligne],
< http://www.acr.org/SecondaryMainMenuCategories/quality_safety/guidelines/dx/cardio/ct_cardiac.aspx >.

ACR (American College of Radiology) (2005). *ACR Practice Guideline for the Performance and Interpretation of Cardiac Computed Tomography Angiography (CTA)*, Resolution n° 30, 7 p. Dernière consultation le 8 novembre 2010. [En ligne],
< http://www.acr.org/SecondaryMainMenuCategories/quality_safety/guidelines/dx/cardio/ct_angiography.aspx >

AGATSTON, A.S., W.R. JANOWITZ, F.J. HILDNER et autres (1990). « Quantification of coronary artery calcium using ultrafast computed tomography », *Journal of the American College of Cardiology*, vol. 15, n° 4, 15 mars, p. 827-832.

APIBQ – ASSOCIATION DES PHYSICIENS ET INGÉNIEURS BIOMÉDICAUX DU QUÉBEC, COMITÉ DE RADIOPROTECTION (2008). *Étude des doses en tomodensitométrie – Première partie : Analyse des examens courants*, Québec, Association des physiciens et ingénieurs biomédicaux du Québec, [En ligne],
< http://www.apibq.org/client_file/upload/document/Radioprotection2/Rapport%20APIBQ%20Quebec%202009_%20Etude%20des%20doses%20en%20TDM.pdf >

ARSENAULT, Jean (2010). « Principes et applications du CT cardiaque », Présentation au congrès de l'Ordre des technologues en imagerie médicale et en radio-oncologie du Québec, tenu à Québec, du 27 au 30 mai 2010.

BUDOFF, M., et autres (2005). « ACCF/AHA Clinical competence statement on cardiac CT and MR », *Journal of the American College of Cardiology*, vol. 46, n° 2, 19 juillet, p. 383-402.

CAR – ASSOCIATION CANADIENNE DES RADIOLOGISTES (2009). *Lignes directrices et normes de pratique en matière de tomodensitométrie cardiaque*, 28 p., [En ligne],
< http://www.car.ca/uploads/standards%20guidelines/gscct_lign_directri_norm_tomo_cardia_fr.pdf >.

CHEN K., T. CHUA, R. KWOK et autres (2006). « Guidelines on cardiac CT in Singapore », *Annals Academy of Medicine*, vol. 35, n° 4, avril, p. 287-296.

CHRISTIAENS, L., (2009). « Coroscanner : quelles indications dans les cardiopathies ischémiques », *Archives des maladies du cœur et des vaisseaux – Pratique*, vol. 15, n° 178, mai, p. 8-12.

COLES, D.R., et autres (2006). « Comparison of radiation doses from multislice computed tomography coronary angiography and conventional diagnostic angiography », *Journal of the American College of Cardiology*, vol. 47, n° 9, 2 mai, p. 1840-1845.

COMITÉ D'EXPERTS DU RÉSEAU QUÉBÉCOIS DE CARDIOLOGIE TERTIAIRE (2006). *Coronarographie par tomodensitométrie à multibarrettes (Coro-TDM) : Potentiel d'utilisation de la Coro-TDM comme complément ou alternative à la coronarographie conventionnelle*, rapport du comité, Québec, Direction des communications, ministère de la Santé et des Services sociaux, 9 p.

CONSEIL SUPÉRIEUR D'HYGIÈNE (2006). *Évaluation de l'exposition croissante des patients aux radiations par tomodensitométrie (CT) et optimisation de la radioprotection*, publication n° 8080, Bruxelles, Conseil supérieur d'hygiène, 61 p.

EINSTEIN, A.J. et autres (2010). « Radiation dose from single-heartbeat coronary CT angiography performed with a 320 detector row volume scanner », *Radiology*, vol. 254, n° 3, mars, p. 698-706.

France (2006). « Décret du 8 juin 2006 relatif aux procédures radiologiques : réalisation, critères de qualité et optimisation », *Journal de la République française*, n°2006-676, article 2, 10 juin, p. 36-38. [En ligne], < <http://eassa.cordo.pagesperso-orange.fr/SFROPRI/scanMC.pdf> >.

GROUPE IMPACT (2006). Calculs par simulation *MonteCarlo*, chiffrier Excel *CTDosimetry.xls*, version 0.99x.

HAUSLEITER, J., T. MEYER, F. HERMANN et autres (2009). « Estimation radiation dose associated with cardiac CT angiography », *Journal of the American Medical Association*, vol. 301, n° 5, 4 février, p. 500-507.

HAUSLEITER, Jörg, et autres (2006). « Radiation dose estimates from cardiac multislice computed tomography in daily practice: Impact of different scanning protocols on effective dose estimates », *Circulation*, vol. 113, n°10, 14 mars, p. 1305-1310.

HEILBRON, B.G., LEIPSIC, J. (2010). « Submillisievert coronary computed tomography angiography using adaptive statistical iterative reconstruction – a new reality », *The canadian journal of cardiology*, vol. 26, n° 1, janvier, p. 35-36.

HUNOLD, P., et autres (2003). « Radiation exposure during cardiac CT: Effective doses at multi-detector row CT and electron-beam CT », *Radiology*, vol. 226, n° 1, janvier, p. 145-152.

IAEA – International Atomic Energy Agency (2009). *Dose Reduction in CT while Maintaining Diagnostic Confidence: A Feasibility/Demonstration Study*, IAEA TECDOC Series n° 1621, Vienne, International Atomic Energy Agency, 55 p.

