



UNIVERSITE DE LILLE
FACULTE DE MEDECINE HENRI WAREMBOURG
Année 2020

THESE POUR LE DIPLOME D'ETAT
DE DOCTEUR EN MEDECINE

**Suivi dosimétrique longitudinal péri-opératoire dans le cadre de la
prise en charge chirurgicale des pathologies aortique et iliaque
primitive : expérience d'un centre à haut volume**

Présentée et soutenue à huis clos le 03 juillet 2020 à 18 h 00
Au Pôle Recherche
Par Philippe MANFREDI

Jury

Président :

Monsieur le Professeur Jonathan SOBOCINSKI

Assesseurs :

Monsieur le Professeur Jean-Pierre PRUVO

Monsieur le Professeur Jacques CHEVALIER

Monsieur le Docteur François PONTANA

Directeur de Thèse :

Monsieur le Docteur Benjamin LONGERE

AVERTISSEMENT

La Faculté n'entend donner aucune approbation aux opinions émises dans les thèses : celles-ci sont propres à leurs auteurs.

ABBREVIATIONS

ABBREVIATION	DEFINITION
AAA	Anévrisme de l'aorte abdominale
AFCN	Agence fédérale de contrôle nucléaire belge
AJSR	Anévrismes juxta, para et supra-rénaux
AK	Air Kerma
ALARA	As low as reasonably achievable
AOAI	Artériopathie oblitérante aorto-iliaque
ASN	Autorité de sûreté nucléaire
ASP	Abdomen sans préparation
ATA	Anévrismes thoraco-abdominaux
AVC	Accident vasculaire cérébral
BEVAR	Branched endovascular aneurysm repair
Bq	Becquerel
C-arm	Arceau en C mobile
CBCT	Cone beam Computed Tomography
CIRSE	Cardiovascular and Interventional Radiological Society of Europe
CTDI	Computed tomographic dose index
DACS	Dose Archiving and Communication System
DE (ED)	Dose efficace (Effective dose)
EDP	Endoprothèse
ESR	European society of radiology
ETO	Echographie trans œsophagienne
ETT	Echographie trans thoracique
EVAR	Endovascular aneurysm repair
FEVAR	Fenestrated endovascular aneurysm repair
Gy	Gray
HAS	Haute Autorité de Santé
ICP	Institut Cœur Poumon
ICRP	International commission on radiological protection
IEC	Inhibiteurs de l'enzyme de conversion de l'angiotensine
IMC	Indice de masse corporelle
IPS	Indice de pression systolique
IRM	Imagerie par résonancemagnétique

IRSN	Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire
keV	Kilo-electron-volt
kV	Kilovolt
kVp	Peak kilovolt : kilovoltage maximal
mA	Milliampère
mAs	Milliampère seconde
MIP	Maximum intensity projection
MPR	Multiplanar reformation of reconstruction
NRD	Niveau de référence diagnostique
PACS	Picture Archiving and Communication System
PCI	Produit de contraste iodé
PDL (DLP)	Produit dose longueur (Dose length product)
PDS (DAP)	Produit dose surface (Dose area product)
PRI	Point de référence interventionnel
RAD	Réglage automatique du débit de dose
ROS	Reactive oxygen species
SFPM	Société française de physique médicale
Sv	Sievert
TEVAR	Thoracic endovascular aneurysm repair
TDM	Tomodensitométrie
TSA	Troncs supra aortiques
VGD	Valeur guide diagnostique
VR	Rendu volumique
Wr	Facteur de pondération radiologique
Wt	Facteur de pondération tissulaire
3D	Tridimensionnel
3DVR	3d volume rendering : Rendu volumique tridimensionnel

TABLE DES MATIERES

ABREVIATIONS	9
TABLE DES MATIERES.....	11
RESUME	12
I. INTRODUCTION.....	14
La maladie aortique et iliaque primitive	14
1) Anévrisme aortique et iliaque primitif	15
2) Artériopathie oblitérante à localisation aortique et iliaque primitive	16
3) Dissection aortique et iliaque primitive.....	17
4) Outils Diagnostiques	19
5) Outils Thérapeutiques	23
6) Outils de Suivi	29
Rayonnement Ionisant et Dosimétrie	37
1. Rayonnement Ionisant	37
2. Risques sur l'organisme	39
3. Dans la pathologie aorto-iliaque	42
a. Angioscanner	42
b. Arceau mobile (C-arm)	43
c. Salle Hybride	44
Radioprotection : Outils d'optimisation	46
1. Principes ALARA.....	46
2. Niveaux de Référence Diagnostiques.....	47
3. Dose Archiving and Communication System (DACS).....	54
Objectifs de l'étude	56
II. MATERIEL ET METHODES.....	57
1. Étude rétrospective observationnelle, descriptive et monocentrique.....	57
2. Estimation de la Dose Efficace	61
3. Equipements d'imagerie utilisant les rayons X.....	63
4. Analyse statistique	64
III. RÉSULTATS	67
1. Description de la population et des prises en charges.....	67
2. Étude de la Dose efficace cumulée du diagnostic à 18 mois post-opératoires au sein des pathologies aorto-iliaques.....	72
3. Indicateurs dosimétriques opératoires lors de la chirurgie principale	79
4. Étude de la fonction rénale et du produit de contraste iodé dans les pathologies aorto-iliaques.....	87
5. Étude des complications dans la prise en charge des pathologies aorto-iliaques ...	89
IV. DISCUSSION.....	91
V. CONCLUSION	108
BIBLIOGRAPHIE	109

RESUME

Objectif :

Analyser la dose efficace cumulée (DE) délivrée aux patients, de l'imagerie diagnostique à 18 mois post-opératoires, lors de la prise charge globale d'une pathologie aorto-iliaque primitive dans un centre à haut volume doté d'un DACS (Dose Archiving and Communication System) multi-modalité.

Méthodes :

Les patients présentant un anévrisme aortique, une évolution anévrismale de dissection de type B ou une artériopathie oblitérante aorto-iliaque primitive nécessitant une intervention plus de 24 heures après l'imagerie diagnostique étaient inclus dans une étude rétrospective, observationnelle, descriptive et monocentrique, au sein du CHU de Lille. Le recueil de données a été réalisé à l'aide de la solution DACS DoseWatch® (GE Healthcare Systems, Buc, France) et des dossiers patients informatisés. Le diagnostic, le type d'intervention et les indicateurs dosimétriques dont la DE ont été recueillis. Trois groupes diagnostiques ont été retenus : anévrisme abdominal et iliaque (AAA), anévrisme thoraco-abdominal (ATA) et artériopathie oblitérante aorto-iliaque (AOAI). La médiane, les 1^{er} et 3^{ème} quartiles de l'ensemble des données recueillies ont été calculés.

Résultats :

De janvier 2017 à juillet 2018, 314 patients ont bénéficié d'une prise en charge endovasculaire ou à ciel ouvert d'AAA (n : 219, 70%), d'ATA (n : 20, 6%) ou d'AOAI (n : 75, 24%). La DE cumulée globale du groupe AAA était de 44,8 mSv [28,8-76,8], avec une DE cumulée globale de 56,3 mSv [40,2-89,4] pour les AAA traités en endovasculaire et de 19,2 mSv [8,9-30,8] pour ceux traités à ciel ouvert ($p < 0,0001$). La DE cumulée globale du groupe ATA était de 85,1 mSv [70,8-115,5], avec une DE cumulée globale de 102,6 mSv [76,5-131,1] pour les ATA traités en endovasculaire et de 69 mSv [57,5-77,1] pour ceux traités à ciel ouvert ($p = 0,066$). La DE cumulée globale du groupe AOAI était de 14,2 mSv [9,8-26,9], avec une DE cumulée globale de 14 mSv [10-21,8] pour les AAA traités en endovasculaire et de 16,1 mSv [9,8-31,3] pour ceux traités à ciel ouvert ($p = 0,209$).

Conclusion :

Un suivi dosimétrique de référence d'un patient vasculaire lors de sa prise en charge globale ainsi que des niveaux de référence diagnostiques (NRD) locaux scanographiques et interventionnels selon les indications cliniques aorto-iliaques ont été établis. Notre centre appliquait les principes de radioprotection et les doses délivrées étaient inférieures aux NRD en vigueur.

I. INTRODUCTION

La maladie aortique et iliaque primitive

Les pathologies aortique et iliaque primitive sont principalement représentées par les anévrismes, l'athérosclérose oblitérante et les dissections artérielles.

La morbi-mortalité liée aux pathologies aortiques décroît de manière importante depuis les années 1990, concomitamment à l'essor des techniques endovasculaires (1).

Ces techniques étaient initialement réservées aux patients à risque chirurgical élevé mais les progrès constants du matériel, des techniques de pose et des opérateurs les ont progressivement imposées comme un traitement de choix des pathologies aortiques et iliaques (2–6).

Leurs principaux inconvénients résident dans la nécessité d'un guidage radiologique imposant l'utilisation de rayons X, dans l'utilisation de produit de contraste iodé (PCI) pour le rehaussement de la lumière vasculaire, ainsi que dans la nécessité d'un suivi post-opératoire radiologique à long terme.

La prise en charge de la pathologie aortique au 21^{ème} siècle permet donc une diminution importante de la morbi-mortalité péri-opératoire mais soulève de nouvelles problématiques notamment en termes de radioprotection du patient et de l'opérateur.

1) Anévrisme aortique et iliaque primitif

Un anévrisme correspond à une dilatation focale et permanente, responsable d'une perte du parallélisme des parois artérielles, supérieure à 1,5 fois le diamètre d'amont.

La localisation la plus fréquente est l'anévrisme de l'aorte abdominale sous rénale (AAA). Sa prévalence est de 1,3 à 8,9% chez les hommes de plus de 65 ans (sujets majoritairement touchés) et de 1 à 3% chez les femmes de plus de 65 ans (7).

Les anévrismes aortiques complexes incluent les anévrismes juxta, para et supra-rénaux (AJSR), ainsi que les anévrismes thoraco-abdominaux (ATA). Les AJSR et les ATA représentent respectivement 10 à 15% et 3% des anévrismes de l'aorte.

Les AAA sont un réel enjeu de santé publique, ils représenteraient la 13^{ème} cause de mortalité et la 3^{ème} cause de décès d'origine cardio-vasculaire (8). En cas de rupture d'anévrisme, le taux de mortalité est supérieur à 80% ; chez les patients arrivant vivants au bloc opératoire, celle-ci varie de 30 à 65% (9). En revanche la mortalité post-opératoire des interventions programmées varie de 1 à 8%.

Actuellement, en France il est indiqué de prendre en charge chirurgicalement et de manière préventive les anévrismes de l'aorte abdominale symptomatiques (douloureux, emboligènes), ainsi que les anévrismes asymptomatiques présentant un diamètre supérieur à 50-55 mm ou une croissance rapide de plus de 1 cm par an.

Chez la femme, présentant un risque de rupture supérieur et plus précoce, l'indication de traitement peut se discuter pour un diamètre inférieur à 50mm (10).

L'indication d'un traitement chirurgical est retenue pour les AJSR symptomatiques ou présentant un diamètre supérieur à 55 mm, et pour les ATA symptomatiques ou présentant un diamètre supérieur à 60 mm (11).

Concernant les anévrismes iliaques, l'indication d'un traitement chirurgical préventif se pose pour les anévrismes symptomatiques ou asymptomatiques présentant un diamètre supérieur à 30 mm.

Les anévrismes ne répondant pas encore à une indication chirurgicale sont surveillés par écho-Doppler, tous les 6 mois pour les anévrismes iliaques primitifs de 25 à 30 mm et pour les AAA de 40 à 55 mm et tous les ans pour les anévrismes iliaques primitifs <25 mm et pour les AAA < 40 mm.

2) Artériopathie oblitérante à localisation aortique et iliaque primitive

L'étage aorto-iliaque est un site précoce d'athérosclérose, se présentant généralement par un syndrome de Leriche chez des patients d'environ 50-60 ans avec un tabagisme important et une hypercholestérolémie (12–14).

Les lésions peuvent être de plusieurs types : sténose ou occlusion isolée des artères iliaques primitives, lésions plus ou moins étendues de la bifurcation aortique, sténose ou occlusion de l'aorte sous rénale, plus ou moins étendue aux iliaques primitives. Lorsque le diagnostic est effectué chez le sujet de 50 ans, les lésions sont généralement limitées à l'étage aorto-iliaque et le pronostic des membres inférieurs est rarement en jeu. Cependant certaines formes rentrent dans le cadre d'une maladie athéromateuse évoluée, associant des lésions ilio-fémorales et/ou sous

inguinales chez des sujets plus âgés, présentant alors une symptomatologie d'ischémie critique et un risque d'amputation majeure.

L'oblitération aiguë de l'aorte sous rénale peut être d'origine cardio-embolique sur artère saine ou liée à une thrombose aiguë sur artères pathologiques avec sténoses pré existantes. La symptomatologie est brutale, douloureuse avec un déficit sensitivo-moteur étendu des membres inférieurs. Malgré une prise en charge adaptée, la morbi-mortalité reste importante, de l'ordre de 15 à 20% (15).

Les artériopathies oblitérantes aorto-iliaques (AOAI) chroniques sont souvent associées à d'autres lésions vasculaires significatives et asymptomatiques : une artère rénale : 15 à 30% des cas, au moins un tronc artériel viscéral : 34% des cas et carotidienne : 8 à 12% des cas (16–19).

L'indication chirurgicale est retenue pour les ischémies permanentes ou en cas de claudications intermittentes invalidantes malgré un traitement médical et une réadaptation vasculaire optimaux.

3) Dissection aortique et iliaque primitive

Une dissection artérielle correspond à une rupture de l'intima, créant une porte d'entrée responsable d'un afflux de sang au sein de la média de l'aorte et aboutissant à un décollement intimo-médial. On observe alors la création d'un vrai et d'un faux chenal au sein de la lumière artérielle, séparés par un flap intimal.

La symptomatologie habituelle des dissections aortiques aiguës associe une douleur thoracique brutale dans un contexte hypertensif.

Chez les sujets âgés, le principal facteur de risque est l'hypertension artérielle, retrouvée dans près de 75% des cas (20). Les sujets de moins de 40 ans représentent 7% des dissections aortiques aiguës ; les pathologies du tissu conjonctif et notamment les maladies de Marfan et d'Ehler-Danlos sont au premier rang (21). Les antécédents familiaux au premier degré d'anévrisme ou de dissection aortique sont un facteur de risque important indépendant (22).

L'aorte thoracique est le siège privilégié des dissections, qui se distinguent en deux types anatomiques selon la classification de Stanford :

- Type A : toute dissection intéressant l'aorte ascendante
- Type B : toute dissection n'intéressant pas l'aorte ascendante

La dissection aortique peut s'étendre de façon antérograde (vers les axes ilio-fémoraux) et/ou rétrograde.

On parle de dissection aiguë si la durée des symptômes est inférieure à 14 jours, la dissection subaiguë correspond à une durée de 14 à 30 jours, et celle-ci devient chronique au-delà de 31 jours (23).

On note une prédominance masculine (2/3 de sexe masculin) et un âge moyen de 63 ans au sein des dissections aortiques aiguës (24–26).

L'évolution spontanée des dissections aortiques de type A est très péjorative avec plus de 80% de mortalité, tandis que la mortalité dans les 30 premiers jours des dissections de type B prises en charge dans un centre de référence est inférieure à 10% (27).

Les principaux risques des dissections aortiques aiguës sont la rupture aortique et les syndromes de malperfusion cardiaque, viscérale ou des membres inférieurs (26).

Leur évolution chronique se fait principalement vers la dilatation anévrysmale, avec une indication opératoire pour un diamètre de 55 mm ou une évolution rapide. Elles représentent près de la moitié des indications opératoires (28).

L'indication chirurgicale en urgence est retenue systématiquement pour les dissections de type A de Stanford chez les patients de moins de 80 ans, ainsi que pour toutes dissections de type B compliquées (rupture ou syndrome de malperfusion d'organe) ou associées à une hypertension artérielle réfractaire (résistante à une association de trois anti hypertenseurs dont un diurétique), à des douleurs réfractaires (résistante à un antalgique palier III) ou à un diamètre aortique initial supérieur ou égal à 55 mm (29).

En ce qui concerne l'atteinte de l'aorte thoracique descendante ou abdominale, non compliquée, avec ou sans extension aux artères iliaques, une approche conservatrice avec surveillance rapprochée clinique et radiologique est préférée.

4) Outils Diagnostiques

Les pathologies aortiques et iliaques reposent sur un diagnostic clinique qui nécessite une confirmation et une exploration par des examens para-cliniques.

L'examen de première intention dans les situations chroniques est l'écho-Doppler artériel pulsé et couleur, tandis que dans les situations d'urgence vitale l'angioscanner est d'emblée préféré.

Une fois le diagnostic établi par l'échographie, le bilan pré-opératoire nécessite un angioscanner afin d'évaluer l'ensemble des axes aortique et iliaques et réaliser le post-traitement des images scanographiques dans le but de poser l'indication

opérateur, choisir la meilleure option chirurgicale et produire des images de reconstruction 3D pour la fusion dans le cadre des prises en charge endovasculaires.

En dehors de rares exceptions, qui ne concernent pas la pathologie aorto-iliaque, l'acquisition scanographique se fait selon le mode hélicoïdal, permettant ainsi la reconstruction de l'ensemble du volume exploré au sein duquel des coupes d'épaisseur millimétriques peuvent être reconstruites dans les plans voulus. Des reconstructions multiplanaires curvilignes sont effectuées pour dérouler les vaisseaux sur toute leur longueur (30).

L'acquisition requiert une apnée et l'administration de produit de contraste iodé (PCI) afin d'opacifier les structures vasculaires et ainsi étudier la lumière circulante. Une acquisition au temps artériel de l'injection est nécessaire. Des acquisitions complémentaires sans injection et/ou au temps veineux permettent notamment d'étudier le rehaussement des viscères et des parois vasculaires.

Cet examen permet également de dépister les autres localisations de la maladie athéromateuse. Les fonctions cardio-vasculaire, respiratoire et rénale seront également explorées dans le cadre du bilan pré-opératoire.

En cas d'impossibilité d'administrer le PCI lors de l'examen scanographique, le plus souvent en raison d'une dégradation de la fonction rénale, une angiographie par résonance magnétique (angio-IRM ou ARM) peut permettre l'étude de la lumière circulante. Cet examen, qui peut être couplé avec la réalisation d'un scanner sans injection, nécessite l'injection d'un produit de contraste à base de chélates de gadolinium. Le même type de reconstructions qu'au scanner est possible lorsque l'acquisition est volumique. En raison de la durée de l'examen et de la disponibilité moindre de l'IRM, cet examen n'est pas adapté aux situations aiguës ou urgentes.

a. Anévrisme et Artériopathie oblitérante aortique et iliaque primitif

Le dépistage, le diagnostic et le suivi des anévrismes et des artériopathies oblitérantes aorto-iliaques reposent sur l'écho-Doppler, qui a pour objectif de préciser l'anatomie, le siège et l'aspect des lésions artérielles ; il évalue également le retentissement hémodynamique. Le dépistage précoce des AAA chez les hommes de plus de 65 ans par cette technique permettrait de diminuer la mortalité liée aux ruptures (31–34). L'analyse du signal doppler en regard de l'artère fémorale commune présente une sensibilité de 97%, une spécificité de 80% et une valeur prédictive négative de 96% pour le diagnostic des sténoses aorto-iliaques significatives (35,36).

Lorsque l'anévrisme présente une indication chirurgicale, l'étude pré-opératoire nécessite un angioscanner, qui s'étend des coupes diaphragmatiques aux bifurcations fémorales. Lors du bilan initial, une acquisition thoracique peut également permettre la recherche d'autres localisations anévrismales. Le choix de la prise en charge endovasculaire ou en chirurgie ouverte, ainsi que la conception et le choix du matériel endovasculaire reposeront alors sur l'analyse de cette imagerie.

La Haute Autorité de Santé (HAS) définit en 2008 les mesures préopératoires essentielles pour l'intervention endovasculaire et la confection des endoprothèses. Ces mesures sont les diamètres aortiques, l'angulation de l'aorte et des artères iliaques, le diamètre de l'ostium de chaque vaisseau cible et la distance entre chaque, ainsi que sa position sur les plans frontal et axial par rapport à l'aorte. Elles devront être effectuées à l'aide de logiciels spécifiques de post-traitement et les images devront être transmises sur CD-ROM et archivées dans un système numérique (PACS). En cas de contre-indication au scanner, l'angio-IRM peut être utilisée pour l'évaluation pré-opératoire.

b. Dissection aortique

Le diagnostic repose sur une imagerie en urgence.

Historiquement, l'angiographie était le gold standard pour l'exploration des dissections aortiques, mais celle-ci était invasive et pouvait être prise à défaut en cas d'hématome intra mural et de dissection non circulante (37). De nos jours, les techniques de choix pour le diagnostic et le suivi des syndromes aortiques sont les imageries en coupes, qui permettent un bilan exhaustif de l'ensemble des axes vasculaires et l'étude du médiastin et des coronaires.

Si le patient est instable, il bénéficiera d'une échographie transthoracique (ETT) et trans œsophagienne (ETO), qui objectivent le flap intimal. La porte d'entrée de la dissection aortique peut être identifiée à l'aide du doppler couleur. L'ETO peut être faite au lit du patient sous sédation et présente une sensibilité et une spécificité excellentes pour le diagnostic des dissections aortiques de type A, mais est moins performante pour les dissections aortiques de type B (38).

Si le patient est stable, il bénéficiera d'un angioscanner cervico-thoraco-abdominopelvien en urgence, ayant pour objectif de confirmer le diagnostic, de préciser les portes d'entrée et de réentrée, de dépister des complications éventuelles et de faire le bilan d'extension (39). L'angioscanner détecte des signes directs et indirects de dissection et présente une sensibilité > 90% et une spécificité > 85% dans le diagnostic et le bilan des dissections aortiques de type B (40,41).

Afin de permettre un suivi reproductible, les acquisitions de l'angioscanner sont standardisées avec une exploration aortique complète des troncs supra aortiques (TSA) jusqu'aux bifurcations iliaques (42). Les acquisitions sont synchronisées à l'ECG (gating cardiaque) et associées à une apnée pour s'affranchir des

mouvements respiratoires et des battements cardiaques, notamment en cas de dissection de type A. Les séquences comprennent une acquisition hélicoïdale sans injection sur l'aorte thoracique, à la recherche d'un croissant pariétal hyperdense, signant un hématome intramural. Dans un second temps, après un bolus artériel, une hélice thoraco-abdominale est effectuée et enfin une hélice abdomino-pelvienne pour rechercher une malperfusion digestive ou rénale et évaluer la perméabilité du faux chenal (30).

L'ARM pourrait être utilisée pour l'étude des dissections aortiques mais dans le contexte de l'urgence, la durée d'examen et la disponibilité de la machine sont un frein à son utilisation.

5) Outils Thérapeutiques

Toute pathologie aortique et iliaque requiert une prise en charge médicale optimale, qui repose sur le contrôle des facteurs de risque cardio-vasculaire.

La pérennité de cette prise en charge reposera sur l'observance du patient :

- Une hygiène de vie stricte par l'arrêt de toute intoxication tabagique, et la réduction d'un éventuel excès pondéral pour un objectif d'IMC < 25 kg/m²,
- Une réadaptation vasculaire pour lutter contre la sédentarité par une activité physique de plus de 150 minutes par semaine,
- Un contrôle et un équilibre strict d'un éventuel diabète,
- Une tri thérapie par statine, IEC et antiagrégant plaquettaire, pour contrôle d'une éventuelle dyslipidémie et/ou hypertension artérielle (43).

Malgré le traitement médical et une surveillance échographique adaptés, l'évolution de la maladie aortique et iliaque aboutira parfois aux indications de prise en charge chirurgicale.

Depuis les années 1980, les techniques endovasculaires se développent et les chirurgiens vasculaires voient dans ces procédés mini-invasifs une alternative permettant de diminuer les taux de morbi-mortalité, ainsi que les séjours hospitaliers (44–47).

Ces techniques endovasculaires reposent sur le guidage radiologique, par traitement numérisé de l'image avec un mode soustraction et une mémorisation des images. Ce guidage est réalisé à l'aide d'un amplificateur de brillance mobile au sein d'un bloc opératoire ou à l'aide d'un capteur plan intégré ou non au sein d'une salle hybride.

a. Anévrisme aortique et iliaque primitif

Le traitement de référence historique des anévrismes aortique et iliaque était la chirurgie conventionnelle ouverte par mise à plat de l'anévrisme et greffe prothétique, ayant pour but de rétablir de la continuité vasculaire. La morbi-mortalité de cette technique concède des taux de mortalité de 2 à 8% et des complications péri-opératoires pulmonaires, digestives, cardiaques ou rénales de l'ordre de 10% (48–50).

En 1991, le Dr Parodi traite pour la première fois un AAA par une exclusion endovasculaire, dès lors le développement des techniques et des endoprothèses vasculaires (EDP) n'a fait que croître pour prendre le pas, petit à petit, sur la chirurgie ouverte (51). L'efficacité de ces EDP est garantie par une anatomie

favorable et le respect des zones d'étanchéité en regard des collets proximal et distal.

Par rapport à la mise à plat-greffe traditionnelle, le traitement endovasculaire des anévrismes de l'aorte abdominale (EVAR) permet une diminution de la morbi-mortalité péri-opératoire et une réduction du temps d'intervention et des pertes sanguines (2,52–54).

En 2009, la HAS autorise l'extension des indications de première intention du traitement par EVAR à l'ensemble des patients présentant des critères anatomiques compatibles (55). Le respect de ces critères anatomiques est primordial, sous peine de s'exposer à des taux importants de complications et de ré interventions (56).

Sur le long terme et comparativement à la chirurgie ouverte, l'EVAR présente un taux de réintervention plus élevé du fait de la prise en charge des endofuites, complications propres à ce traitement (57,58).

En octobre 2008 et 2009, la HAS a également autorisé la prise en charge endovasculaire des anévrismes aortiques complexes juxta et supra rénaux ou thoraco-abdominaux (AJSR et ATA) et des anévrismes iliaques chez les patients non éligibles à la chirurgie ouverte et présentant une anatomie favorable. Ces anévrismes nécessitent la mise en place d'EDP plus complexes, dites branchées (BEVAR) ou fenêtrées (FEVAR), parfois conçues sur mesure, afin de garantir une zone d'étanchéité suffisante à l'exclusion durable de l'anévrisme ainsi que de maintenir la vascularisation des organes vitaux qui dépendent des branches de l'aorte. Les BEVAR sont majoritairement utilisées pour les ATA et les anévrismes iliaques, tandis que les FEVAR ont surtout une application pour les AJSR.

La HAS exige que de telles interventions, ne s'envisagent qu'au sein d'équipes pluridisciplinaires (chirurgicale et radiologique), ayant une pratique régulière de chirurgie et radiologie vasculaire (au moins 50 cas de restauration aortique anévrismale par an, dont au moins 15 par pose d'EDP aortique et avec un opérateur ayant une expérience minimale de 6 interventions pour la pose de FEVAR). Ces poses d'EDP devront se dérouler dans des salles hybrides, permettant le guidage radiologique et la possibilité de conversion en urgence (ruptures anévrismale ou iliaque). Ces salles doivent être équipées de matériel de cathétérisme, d'injecteur de produit de contraste et devront respecter les consignes de radioprotection (59).

En 2009, une revue sur les FEVAR objectivait une mortalité des AJSR de 1,4% à 30 jours, avec une incidence de dialyses définitives de 1,4% (60). Le taux de ré intervention des ATA traités par techniques endovasculaires est de l'ordre de 20% (61,62).

b. Artériopathie oblitérante aortique et iliaque primitive

La prise en charge historique de l'artériopathie oblitérante proximale est la chirurgie conventionnelle. Celle-ci est représentée par deux techniques principales : le pontage artériel et la thrombo-endartériectomie.

Les pontages artériels sont indiqués dans le cadre des lésions occlusives aortiques ou iliaques longues et multiples. Ils peuvent être anatomiques (aorto-iliaque, aorto-fémoral ou ilio-fémoral) ou extra-anatomiques (axillo-fémoral, croisé fémoro-fémoral), mais leur objectif sera toujours de remettre en charge le réseau d'aval de la lésion occlusive. Ils peuvent être réalisés par voies d'abord ouvertes (laparotomie, lombotomie, incisions inguinales), par coelioscopie ou par robot.

L'endartériectomie consiste à réséquer l'athérome obstructif de la lumière artérielle par abord direct et clampage en amont et en aval de la lésion. Une fois la plaque d'athérome retirée, l'artère est fermée par un surjet avec ou sans patch d'élargissement (prothétique ou allogreffe). Cette opération est indiquée en cas de lésions courtes avec des lits d'amont et d'aval de qualité et est essentiellement utilisée en regard des trépieds fémoraux et carotidiens, plus rarement pour l'aorte abdominale. La perméabilité à long terme est excellente, variant de 95 à 100% à 5 ans en fonction des études, avec une morbi-mortalité relativement faible (63–66).

Dans la claudication et l'ischémie permanente, l'angioplastie stenting iliaque présente un taux de succès initial de 90 à 100% et un taux de perméabilité à long terme de l'ordre de 90% à 5 ans, avec une durée d'hospitalisation, une convalescence et une morbi-mortalité moindre que pour la chirurgie conventionnelle (67,68).

La prise en charge endovasculaire percutanée, initialement limitée aux sténoses courtes, est devenue le traitement de première intention pour les AOAI (69–71). Elles pourront relever de la technique dite de la Tour Eiffel (un stent au sein de l'aorte distale et un stent dans chacune des artères iliaques primitives) pour les lésions aorto-iliaques ; d'une angioplastie stenting, uni ou bilatéral selon la technique du kissing pour les lésions iliaques primitives ; et d'une angioplastie avec ou sans stent pour les lésions iliaques externes. Les stents utilisés peuvent être nus ou couverts en fonction de l'aspect des lésions et de l'habitude des opérateurs. Ils seront plus volontiers en acier au sein des artères iliaques primitives et en nitinol au sein des iliaques externes.

La chirurgie hybride est également une solution thérapeutique couramment utilisée. Elle a pour principe d'associer un geste endovasculaire à un geste de chirurgie ouverte.

Le traitement médical et l'hygiène de vie, introduits avant le geste opératoire, doivent être maintenus à vie. Une double anti-agrégation plaquettaire est indiquée en cas de stenting ou d'utilisation de ballon actif. La pérennité du traitement chirurgical dépendra de l'éducation et de l'observance du patient au respect de ces consignes.

c. Dissection aortique

L'extension de la dissection aortique et le risque de rupture sont liés au débit cardiaque. Une prise en charge urgente, multidisciplinaire, dans un centre spécialisé et en soins continus est la règle. Elle repose dans tous les cas sur le traitement médical en urgence ayant pour objectif un contrôle tensionnel strict (systolique entre 100 et 120 mmHg) avec une fréquence cardiaque inférieure à 60 bpm afin de réduire le débit d'éjection systolique (72). La tension est maîtrisée à l'aide de bêta-bloquants à demi-vie courte, associé à des inhibiteurs calciques si nécessaire et à un contrôle de la douleur par antalgiques le plus souvent de paliers 3 (73,74).

Le traitement de référence historique est la chirurgie à ciel ouvert pour exclusion de la porte d'entrée par mise à plat de l'anévrisme et remplacement prothétique aorto-aortique. Il s'agit d'une chirurgie invasive, nécessitant une voie d'abord par thoracophréno-laparotomie sanctionnée par un taux de mortalité péri-opératoire variant de 5% à 33% et un taux de complications neurologiques (AVC, paraplégie) de 10 à 20% (75–80).

De nos jours, la prise en charge chirurgicale des syndromes aortiques de type B repose de plus en plus sur l'implantation d'EDP aortique (thoracique, TEVAR et/ou BEVAR, FEVAR) (81,82). L'objectif est de couvrir la porte d'entrée afin de ré-expandre le vrai chenal tout en favorisant la thrombose du faux chenal et de traiter des syndromes de malperfusion éventuels. En cas d'évolution anévrismale, l'objectif sera le même que pour tout anévrisme aortique, c'est-à-dire couvrir toute l'aorte anévrismale avec des zones saines d'étanchéité proximale et distale. Une protection médullaire est nécessaire en cas de couverture des artères radiculo-médullaires antérieures. D'après des séries rétrospectives, le taux de mortalité précoce post TEVAR serait de 5,3% à 13%, avec un taux d'ischémie médullaire variant de 0,8% à 3,4% et un taux de complication neurologique globale (AVC et ischémie médullaire) d'environ 4,5 % (83–92).

6) Outils de Suivi

En l'absence de complication, la chirurgie ouverte nécessite un suivi post-opératoire souvent limité à une consultation chirurgicale munie d'un examen échographique précoce. Hors complication, la suite du suivi est assurée par l'angiologue lors d'une consultation annuelle. Pour les techniques endovasculaires endoprothétiques, un suivi chirurgical et radiologique plus contraignant et à long terme est indispensable (55).

Ces calendriers de suivi scanographique évoluent vers une réduction des doses de rayonnements ionisants reçues par le patient.

Les équipes de centre de référence aortique préconisent l'alternance des examens scanographiques avec des contrôles échographiques et travaillent également à la mise en place de protocoles d'angioscanner qui tendent à limiter au maximum la dose délivrée au patient tout en conservant une image de qualité diagnostique selon le principe ALARA (as low as reasonably achievable soit une dose « aussi faible que raisonnablement envisageable » d'un point de vue diagnostique) (93,94).

Afin de respecter au mieux ce principe, le DACS (dose archiving and communicating system) est un outil qui permet d'assurer pour chaque patient un suivi dosimétrique longitudinal en archivant automatiquement les doses reçues pour chaque examen diagnostique ou interventionnel ayant recours aux rayonnements ionisants. Le DACS permet ainsi le calcul de la dose cumulée reçue par un patient sur une période donnée.

a. Anévrisme aortique et iliaque primitif

La chirurgie ouverte présente de très bons résultats sur la perméabilité à long terme et peu de ré intervention pour complications vasculaires et pariétales. La surveillance ne nécessite donc pas d'imagerie en coupes mais simplement des contrôles cliniques et échographiques. Le schéma habituel comprend une surveillance hospitalière post-opératoire de 4 à 7 jours, suivi d'une consultation de contrôle par son chirurgien entre 1 et 3 mois post-opératoires muni d'un écho-Doppler, puis d'un contrôle échographique à 6 mois qui devient annuel si aucune complication n'est retrouvée.

La HAS a publié en avril 2009 des recommandations pour les modalités de surveillance du patient porteur d'une EDP de l'aorte abdominale sous rénale (55). La surveillance du patient est obligatoire à long terme, le traitement ne peut être considéré comme complet si elle n'est pas réalisée. Cette surveillance relève de la responsabilité de l'opérateur selon un calendrier précis dont le patient aura été informé (55). Cette surveillance est clinique, biologique (fonction rénale) et morphologique (**Tableau n°1**) avec pour but de mesurer le diamètre du sac anévrismal et de dépister les principales complications à moyen et long terme, que sont les endofuites et les complications ischémiques.

Les endofuites correspondent à des défauts d'exclusion de l'anévrisme par l'EDP, permettant au flux sanguin d'expandre à nouveau l'anévrisme et ré exposant au risque de rupture (3). Elles sont classées en 5 catégories en fonction de leur mécanisme, la plus fréquente étant l'endofuite de type II, physiologique, qui correspond à une réinjection du sac par ses propres collatérales dont le sens de circulation est inversé (lombaires, mésentérique inférieure) (95).

Tableau n°1 : Suivi post-opératoire, recommandé par la HAS des anévrismes aortiques

Suivi HAS Anévrisme Aortique	Lors du 1er mois	à 6 mois	à 12 mois	tous les ans	Si Complication
ASP	à réaliser	à réaliser	à réaliser	à réaliser	
Angio scanner artériel et tardif	à réaliser	à réaliser	à réaliser	à réaliser	à réaliser en urgence
Angio IRM	si angio scanner non réalisable				
Echo-Doppler	si angio scanner et angio IRM non réalisables				

HAS : Haute Autorité de Santé ; ASP : Radiographie de l'abdomen sans préparation

Si un scanner est réalisé, l'ASP n'apporte pas d'information supplémentaire et n'est pas obligatoire. L'IRM ne permet pas le contrôle des EDP en acier, car les stents sont responsables d'artefacts rendant l'étude vasculaire impossible.

Ces recommandations HAS ont maintenant plus de 10 ans, le progrès du matériel, des imageries et des techniques endovasculaires, des techniques échographiques et l'expérience acquise par les centres aortiques de haut volume ont permis une adaptation de ce suivi selon les principes ALARA. Au sein du Service de Chirurgie Vasculaire du CHU de Lille, le suivi des EDP aortiques est codifié selon des protocoles garantissant une prise en charge optimale, une irradiation minimale et une sécurité de suivi conservée, détaillés dans les **Tableaux n°2 et 3**.

**Tableau n°2 : Suivi post-opératoire des EVAR et branchée iliaque du
CHU de Lille**

Suivi Lille EVAR, Branchée iliaque	Lors du 1er mois	à 6 mois	à 12 mois	à 2 ans	à 3 ans	à 4 ans	à 5 ans	Après 5 ans	Si Complication
ASP	à réaliser	à réaliser		à réaliser		à réaliser		à réaliser	
Angio scanner AP artériel et tardif	à réaliser si CBCT non effectué		à réaliser		à réaliser		à réaliser		à réaliser en urgence
Angio IRM	si angio scanner non réalisable								
Echo-Doppler de contraste	à réaliser	à réaliser		à réaliser		à réaliser		à réaliser	

*EVAR : Endovascular Aneurysm Repair ; ASP : Radiographie de l'abdomen sans
préparation ; AP : abdomino-pelvien ; CBCT : Cone Beam CT*

Tableau n°3 : Suivi post-opératoire des FEVAR du CHU de Lille

Suivi Lille FEVAR	Lors du 1er mois	à 6 mois	à 12 mois	à 2 ans	à 3 ans	à 4 ans	à 5 ans	Après 5 ans	Si Complication
ASP + Thorax	à réaliser	à réaliser						à réaliser	
Angio scanner TAP artériel et tardif	à réaliser si CBCT non effectué	à réaliser		à réaliser en urgence					
Angio IRM	si angio scanner non réalisable								
Echo-Doppler de contraste	à réaliser	à réaliser						à réaliser	

FEVAR : Fenestrated Endovascular Aneurysm Repair ; ASP : Radiographie de l'abdomen sans préparation ; TAP : thoraco-abdomino-pelvien ; CBCT : Cone Beam CT

En présence d'une endofuite, d'une détérioration de l'endoprothèse ou d'une évolutivité de l'anévrisme, un traitement correctif doit être discuté. S'il n'est pas jugé nécessaire, la surveillance doit être répétée 3 mois plus tard. La persistance ou l'aggravation de ces observations peut conduire à un traitement complémentaire. Leur stabilité ou leur disparition fait revenir à une surveillance selon le rythme mentionné ci-dessus.

L'écho-Doppler est réalisé avec ou sans produit de contraste et permet de suivre le diamètre et la perméabilité de la portion abdominale des anévrismes et des artères cibles. