

Mémoire de Maîtrise en médecine No 3321

# Optimisation de l'exposition du personnel en Cardiologie interventionnelle

(Optimisation of personnel exposure in interventional Cardiology)

## **Etudiant**

Gay Maïc-Anthony  
Université de Lausanne

## **Tuteur**

Prof. Verdun Francis  
Institut de radiophysique - IRA

## **Co-tuteur**

Ryckx Nick  
Institut de radiophysique - IRA

## **Expert**

Prof. Goy Jean-Jacques  
Dpt de Cardiologie - HFR

Lausanne, 10.12.2016

## Table des matières

1	Introduction .....	4
2	Grandeurs utilisées en protection radiologique .....	5
3	Effets biologiques des radiations ionisantes.....	6
3.1	Effets déterministes .....	7
3.2	Effets stochastiques .....	7
4	Législation .....	8
4.1	Cadre légal en Suisse.....	9
4.2	Limite de dose actuelle.....	9
5	Focus sur la cardiologie interventionnelle.....	10
5.1	Exposition du personnel .....	10
5.2	Tumeurs cérébrales .....	11
5.3	Cataracte radio-induite .....	12
6	AlluraClarity .....	13
7	Méthodologie.....	14
8	Résultats.....	15
8.1	Comparaison des PKS.....	18
8.2	Comparaison des doses cumulées .....	20
8.3	Comparaison des facteurs d'exposition.....	21
8.4	Interprétation des résultats : .....	23
9	Bibliographie .....	26
10	Remerciements.....	28

## Liste des tableaux

Tableau 1 Doses annuelles (mSv).....	11
Tableau 2 Examens diagnostiques avant Clarity .....	16
Tableau 3 Examens diagnostiques et thérapeutiques avant Clarity .....	17
Tableau 4 Examens diagnostiques après clarity .....	17
Tableau 5 Examens diagnostiques et Thérapeutiques après Clarity .....	18
Tableau 6 Test d'égalité des variances PKS.....	18
Tableau 7 Test d'égalité des espérances PKS .....	18
Tableau 8 Test d'égalité des variances PKS.....	19
Tableau 9 Test d'égalité des espérances PKS .....	19
Tableau 10 Test d'égalité des variances doses cumulées .....	20
Tableau 11 Test d'égalité des espérances doses cumulées.....	20
Tableau 12 Test d'égalité des variances doses cumulées .....	21
Tableau 13 Test d'égalité des espérances doses cumulées.....	21
Tableau 14 Test d'égalité des variances facteurs d'exposition.....	21
Tableau 15 Test d'égalité des espérance facteurs d'exposition .....	22
Tableau 16 Test d'égalité des variances facteurs d'exposition.....	22
Tableau 17 Test d'égalité des variances facteurs d'exposition.....	22

# 1 Introduction

La radiologie est un ensemble de techniques et d'instruments de diagnostic non ou peu invasifs utilisant divers types de rayonnement qui est devenu indispensable dans la médecine moderne après avoir évolué depuis plus d'un siècle.

Un jour de novembre 1895, le physicien allemand Wilhelm Conrad Roentgen, alors directeur de l'Institut de physique de l'Université de Würzburg, travaille sur les rayons cathodiques et sur le phénomène de la luminescence, terme s'opposant à celui de l'incandescence, faisant référence à l'émission d'un rayonnement électromagnétique d'origine non thermique. Il parvient à rendre luminescent un écran de platinocyanure de baryum, puis reproduit l'expérience dans le noir ainsi qu'en plaçant des objets de diverses densités entre l'anode et l'écran fluorescent. De ces expériences ressort le fameux premier cliché radiologique de la main de sa femme<sup>1</sup>. C'est donc la découverte d'un nouveau type de rayonnement que l'allemand assimile à une forme de lumière invisible. Le scientifique les nommera Rayons « X » du nom de l'inconnue en mathématique et s'efforcera d'en décrire les propriétés principales qui sont : la propagation, la pénétration et l'absorption. Pour ses travaux, il sera couronné du prestigieux prix Nobel de Physique en 1901<sup>2</sup>. Très vite la nouvelle se répand et de nombreux scientifiques et médecins se penchent sur cette technique futuriste très prometteuse. Malheureusement, les utilisateurs de ces rayons X ne soupçonnaient pas leurs effets nocifs et beaucoup de ces pionniers opéraient sans protection et plaçaient leur main devant le tube pour apprécier la qualité du rayonnement (pouvoir de pénétration). Dès lors, en une quinzaine d'années les amputations des doigts et des mains se multiplièrent. Des cas de dermatites chroniques et de cancers au niveau de la peau furent rapportés et beaucoup d'entre elles moururent de leur maladie professionnelle.

La prise de conscience de la dangerosité de cette nouvelle technologie et le début de mesures de protection pour diminuer les risques liés aux rayonnements ionisants est à l'origine du développement de la radioprotection.

---

<sup>1</sup> <http://homepage.hispeed.ch/piben/radiologie/historerad.html>

<sup>2</sup> Larousse Médical

Dès lors, les appareils seront conçus pour une manipulation à distance et l'opérateur sera abrité derrière une vitre plombée afin de minimiser l'exposition aux radiations<sup>3</sup>.

De nos jours la place de l'imagerie prend de plus en plus d'importance dans le monde médical. CT, PET-CT, RX et bien d'autres, sont tous des examens radiologiques auxquels sont confrontés un nombre grandissant de patients. Il est donc d'une importance majeure d'en comprendre les risques, de maîtriser, réglementer et limiter au minimum les doses reçues par le patient mais aussi par le professionnel de la santé pratiquant l'examen.

A l'heure actuelle, légalement, le patient n'est soumis à aucune limite de dose. Pour le protéger, des niveaux de références diagnostiques (NRD) basés sur une statistique nationale ont été établis pour les actes les plus fréquents ou les plus irradiants. Ceux-ci représentent une valeur de dose ou une activité radiologique délivrée. Ils sont des indicateurs dosimétriques de la qualité des pratiques en radiologie.<sup>4</sup>

## 2 Grandeurs utilisées en protection radiologique

Les rayons ionisants interagissent avec la matière, ils ont une énergie suffisante pour transformer les atomes qu'ils traversent en ions (atome qui a perdu ou gagné un électron) les rendant ainsi instables. Les atomes ionisés vont ensuite émettre un photon afin de retrouver un état stable.<sup>5</sup> Les grandeurs dosimétriques spécifiques ont été développées dans le but de mesurer la quantité et l'effet des rayonnements ionisants reçus. Celles-ci reposent sur la mesure de la quantité d'énergie déposée dans les organes et les tissus du corps humain. Pour établir une relation entre la dose reçue et les risques radio-induits, il est aussi important de prendre en compte la sensibilité spécifique du tissu étudié au rayonnement ionisant ( $W_t$ ) ainsi que l'efficacité biologique propre à chaque type de rayon ( $W_r$ )<sup>6</sup>.