IAEA – International Atomic Energy Agency (2008). *Radiation Protection in Newer Medical Imaging Techniques: Cardiac CT*, Safety Reports Series n° 60, Vienne, International Atomic Energy Agency, 19 p.

ICRP – INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION (2007). « The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection », *Annals of the ICRP*, vol. 37, n°s 2-4, ICRP Publication n° 103, 330 p.

ICRP – INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION (1991). « 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection », *Annals of the ICRP*, vol. 21, n°s 1-3, ICRP Publication n° 60, 201 p.

INFO-RADIOLOGIE (2010). [En ligne], < <http://www.info-radiologie.ch> >. Consulté les 26 et 27 septembre.

INSTITUT DE CARDIOLOGIE DE MONTRÉAL (2010). Communication privée, juillet.

JONES, D.G., et P.C. SHRIMPTON (1993). « Normalised organ doses for X-ray computed tomography calculated using Monte Carlo techniques », document NRPB-SR250, Chilton (Royaume-Uni), National Radiological Protection Board.

LEIPSIC, J. et autres (2010), « Estimated radiation dose reduction using adaptive statistical iterative reconstruction in coronary CT angiography : the ERASIR study », *American Journal of Roentgenology*, vol. 195, septembre, p. 655-660.

MCCOLLOUGH, C.H., L. GUIMARAES et J.G. FLETCHER (2009). « In defense of body CT », *American Journal of Roentgenology*, vol. 193, n° 1, juillet, p. 28-39.

MORIN, R.L., T.C. GERBER et C.H. MCCOLLOUGH (2003). « Radiation dose in computed tomography of the heart », *Circulation*, vol. 107, n° 6, 18 février, p. 917-922.

NHS – NATIONAL HEALTH SERVICE (2007). *Diagnostic Imaging Update – Imaging Developments at the Radiological Society of North America (RSNA) Conference, 2007*, CEP 07030, s. l., Centre for Evidence-based Purchasing, 19 p.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL OF NATIONAL ACADEMIES, COMMITTEE TO ASSESS HEALTH RISKS FROM EXPOSURE TO LOW LEVELS OF IONIZING RADIATION (2006). *Health Risks from Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation: BEIR VII, Phase 2*, Washington (D.C.), The National Academies Press, 424 p.

OTIMRO – ORDRE DES TECHNOLOGUES EN IMAGERIE MÉDICALE ET EN RADIO-ONCOLOGIE DU QUÉBEC (2010). *Normes de pratique spécifiques : Tomodensitométrie*, mise à jour, 25 p.

REDERG, R., ET J. WALSH (2008). « Pay now, benefits may follow – The case of cardiac computed tomographic angiography », *The New England Journal of Medicine*, vol. 359, n° 22, 27 novembre, p. 2309-2310.

SMITH-BINDMAN, REBECCA, et autres (2009). « Radiation dose associated with common computed tomography examinations and the associated lifetime attributable risk of cancer », *Archives of Internal Medicine*, vol. 169, n° 22, 14 décembre, p. 2078-2086.

STATISTIQUES CANADA, *Principales causes de décès*. Dernière modification le 28 juillet 2010, [En ligne], < <http://www40.statcan.gc.ca/l02/cst01/hlth36a-fra.htm> >.

ANNEXES

ANNEXE 1 : FORMULAIRE DES PARAMÈTRES D'EXPOSITION

PARAMÈTRES D'EXPOSITION EN TOMODENSITOMÉTRIE (PARAMÈTRES _ CT cardiaque)

NOM DU CENTRE : _____ SALLE : _____
FABRICANT : _____ MODÈLE : _____
ANNÉE DE FABRICATION : _____ NOMBRE DE DÉTECTEURS / BARRETTES : _____

EXAMEN CT cardiaque <i>Inscrire le nom des examens effectués dans votre centre</i>	NUMÉRO DU PROTOCOLE	RÉFÉRENCE	TENSION	TEMPS DE ROTATION	CHARGE			EPAISSEUR DE COUPE RECONSTRUITE	CONFIGURATION DU DÉTECTEUR <i>(selon le fabricant)</i> <i>Ex. : 10 X 0.75</i>
		<i>Inscrire la référence pour établir vos paramètres. Ex : poids, épaisseur</i>	kV	s	mA fixe	mA modulé	mA modulé en fonction de l'ECG	mm	mm
ANGIOGRAPHIE AORTIQUE AVEC SYNCHRONISATION CARDIAQUE	1				✓	✓	✓		
	2								
	3								
CORONAROGRAPHIE CT	4								
	5								
	6								
SCORE CALCIQUE	7								
	8								
	9								
_____	10								
	11								
	12								
_____	13								
	14								
	15								
_____	16								
	17								
	18								
_____	19								
	20								
	21								

Signature de la personne de référence : ☐ Technologue ☐ Radiologiste ☐ Gestionnaire
Téléphone : _____

ÉVALUATION DE LA DOSE EN TOMODENSITOMÉTRIE (CT SCAN)

Formulaire de renseignements _ (D)_ CT cardiaque

SALLE: _____

MODÈLE: _____

NOMBRE DE DÉTECTEURS / BARRETTES : _____

NOM DU CENTRE :

FABRICANT : _____

ANNÉE DE FABRICATION :

[illegible]

Signature de la personne de référence :

☐ Technology☐ Radiologist☐ **Gestionnaire**

Téléphone : _____



Association
des physiciens et ingénieurs
biomédicaux du Québec