---

<sup>3</sup> Culturesciences.chimie.ens.fr

<sup>4</sup> <http://nrd.irsn.fr/radiologie>

<sup>5</sup> [http://www.irsn.fr/FR/connaissances/Nucleaire\\_et\\_societe](http://www.irsn.fr/FR/connaissances/Nucleaire_et_societe)

<sup>6</sup> CIPR 103, 2007, p.60

La dose absorbée  $D$  est la grandeur physique fondamentale pour la dose. Elle représente l'énergie moyenne absorbée par unité de masse et son unité est le Gray (Gy)<sup>7</sup>.

La dose équivalente  $H_t$  s'appuie sur la dose absorbée moyenne  $D_{t,r}$  en prenant en compte le facteur de pondérations  $W_r$  propre au type de rayonnement<sup>8</sup>.

La dose efficace  $E$  est définie par la somme des doses équivalentes reçues par les tissus pondérés par le facteur  $W_t$  reflétant la radiosensibilité biologique spécifique du tissu considéré. De même que pour la dose équivalente, l'unité pour la dose efficace est le Sievert (Sv)<sup>9</sup>.

En pratique, dose équivalente et dose efficace ne sont pas des grandeurs mesurables, mais des grandeurs opérationnelles sont utilisées pour les estimer. Par exemple, dans la surveillance de l'exposition professionnelle, des dosimètres individuels mesurent l'équivalent de la dose individuelle. En faisant l'hypothèse d'une exposition uniforme de l'ensemble du corps, cette valeur mesurée est prise comme l'évaluation de la dose efficace<sup>10</sup>.

### 3 Effets biologiques des radiations ionisantes

Les effets biologiques néfastes des radiations ionisantes sur l'homme peuvent être regroupés en deux catégories :

- Les effets déterministes sont des réactions tissulaires suite à une forte dose ayant induit la mort cellulaire ou un dysfonctionnement d'un organe ou d'un système.
- Les effets stochastiques sont des mutations radio-induites à l'ADN du noyau cellulaire apparaissant à faible dose sans seuil limite. Il s'agit donc de cancer chez l'individu exposé s'il s'agit de cellules somatiques ou de maladies héréditaires chez sa descendance s'il s'agit de cellules germinales<sup>11</sup>.

---

<sup>7</sup> CIPR 103, 2007, p.62

<sup>8</sup> CIPR 103, 2007, p.63

<sup>9</sup> CIPR 103, 2007, p.68)

<sup>10</sup> CIPR 103, 2007, p.71

<sup>11</sup> CIPR 103, 2007, p. 46

### 3.1 Effets déterministes

L'apparition de lésions tissulaires radio-induites est caractérisée par une dose-seuil connue.

La raison de l'existence de ce seuil est que les dommages causés par les rayonnements doivent concerner un certain nombre de cellules pour induire une forme cliniquement significative.

Les réactions tissulaires précoces aux rayonnements peuvent être de type inflammatoire via la libération de facteurs cellulaires ou dues à la mort cellulaire locale. La plupart des tissus sont considérés comme cliniquement non sensibles de manière significative en-dessous d'une dose de 100mSv<sup>12</sup>.

### 3.2 Effets stochastiques

Les mutations radio-induites à l'ADN nucléaire ont une relation linéaire dose dépendante et apparaissent de façon probabiliste sans seuil. Il est reconnu à des fins de protections radiologiques qu'en dessous de 100mSv il est scientifiquement plausible de supposer que l'incidence des effets cancérigènes ou héréditaires croît proportionnellement à l'augmentation de la dose équivalente reçue par les organes concernés.

Les risques de cancer post-expositions sont prouvés par des études épidémiologiques et expérimentales avec toutefois une incertitude concernant les doses inférieures à 100mSv. Ces études proviennent des nombreuses informations basées sur les observations de la population japonaise bombardée en 1945 tel que l'étude sur la vie entière (LSS, Life Span Study), sur l'incidence des cancers (Preston et al 2007) ou encore sur la mortalité des cancers (Preston et al 2003).

---

<sup>12</sup> CIPR 103, 2007, p. 47

Dans le cas des maladies héréditaires, les observations expérimentales sont là pour indiquer qu'il faut prendre ce risque en compte même si aucune preuve directe n'existe pour les humains<sup>13</sup>.

## 4 Législation

La quasi-totalité des réglementations internationales et des normes nationales reposent sur les recommandations de la Commission Internationale de Protection Radiologique (CIPR ou ICRP en anglais). Cette organisation internationale non gouvernementale qui existe depuis 1928 a développé la base des standards de la législation et de la pratique de la radioprotection. La CIPR a pour but de faire atteindre un niveau de protection approprié contre les effets néfastes des radiations ionisantes sans en limiter leurs effets bénéfiques. Elle le fait à travers des recommandations sur tous les aspects de la protection des radiations, qu'elles soient d'origine naturelle ou artificielle, en prenant en compte les dernières avancées scientifiques ainsi que l'évolution des valeurs morales et en travaillant en collaboration avec beaucoup d'autres organisations tel que la Organisation Mondiale de la Santé (OMS), la Commission Européenne, l'International Radiation Protection Association et bien d'autres<sup>14</sup>.

Ces organisations peuvent s'appuyer sur les études de l'UNSCEAR (United Nation Scientific Committee on the Effect of Atomic Radiation), comité scientifique des Nations Unies fort de 21 délégations de pays différents, qui a pour but de synthétiser les publications scientifiques et de rédiger un rapport sur les sources de rayonnements et leurs effets sur l'homme.

Puis, sur la base des recommandations de la CIPR, ce sont les agences spécialisées telles que l'Agence Internationale de l'Energie Atomique (AIEA) qui élaborent des standards destinés aux Etats, qui, sur cette base, vont publier des législations nationales visant à protéger les travailleurs, les personnes du public et les patients exposés aux rayonnements ionisants<sup>15</sup>.

---

<sup>13</sup> CIPR 103, 2007, p.48

<sup>14</sup> Rapport annuel 2014 de la CIPR, p.2

<sup>15</sup> [Www.irsn.fr/FR/connaissances/Sante/radioprotection/norme](http://www.irsn.fr/FR/connaissances/Sante/radioprotection/norme)

## 4.1 Cadre légal en Suisse

La Suisse fait partie des premiers pays au monde à avoir intégré une grande partie des recommandations de la CIPR dans sa législation en matière de radioprotection.

La loi actuelle est celle du 22 mars 1991<sup>16</sup>. En vigueur depuis le 1<sup>er</sup> octobre 1994, combinée avec l'ordonnance du 22 juin 1994 sur la radioprotection<sup>17</sup>, elles régissent l'utilisation des rayonnements ionisants hors du domaine de l'énergie nucléaire. Il existe aussi des ordonnances complémentaires départementales, se concentrant sur les points techniques, publiées par l'Office compétent (Office fédéral de santé publique pour les aspects médicaux ; OFSP) telle que celle du 20 janvier 1998 sur les installations radiologiques à usage médical (ORX) ou l'ordonnance du 7 octobre 1999 sur la dosimétrie individuelle.

## 4.2 Limite de dose actuelle

Les limites de dose actuellement en vigueur sont régies par les articles 35 à 37 de l'ordonnance du 22 juin 1994 sur la radioprotection (ORaP).

Pour les personnes exposées aux rayonnements dans un cadre non professionnel (le public), la limite est de 1mSv par an.

Concernant les personnes exposées dans leur milieu professionnel :

- la dose effective reçue ne doit pas dépasser 20mSv par an. Dans des situations particulières et avec l'accord de l'autorité de surveillance, il est possible que cette limite passe à 50mSv sur un an lors de travaux importants pour autant que la dose cumulée sur les cinq dernières années ne dépasse pas 100mSv.
- Les jeunes de 16 à 18 ans ne doivent pas être exposés à plus de 5mSv par an.
- Concernant les femmes enceintes la dose équivalente à la surface de l'abdomen ne doit pas dépasser 2mSv sur l'entier de la grossesse.

Du fait de leur haute sensibilité au rayonnement et pour éviter des effets déterministes, les doses équivalentes reçues par les organes suivants ne doivent pas dépasser :

---

<sup>16</sup> Loi du 22 mars 1991 sur la radioprotection (LRaP ; RS 814.50)

<sup>17</sup> Ordonnance du 22 juin 1994 sur la radio protection (ORaP ; RS 814.501)

- 150mSv par année pour le cristallin (passera à 20 mSv dans un futur proche).
- 500mSv par année pour la peau, les mains et les pieds.

## 5 Focus sur la cardiologie interventionnelle

Dans les dernières années, la sonnette d'alarme a été tirée dans la Communauté de la Cardiologie Interventionnelle du fait du nombre toujours plus grand de suspicion de cataractes radio-induites chez les opérateurs. S'ajoutant à cela, la publication de certains cas rapportés de tumeurs cérébrales chez les cardiologues interventionnels est venue grandir le malaise<sup>18</sup>. Enfin, la ré-analyse de la cohorte Hiroshima-Nagasaki a mis en évidence que le facteur de risque d'induction de la cataracte avait été sous-estimé d'un facteur proche de dix ce qui a poussé l'IRCP à baisser drastiquement la limite de dose au cristallin recommandée passant ainsi de 150mSv par an à 20mSv. Ces récents changements n'ont pas encore été implémentés dans le Droit Suisse et ne sont donc pas encore en vigueur. Ils nécessiteront des mesures d'adaptations telles qu'une optimisation des mesures de protections, une amélioration des machines actuelles, mais aussi un changement des habitudes du personnel.<sup>19</sup>.

### 5.1 Exposition du personnel

Dans le dernier rapport de l'OFSP concernant les doses reçues par le personnel de Cardiologie Interventionnel, une estimation des doses annuelles reçues aux mains, aux cristallins ainsi que de la dose effective reçue en supposant une charge de travail de 500 procédures par an et par opérateur est rapportée dans le tableau 1.

---

<sup>18</sup> OFSP, Staff exposure in interventional cardiology

<sup>19</sup> ICRP publications 2011

Tableau 1 – Estimation des doses reçues par les opérateurs de cardiologie interventionnelle pour 500 procédures annuelles (soit environ 3 procédures par jour ouvrable)

TABLEAU 1 DOSES ANNUELLES (mSv)

	<b>Médiane</b>	<b>Moyenne</b>
<b>Dose effective</b>	0.50	1.56
<b>Mains</b>	44.5	75.6
<b>Cristallins</b>	26.0	25.4

Cette estimation nous montre que la dose effective est bien en dessous de la dose limite annuelle de 20mSv, idem pour la dose reçue par les mains des opérateurs qui est bien en dessous des 500mSv qui est la limitation annuelle pour cette partie du corps.

Cependant la dose médiane au cristallin dépasse de 23% la nouvelle recommandation du CIPR qui est de 20mSv par an. Il est donc clair que l'abaissement de la limite de 150mSv à 20mSv posera des problèmes en cardiologie interventionnelle<sup>20</sup>.

Bien évidemment la dose reçue varie selon le type de procédure exécutée, la position de l'opérateur, ainsi que selon les moyens de protection mis en place<sup>21</sup>.

## 5.2 Tumeurs cérébrales

Même si aucune preuve à ce jour n'établit que l'exposition à long terme aux radiations ionisantes à des fins médicales augmente le risque de tumeurs cérébrales, la latéralisation de certaines tumeurs rapportée ces dernières années a incité les professionnels à se pencher sur la question.

En effet dans un papier paru en 2012, les cas de trois radiologues ainsi que six cardiologues interventionnels avec des tumeurs cérébrales, pour la plupart des glioblastomes, ont été étudiés entre 1997 et aujourd'hui. Pour cinq anciens cas, le côté n'a pas été retrouvé dans la littérature mais concernant les quatre derniers, la lésion maligne se trouvait à gauche.

Tous avaient été exposés durant plusieurs années d'exposition aux radiations ionisantes dans les salles de cathétérisme<sup>22</sup>. Une autre étude comptant plus de 26 cas d'opérateur présente des

<sup>20</sup> OFSP doses au personnel déc. 2014 p14

<sup>21</sup> OFSP doses au personnel déc. 2014 p29

résultats similaires. Dans 85% des cas la pathologie était à gauche, et plus de 55% de ces lésions tumorales étaient des glioblastomes<sup>23</sup>.

Dans une récente étude, une population de cardiologues, cardiologues interventionnels et physiciens ont été suivis lors d'un bon nombre d'opérations, 738 aux totales, pour évaluer l'exposition aux rayons X de la région du crâne.

Les opérateurs portaient un bonnet d'atténuation BLOXR avec la technologie XPF (contenant ni plomb ni autre métaux-lourd, non toxique) sur la tête ainsi que six dosimètres, trois à l'extérieur du bonnet, trois à l'intérieur. Concernant l'extérieur du bonnet, leurs résultats ont mis en évidence un taux significativement plus élevé de doses reçues du côté gauche de la tête des opérateurs. Le centre est également plus touché que le côté droit, cela démontre l'existence d'un gradient de dose décroissant allant de gauche à droite. Cela est dû à la position de l'opérateur, son côté gauche étant plus proche de la source du rayonnement. En ce qui concerne les doses perçues sous la protection, des résultats surprenant sont apparus. Le Bonnet de protection XPF annule la disparité des doses. En effet les doses mesurées sont similaires entre elles des deux côtés ainsi qu'au centre de la tête de l'opérateur. L'effet atténuateur s'amplifie donc plus les doses sont élevées. Ainsi, à gauche la dose externe ambiante est 16 fois plus haute que sous la protection alors qu'à droite elle ne l'est que 2,4 fois plus<sup>24</sup>. Le problème est que les doses sont alors si faibles sous le bonnet que l'incertitude des mesures ne permet pas de trancher. Un facteur d'atténuation moyen aurait, dans ce cas, été peut-être plus indiqué.

### 5.3 Cataracte radio-induite

Depuis plusieurs années maintenant la communauté scientifique s'est penchée sur la question de l'opacification du cristallin dû aux rayonnements ionisants. Le cristallin est reconnu comme un tissu particulièrement radiosensible du corps humain, ainsi une dose de 2Gy à 10Gy suffit à le léser mais la cataracte mettra des années à se développer. Les rayons induisent le plus souvent une cataracte sub-capsulaire postérieure mais certaines données suggèrent que la catégorie plus large des cataractes corticales postérieures peut également être

---

<sup>22</sup> Eurointervention 2012 ; 7, p.1082-83

<sup>23</sup> The American journal of cardiology, 2013 ; 111, p.1369-70

<sup>24</sup> JACC, 17 août 2015 ;8(9):1197-206.

considérée comme associée aux radiations ionisantes. De nombreuses études ont mis en évidence l'opacification du cristallin après exposition aux radiations ionisantes tel qu'à Hiroshima et Nagasaki, Tchernobyl, chez les pilotes d'avions et astronautes ou dans le monde médical<sup>25</sup>. Les Cardiologues Interventionnels ne sont pas épargnés, ils sont exposés aux mêmes doses auxquelles ont pu être observées l'induction de cataractes. Une récente étude dans ce domaine, comptant 95 participants, a montré que chez les cardiologues interventionnels et les techniciens sélectionnés pour l'étude, 79% avaient une opacification du cristallin alors que dans le groupe contrôle, non exposé, ils n'étaient que 7,1% à être touchés. Tous les sujets avec une opacification postérieure du cristallin étaient ceux qui comptaient le plus d'années de travail exposé et un nombre plus important de procédures par semaine. Dans cette étude, seuls 30,5% des participants déclaraient porter des lunettes de protections, celles-ci sont pourtant efficaces en abaissant la dose de 5 à 25 fois. Il est donc très important qu'il y ait une prise de conscience dans le milieu professionnel<sup>26</sup>.

## 6 AlluraClarity

Une nouvelle mise à jour autant matérielle que logicielle, AlluraClarity de chez Philips, a été installée dans les salles de cathétérisme du CHUV à Lausanne en 2015. Cette nouvelle technologie, ClarityIQ, a pour but de minimiser les doses délivrées par la machine tout en

gardant une qualité d'image optimale. Combinant un algorithme avancé de réduction du bruit de l'image en ligne avec un filtre spatial et temporel spécialement conçu pour les images à rayons X ainsi qu'un hardware pour réduire significativement la dose d'entrée au patient, cette technologie a déjà fait ses preuves comme le montre une étude faite à l'hôpital de Catharina à Eindhoven (Pays-Bas). En effet, sur plus de 136 patients ayant eu un cathétérisme guidé par imagerie, les doses aux patients ont été réduites de plus de 43% en comparaison à celles délivrées par la technologie de référence Allura Xper<sup>27</sup>. Les Cardiologues Interventionnels exposés aux radiations ionisantes l'ont été à moitié moins<sup>28</sup>. Dans une autre

---

<sup>25</sup> BMC Public Health 2010, 10 :537

<sup>26</sup> Research in Cardiovascular Med. 2015, jan

<sup>27</sup> Heart Rhythm. 2013 Nov;10(11): p.1678–82.

<sup>28</sup> Heart Rhythm, 2013 Nov;10(11): p.1678-82

étude en neuroradiologie interventionnelle, les doses délivrées vont jusqu'à être 73% plus basse lors de certaines opérations.

Un autre article comparant Clarity à un FD20 de chez Philips sur des interventions en cardiologie interventionnelle de tous types montre que malgré une augmentation de 70% du temps de fluoroscopie, les doses étaient réduites de 50%<sup>29</sup>.

Ce système est déjà en activité en Belgique depuis 2013, et Philips l'a déjà vendu à de nombreux pays à travers le monde, dont la Suisse<sup>30</sup>.

## 7 Méthodologie

Au CHUV, pour tenter de diminuer les doses de rayonnement ionisant reçues par les patients et les opérateurs, la nouvelle technologie de chez Philips, Clarity, a été installée dans les salles de cathétérisme. La présente expérience a pour but de comparer les doses délivrées aux patients et aux opérateurs en cardiologie interventionnelle, avant et après l'installation de Clarity.

Nous allons, pour ce faire, suivre des cardiologues interventionnels lors de 20 procédures de coronarographies diagnostiques et d'interventions thérapeutiques de tout type, à l'exception des biopsies myocardiques (la position de l'opérateur et du tube RX étant différentes, les opérateurs ne peuvent pas utiliser les mêmes protections).

Le but est de calculer les facteurs d'expositions sur le premier et le deuxième opérateur. Le facteur d'exposition correspond à la dose reçue par le personnel pondérée par la dose reçue par le patient en précisant les moyens de protections utilisés ainsi que la voie d'abord de l'opération (fémorale vs radiale).

En ce qui concerne la dose reçue par le personnel, nous allons mesurer l'équivalent de dose individuelle à l'aide de dosimètres électroniques DMC-3000 calibrés en Hp(10) posés sur le thorax, sur le tablier de plomb des deux opérateurs. A partir de ces valeurs, en utilisant des facteurs de pondération estimés par Nick Ryckx lors d'expériences précédentes, nous estimerons la dose reçue par le cristallin ainsi que celle reçue par le cerveau.

---

<sup>29</sup> Catheterization and Cardiovascular Interventions, 85 supplément p.119, 16 apr

<sup>30</sup> Allura Clarity Philips

Concernant le choix des dosimètres, nous avons préféré un DMC-3000 électronique de chez Mirion plutôt qu'un TLD (thermoluminescent diode). En effet, le TLD est peu sensible et ne permet pas la mesure des doses personnelles ni celle de la variation des doses reçues en fonction du type d'opération, le seuil de détection du dosimètre étant trop haut.

D'un point de vue pratique, pour estimer les doses reçues par le cristallin et le cerveau, il est difficile d'imaginer mettre un DMC-3000 sur la tête de l'opérateur, c'est pourquoi nous avons préféré le mettre au niveau du thorax où celui-ci peut s'accrocher plus facilement sans gêner le bon déroulement de la procédure.

Cependant les facteurs de pondération, pour passer de la dose au thorax à la dose au cristallin puis de la dose au cristallin à la dose au cerveau, ont été calculés pour des mesures en Hp(10). Cela nous oblige donc à travailler en Hp(10) même si, pour le cristallin, calibrer le dosimètre en Hp(0.07) aurait été plus relevant. En effet, le cristallin est un organe de surface et cette dernière représente l'énergie reçue sur les 70 premiers micromètres de couches cellulaires alors que Hp(10) est plus spécifique pour estimer la dose reçue par les organes internes car elle mesure la dose absorbée à 10mm de profondeur.

Pour les doses au patient, nous utiliserons le produit kerma-surface que nous ne visualiserons pas directement pendant la procédure pour des questions pratiques mais après celle-ci grâce au logiciel DoseWatch (logiciel de chez GE Healthcare de management de la dose reçue par le patient permettant de suivre les doses et de collecter les données).

L'ensemble des données récoltées lors de cette expérience seront ensuite comparées aux données déjà collectées avant l'installation de Clarity afin d'en mesurer son action bénéfique. Selon la littérature une diminution de l'ordre de 50% des doses est attendue.

## 8 Résultats

Dans les tableaux ci-dessous se trouvent les données que nous avons récoltées avant et après l'installation de Clarity. Nous les avons séparés en deux groupes, les examens purement diagnostiques et les examens diagnostiques et thérapeutiques.

TABLEAU 2 EXAMENS DIAGNOSTIQUES AVANT CLARITY

Intervention	Temps de scopie	PKS [Gycm <sup>2</sup> ]	Kerma dans l'air [mGy]	Intervenant	Position dosimètre	Dose cumulée [µSv]	Facteur d'exposition
<b>Coronarographie</b>	3.45E-03	41.143	574	Médecin	thorax	19	0.46
				Médecin	thorax	3	0.07
<b>Coronarographie</b>	5.14E-03	63.349	927	Médecin	thorax	21	0.33
<b>Coronarographie</b>	9.07E-03	63.454	857	Médecin	thorax	40	0.63
				Médecin	thorax	25	0.39
<b>Coronarographie</b>	1.11E-03	11.528	216	Médecin	thorax	17	1.47
<b>Coronarographie</b>	1.42E-02	55.38	560	Médecin	thorax	12	0.22
				Médecin	thorax	8	0.14
<b>Coronarographie</b>	2.81E-03	52.971	828	Médecin	thorax	44	0.83
				Médecin	thorax	15	0.28
<b>Coronarographie</b>	1.39E-02	163.139	2438	Médecin	thorax	72	0.44
				Médecin	thorax	12	0.07
<b>Coronarographie Voie radiale</b>	3.44E-03	44.684	780	Médecin	thorax	16	0.36
				Médecin	thorax	14	0.31
<b>Coronarographie + FFR Voie radiale</b>	1.41E-02	111.058	2084	Médecin	thorax	41	0.37
				Médecin	thorax	38	0.34
<b>Coronarographie</b>	6.92E-03	22.187	282	Médecin	thorax	7	0.32
<b>Coronarographie</b>	8.55E-03	66.903	1148	Médecin	thorax	15	4.46
				Médecin	thorax	10	0.15
<b>Coronarographie</b>	3.18E-03	20.555	395	Médecin	thorax	2	0.10
<b>Coronarographie</b>	2.77E-03	31.403	525	Médecin	thorax	9	0.29
<b>Coronarographie</b>	5.28E-03	17.275	336	Médecin	thorax	13	0.75
				Médecin	thorax	6	0.35
<b>Coronarographie + FFR</b>	2.47E-03	11.368	186	Médecin	thorax	12	1.06
				Médecin	thorax	6	0.53
<b>Urgence</b>	4.63E-03	60.763	1308	Médecin	thorax	28	0.46
<b>Coronarographie</b>	1.22E-02	78.877	1060	Médecin	thorax	52	0.66
<b>Coronarographie + ventriculographie</b>	5.79E-03	82.682	1191	Médecin	thorax	23	0.28
				Médecin	thorax	30	0.36
<b>Coronarographie</b>	3.69E-03	76.582	1438	Médecin	thorax	54	0.71
				Médecin	thorax	20	0.26
<b>Coronarographie + FFR</b>	1.48E-02	43.777	741	Médecin	thorax	22	0.50

				Médecin	thorax	102	2.33
<b>Moyenne</b>		71.4711	1196.6				
					Medecin 1	28.37	0.59
					Medecin 2	22.29	0.36

TABLEAU 3 EXAMENS DIAGNOSTIQUES ET THÉRAPEUTIQUES AVANT CLARITY

Intervention	Temps de scopie	PKS [Gycm <sup>2</sup> ]	Kerma dans l'air [mGy]	Intervenant	Position dosimètre	Dose cumulée [uSv]	Facteur d'exposition
Coronarographie + angioplastie	7.44E-03	47.816	1115	Médecin	thorax	22	0.46
Coronarographie + angioplastie	2.40E-02	164	3700	Médecin	thorax	66	0.40
Coronarographie + angioplastie	1.80E-02	123.425	1426	Médecin	thorax	45	0.36
				Médecin	thorax	16	0.13
Coronarographie + angioplastie	6.55E-03	33.128	424	Médecin	thorax	14	0.42
Coronarographie + angioplastie	5.42E-03	75.992	1377	Médecin	thorax	13	0.17
				Médecin	thorax	13	0.17
Coronarographie + angioplastie	2.13E-02	126.196	1729	Médecin	thorax	12	0.10
				Médecin	thorax	5	0.04
Coronarographie + angioplastie	3.29E-03	38.825	716	Médecin	thorax	8	0.21
Coronarographie + angioplastie	5.01E-03	86.87	1348	Médecin	thorax	10	0.12
Coronarographie + angioplastie	3.73E-02	258.156	4840	Médecin	thorax	129	0.50
				Médecin	thorax	56	0.22
Coronarographie + angioplastie	1.59E-02	70.647	1349	Médecin	thorax	13	0.18

TABLEAU 4 EXAMENS DIAGNOSTIQUES APRÈS CLARITY

Type d'examen	T[s]	PKS[Gy cm <sup>2</sup> ]	Ka,r[m Gy]	Runs[ ms]	Doses cumulées			
					Opér. N°1	facteurs d'expo. N°1	Opér. N°2	facteurs d'expo. N°2
<b>Coro, FFR</b>	391.00	18.77	319.18	55.00	7.00	3.73E-01	5	0.27
<b>Coro, ventriculographie</b>	200.00	7.29	96.52	34.00	2.00	2.74E-01		
<b>Coro</b>	397.00	22.45	306.91	35.00	11.00	4.90E-01		
<b>Cathéterisme G + D, Inj.sus-valve</b>	259.00	13.93	180.17	33.00	2.00	1.44E-01		
<b>Coro</b>	173.00	12.69	255.83	36.00	7.00	5.52E-01	3	0.24
<b>Coro</b>	466.00	11.64	108.83	44.00	14.00	1.20E+00		
<b>Coro, Ventriculo</b>	210.00	19.48	264.63	31.00	4.00	2.05E-01		
<b>Coro</b>	107.00	7.89	109.48	26.00	1.00	1.27E-01	9	1.14
<b>Coro</b>	156.00	11.20	126.52	28.00	4.00	3.57E-01	0	0.00
<b>Coro, Cath D</b>	556.00	13.01	129.29	37.00	13.00	9.99E-01	4	0.31
<b>Coro, Cath G + D</b>	509.00	27.04	390.12	43.00	37.00	1.37E+00	9	0.33

<b>Coro, Inj sus-valve</b>	1214.0 0	63.45	660.41	128.0 0	17.00	2.68E-01		
<b>Moyenne</b>	386.50	19.07	245.66	44.17	9.92	5.30E-01	5	0.38

TABLEAU 5 EXAMENS DIAGNOSTIQUES ET THÉRAPEUTIQUES APRÈS CLARITY

Type d'examen	T[s]	PKS[Gy cm <sup>2</sup> ]	Ka,r[m Gy]	Runs[ ms]	Doses cumulées			
					Opér. N°1	facteurs d'expo. N°1	Opér. N°2	facteurs d'expo. N°2
<b>Coro, Angio, Stent</b>	956.00	25.46	529.97	183.0 0	34.00	1.34E+00	13	0.51
<b>Coro, IVUS, Angio, Stent</b>	1026.00	10.68	421.28	154.0 0	12.00	1.12E+00		
<b>Coro, Angio</b>	383.00	5.89	81.92	62.00	1.00	1.70E-01	0	0.00
<b>Coro, OCT</b>	736.00	72.74	990.38	77.00	95.00	1.31E+00		
<b>Coro, Angio, Stent</b>	342.00	14.93	285.12	57.00	1.00	6.70E-02	3	0.20
<b>Coro, Angio</b>	964.00	20.70	351.13	120.0 0	4.00	1.93E-01	9	0.43
<b>Coro, FFR, Angio, Stent</b>	1033.00	36.98	670.82	110.0 0	15.00	4.06E-01		
<b>Coro, Angio</b>	1087.00	61.28	1304.76	212.0 0	16.00	2.61E-01	7	0.11
<b>Moyenne</b>	815.88	31.08	579.42	121.8 8	22.25	6.08E-01	6.4	0.25

## 8.1 Comparaison des PKS

Les tableaux ci-dessous représentent la comparaison statistique des PKS avant et après l'installation de Clarity en séparant les examens purement diagnostiques des examens diagnostiques et thérapeutiques.

Groupe des examens purement diagnostiques :

TABLEAU 6 TEST D'ÉGALITÉ DES VARIANCES PKS

	<b>Variable 1</b>	<b>Variable 2</b>
<b>Moyenne</b>	55.95	19.07
<b>Variance</b>	1336.95	229.96
<b>Observations</b>	20.00	12.00
<b>Degré de liberté</b>	19.00	11.00
<b>F</b>	5.81	
<b>P(F&lt;=f) unilatéral</b>	0.00238	
<b>Valeur critique pour F (unilatéral)</b>	2.66	

TABLEAU 7 TEST D'ÉGALITÉ DES ESPÉRANCES PKS

<b>Test d'égalité des espérances : deux observations de variances différentes</b>
---

	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
<b>Moyenne</b>	55.95	19.07
<b>Variance</b>	1336.95	229.96
<b>Observations</b>	20.00	12.00
<b>Différence hypothétique des moyennes</b>	0.00	
<b>Degré de liberté</b>	28.00	
<b>Statistique t</b>	3.98	
<b>P(T&lt;=t) unilatéral</b>	0.00	
<b>Valeur critique de t (unilatéral)</b>	1.70	
<b>P(T&lt;=t) bilatéral</b>	0.00045	
<b>Valeur critique de t (bilatéral)</b>	2.05	

Groupe des examens diagnostiques et thérapeutiques :

TABLEAU 8 TEST D'ÉGALITÉ DES VARIANCES PKS

	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
<b>Moyenne</b>	102.51	31.08
<b>Variance</b>	4758.81	516.70
<b>Observations</b>	10.00	9.00
<b>Degré de liberté</b>	9.00	8.00
<b>F</b>	9.21	
<b>P(F&lt;=f) unilatéral</b>	0.00	
<b>Valeur critique pour F (unilatéral)</b>	3.39	

TABLEAU 9 TEST D'ÉGALITÉ DES ESPÉRANCES PKS

	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
<b>Moyenne</b>	102.51	31.08
<b>Variance</b>	4758.81	516.70
<b>Observations</b>	10.00	9.00
<b>Différence hypothétique des moyennes</b>	0.00	
<b>Degré de liberté</b>	11.00	
<b>Statistique t</b>	3.09	
<b>P(T&lt;=t) unilatéral</b>	0.01	
<b>Valeur critique de t (unilatéral)</b>	1.80	
<b>P(T&lt;=t) bilatéral</b>	0.01	
<b>Valeur critique de t (bilatéral)</b>	2.20	

## 8.2 Comparaison des doses cumulées

Les tableaux ci-dessous représentent la comparaison statistique des doses cumulées reçues par les opérateurs avant et après l'installation de Clarity en séparant les examens purement diagnostiques des examens diagnostiques et thérapeutiques.

### Groupe des examens purement diagnostiques :

TABLEAU 10 TEST D'ÉGALITÉ DES VARIANCES DOSES CUMULÉES

	<b>Variable 1</b>	<b>Variable 2</b>
<b>Moyenne</b>	25.76	9.92
<b>Variance</b>	326.39	91.91
<b>Observations</b>	21.00	13.00
<b>Degré de liberté</b>	20.00	12.00
<b>F</b>	3.55	
<b>P(F&lt;=f) unilatéral</b>	0.01410	
<b>Valeur critique pour F (unilatéral)</b>	2.54	

TABLEAU 11 TEST D'ÉGALITÉ DES ESPÉRANCES DOSES CUMULÉES

	<b>Variable 1</b>	<b>Variable 2</b>
<b>Moyenne</b>	25.76	9.92
<b>Variance</b>	326.39	100.27
<b>Observations</b>	21.00	12.00
<b>Différence hypothétique des moyennes</b>	0.00	
<b>Degré de liberté</b>	31.00	
<b>Statistique t</b>	3.24	
<b>P(T&lt;=t) unilatéral</b>	0.00	
<b>Valeur critique de t (unilatéral)</b>	1.70	
<b>P(T&lt;=t) bilatéral</b>	0.00284	
<b>Valeur critique de t (bilatéral)</b>	2.04	

### Groupe des examens diagnostiques et thérapeutiques :

TABLEAU 12 TEST D'ÉGALITÉ DES VARIANCES DOSES CUMULÉES

	<b>Variable 1</b>	<b>Variable 2</b>
<b>Moyenne</b>	33.20	22.25
<b>Variance</b>	1480.62	980.50
<b>Observations</b>	10.00	8.00
<b>Degré de liberté</b>	9.00	7.00
<b>F</b>	1.51	
<b>P(F&lt;=f) unilatéral</b>	0.30022	
<b>Valeur critique pour F (unilatéral)</b>	3.68	

TABLEAU 13 TEST D'ÉGALITÉ DES ESPÉRANCES DOSES CUMULÉES

	<b>Variable 1</b>	<b>Variable 2</b>
<b>Moyenne</b>	33.20	22.25
<b>Variance</b>	1480.62	980.50
<b>Observations</b>	10.00	8.00
<b>Différence hypothétique des moyennes</b>	0.00	
<b>Degré de liberté</b>	16.00	
<b>Statistique t</b>	0.67	
<b>P(T&lt;=t) unilatéral</b>	0.26	
<b>Valeur critique de t (unilatéral)</b>	1.75	
<b>P(T&lt;=t) bilatéral</b>	0.52	
<b>Valeur critique de t (bilatéral)</b>	2.12	

### 8.3 Comparaison des facteurs d'exposition

Les tableaux ci-dessous représentent la comparaison statistique des facteurs d'exposition avant et après l'installation de Clarity en séparant les examens purement diagnostiques et les examens diagnostiques et thérapeutiques.

#### Groupe des examens purement diagnostiques :

TABLEAU 14 TEST D'ÉGALITÉ DES VARIANCES FACTEURS D'EXPOSITION

	<b>Variable 1</b>	<b>Variable 2</b>
<b>Moyenne</b>	0.73	0.53
<b>Variance</b>	0.87	0.18
<b>Observations</b>	20.00	12.00
<b>Degré de liberté</b>	19.00	11.00
<b>F</b>	4.83	
<b>P(F&lt;=f) unilatéral</b>	0.00527	

Valeur critique pour F (unilatéral)	2.66	
-------------------------------------	------	--

TABLEAU 15 TEST D'ÉGALITÉ DES ESPÉRANCE FACTEURS D'EXPOSITION

	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Moyenne	0.73	0.53
Variance	0.87	0.18
Observations	20.00	12.00
Différence hypothétique des moyennes	0.00	
Degré de liberté	29.00	
Statistique t	0.84	
P(T<=t) unilatéral	0.20	
Valeur critique de t (unilatéral)	1.70	
P(T<=t) bilatéral	0.40546	
Valeur critique de t (bilatéral)	2.05	

Groupe des examens diagnostiques et thérapeutiques :

TABLEAU 16 TEST D'ÉGALITÉ DES VARIANCES FACTEURS D'EXPOSITION

	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Moyenne	0.61	0.29
Variance	0.26	0.02
Observations	9.00	10.00
Degré de liberté	8.00	9.00
F	11.27	
P(F<=f) unilatéral	0.00072	
Valeur critique pour F (unilatéral)	3.23	

TABLEAU 17 TEST D'ÉGALITÉ DES VARIANCES FACTEURS D'EXPOSITION

	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Moyenne	0.61	0.29
Variance	0.26	0.02
Observations	9.00	10.00
Différence hypothétique des moyennes	0.00	

<b>Degré de liberté</b>	9.00	
<b>Statistique t</b>	1.78	
<b>P(T&lt;=t) unilatéral</b>	0.05	
<b>Valeur critique de t (unilatéral)</b>	1.83	
<b>P(T&lt;=t) bilatéral</b>	0.10904	
<b>Valeur critique de t (bilatéral)</b>	2.26	

#### 8.4 Interprétation des résultats :

Après analyse des résultats, il apparaît que l'installation de Clarity a effectivement permis de réduire les doses de radiations reçues par les patients et les opérateurs du Service de Cardiologie Interventionnelle du CHUV, ce qui confirme l'hypothèse de ce travail.

En effet, la comparaison des PKS a montré une différence significative pour le groupe des examens diagnostiques et thérapeutiques (P-value 0.0102). La moyenne des PKS étant effectivement 3.3 fois plus élevée avant l'installation de la mise à jour.

Cette différence semble encore plus nette concernant le groupe des examens purement diagnostiques (P-value 0.000446). La différence entre les moyennes est légèrement inférieure dans ce groupe, avec une dose 2.93 fois moindre après Clarity.

La dose délivrée au patient semble avoir donc effectivement diminuée de plus de 50%, grâce à ce nouvel outil.

Les doses reçues par les opérateurs ont été comparées en doses absolues (doses cumulées), ainsi qu'en doses relatives (facteur d'exposition).

Concernant les doses cumulées, la tendance se confirme mais est néanmoins légèrement moins marquée que pour les doses reçues par les patients.

La comparaison des doses cumulées dans le groupe des examens purement diagnostiques a mis en évidence une différence significative (P-value 0.0028), avec des doses en moyenne 2.60 plus basses après Clarity.

Dans le groupe des examens diagnostiques et thérapeutiques, la différence est juste au-dessus de la limite de la significativité (P-value 0.51). Cela peut probablement s'expliquer par la

grande variance qu'il y avait dans ce groupe. Le rapport entre les moyennes ne s'élève ici qu'à 1.49.

Il apparait donc que les doses absolues reçues par les opérateurs sont, elles aussi sensiblement plus basses d'environ 50%.

Cependant la comparaison des doses relatives, mesurées ici via le facteur d'exposition, nous a fait remarquer que contrairement à l'augmentation que nous attendions de celles-ci, il n'y avait pas de différence significative avec la technologie Clarity. (Une P-value 0.41 pour les examens purement diagnostiques et une P-value 0.11 pour les examens diagnostiques et thérapeutiques). Les résultats de cette étude sont malgré tout à interpréter avec prudence.

En effet, le petit nombre de participant diminue la validité externe de cette étude. De même, à cause de la trop faible quantité de données sur les deuxièmes opérateurs, nous n'avons pas pu tirer de conclusion de la comparaison statistique de doses perçues par ceux-ci.

La variabilité inter-opérateur influence aussi beaucoup les résultats. Les habitudes de travail différentes, un niveau d'expérience très variable ainsi que les diverses particularités ou complications inhérentes aux patients sont autant de raisons qui impliquent que les doses étaient parfois dix fois supérieures pour un examen similaire.

Il en est de même concernant le type d'examen. Malgré la séparation grossière faite entre les examens purement diagnostiques et ceux qui étaient à la fois diagnostiques et thérapeutiques, il existe une forte variabilité dans le type d'examen réalisé et donc la dose délivrée est elle aussi très variable.

Pour poursuivre ce travail, il aurait été intéressant d'approfondir l'étude en cherchant les liens possibles entre les doses reçues par les opérateurs et les différentes variables que sont : les diverses approches utilisées (radiale vs fémorale), l'expérience de l'opérateur, les complications lors du geste ou encore différentes variables du patient tel que le sexe, le poids ou la taille.

En conclusion ce travail a mis en évidence une baisse de plus 50 % des doses reçues par les patients lors d'examen de cardiologie interventionnelle. La tendance est légèrement plus

Marquée pour les examens thérapeutiques (70%) que pour les examens purement diagnostiques (66%).

Les doses absolues reçues par l'opérateur étaient elles aussi diminuées d'environ 50%. Là aussi, on notait une diminution plus importante dans le groupe des examens thérapeutiques (62%) que dans le groupe des examens purement diagnostiques (33%).

Les doses relatives à l'opérateur n'ont quant à elles pas changé de manière significative, contrairement à l'hypothèse de départ qui était qu'une filtration accrue du faisceau après la mise à jour mènerait à une augmentation des facteurs de diffusé.

La technologie Clarity a donc participé à la baisse de l'exposition des patients et du personnel de cardiologie interventionnelle.

## 9 Bibliographie

1. Histoire de la Radiologie [Internet]. [Cité 30 nov 2016]. Disponible sur : <http://homepage.hispeed.ch/piben/radiologie/histoierad.html>
2. Larousse É. Encyclopédie Larousse en ligne - imagerie médicale [Internet]. [Cité 30 nov 2016]. Disponible sur : [http://www.larousse.fr/encyclopedie/medical/imagerie\\_médicale/13805](http://www.larousse.fr/encyclopedie/medical/imagerie_médicale/13805)
3. Histoire de la chimie | CultureSciences-Chimie [Internet]. [Cité 30 nov 2016]. Disponible sur : <http://culturesciences.chimie.ens.fr/category/category/dossier/histoire-de-la-chimie>
4. Les NRD en radiologie | [Internet]. [Cité 27 décembre 2016] Disponible sur : <http://nrd.irsn.fr/radiologie>
5. Rayonnement ionisant | [Internet]. [Cité 27 décembre 2016] Disponible sur : [http://www.irsn.fr/FR/connaissances/Nucleaire\\_et\\_societe/education-radioprotection/bases\\_radioactivite/Pages/8-rayonnement-ionisant.aspx?dId=fdffb94-5a08-4374-99a7-e772c13d6efc&dwId=4ebb03d4-cee6-4f60-b75e-bf421cc5b46c#.WG5HioWcHIV](http://www.irsn.fr/FR/connaissances/Nucleaire_et_societe/education-radioprotection/bases_radioactivite/Pages/8-rayonnement-ionisant.aspx?dId=fdffb94-5a08-4374-99a7-e772c13d6efc&dwId=4ebb03d4-cee6-4f60-b75e-bf421cc5b46c#.WG5HioWcHIV)
6. Nénot J, Brenot J, Laurier D, Rannou A, Thierry D, Recommandations 2007 de la Commission internationale de protection radiologique, IRSN, Publication 103 de la CIPR : p60
7. Nénot J, Brenot J, Laurier D, Rannou A, Thierry D, Recommandations 2007 de la Commission internationale de protection radiologique, IRSN, Publication 103 de la CIPR : p62
8. Nénot J, Brenot J, Laurier D, Rannou A, Thierry D, Recommandations 2007 de la Commission internationale de protection radiologique, IRSN, Publication 103 de la CIPR : p63
9. Nénot J, Brenot J, Laurier D, Rannou A, Thierry D, Recommandations 2007 de la Commission internationale de protection radiologique, IRSN, Publication 103 de la CIPR : p68
10. Nénot J, Brenot J, Laurier D, Rannou A, Thierry D, Recommandations 2007 de la Commission internationale de protection radiologique, IRSN, Publication 103 de la CIPR : p71
11. Nénot J, Brenot J, Laurier D, Rannou A, Thierry D, Recommandations 2007 de la Commission internationale de protection radiologique, IRSN, Publication 103 de la CIPR : p46

12. Nénot J, Brenot J, Laurier D, Rannou A, Thierry D, Recommandations 2007 de la Commission internationale de protection radiologique, IRSN, Publication 103 de la CIPR : p47
13. Nénot J, Brenot J, Laurier D, Rannou A, Thierry D, Recommandations 2007 de la Commission internationale de protection radiologique, IRSN, Publication 103 de la CIPR : p48
14. CIPR 2014 Annual Report, ICRP, July 28, 2015, p2
15. De la science internationale à la législation nationale [Internet]. [Cité 30 nov 2016]. Disponible sur : [http://www.irsn.fr/FR/connaissances/Sante/radioprotection/normes-radioprotection/Pages/1-science-legislation.aspx?dId=48633a74-395c-44e3-a06c-b29b19c358fe&dwId=559f896d-8440-436d-9ade-bb23269425d4#.WD62yn2j\\_Y8](http://www.irsn.fr/FR/connaissances/Sante/radioprotection/normes-radioprotection/Pages/1-science-legislation.aspx?dId=48633a74-395c-44e3-a06c-b29b19c358fe&dwId=559f896d-8440-436d-9ade-bb23269425d4#.WD62yn2j_Y8)
16. RS 814.50 Loi du 22 mars 1991 sur la radioprotection (LRaP) [Internet]. [Cité 30 nov 2016]. Disponible sur : <https://www.admin.ch/opc/fr/classified-compilation/19910045/index.html>
17. Ordonnance du 22 juin 1994 sur la radioprotection (ORaP) [Internet]. [Cité 30 nov 2016]. Disponible sur : <https://www.admin.ch/opc/fr/classified-compilation/19940157/index.html>
18. Carnicer A, Baechler S, Canetti L, Verdun F, OFSP, Staff exposure in interventional cardiology, December 2014 : p3
19. CIPR 2011 Annual Report, ICRP, Août 30, 2012
20. Carnicer A, Baechler S, Canetti L, Verdun F, OFSP, Staff exposure in interventional cardiology, December 2014 : p14
21. Carnicer A, Baechler S, Canetti L, Verdun F, OFSP, Staff exposure in interventional cardiology, December 2014: p29
22. Roguin A, Goldstein J, Bar O. Brain tumours among interventional cardiologists: a cause for alarm? Report of four new cases from two cities and a review of the literature. *EuroIntervention*. janv 2012;7(9):1081–6.
23. Roguin A, Goldstein J, Bar O, Goldstein JA. Brain and Neck Tumors Among Physicians Performing Interventional Procedures. *The American Journal of Cardiology*. 1 mai 2013 ;111(9) :1368–72.
24. Reeves RR, Ang L, Bahadorani J, Naghi J, Dominguez A, Palakodeti V, et al. Invasive Cardiologists Are Exposed to Greater Left Sided Cranial RadiationThe BRAIN Study (Brain Radiation Exposure and Attenuation During Invasive Cardiology Procedures). *J Am Coll Cardiol Interv*. 17 août 2015

;8(9):1197–206.

25. Jacob S, Michel M, Spaulding C, Boveda S, Bar O, Brézin AP, et al. Occupational cataracts and lens opacities in interventional cardiology (O’CLOC study): are X-Rays involved? BMC Public Health. 2010 ;10:537.
26. Bitarafan Rajabi A, Noohi F, Hashemi H, Haghjoo M, Miraftab M, Yaghoobi N, et al. Ionizing radiation-induced cataract in interventional cardiology staff. Res Cardiovasc Med. févr 2015;4(1):e25148.
27. Dekker LRC, van der Voort PH, Simmers TA, Verbeek XAAM, Bullens RWM, Veer MV, et al. New image processing and noise reduction technology allows reduction of radiation exposure in complex electrophysiologic interventions while maintaining optimal image quality: a randomized clinical trial. Heart Rhythm. nov 2013;10(11):1678–82.
28. Dekker LRC, van der Voort PH, Simmers TA, Verbeek XAAM, Bullens RWM, Veer MV, et al. New image processing and noise reduction technology allows reduction of radiation exposure in complex electrophysiologic interventions while maintaining optimal image quality: a randomized clinical trial. Heart Rhythm. nov 2013;10(11):1678–82.
29. Catheterization and Cardiovascular Interventions, volume 85, supplément p.119, 16 avril
30. Allura Clarity Philips | [Internet]. [Cité 03 Janvier 2017] Disponible sur : <http://www.philips.ca/healthcare/product/HCNOCTN163/alluraclarity-with-clarityiq-technology>

## 10 Remerciements

Dans le cadre de ce travail, j’ai eu la chance de collaborer avec de nombreuses personnes de formation très différente.

Je remercie en premier lieu le Prof. Francis Verdun, mon Tuteur, ainsi que le Prof. Jean-Jacques Goy, mon expert, d'avoir accepté de me suivre dans mon Travail de Master en médecine.

Un merci tout particulier à Nick Ryckx, Physicien médicale, qui m'a guidé et permis d'avancer durant tout ce projet.

Merci également à Xingu Da Silva, ingénieur en mécanique pour son aide apportée pour la partie statistique de ce travail.

Je remercie également tout le Service de Cardiologie Interventionnelle et l'équipe des techniciens en radiologie de m'avoir permis de faire cette expérience dans les meilleures conditions possibles.

Maïc Gay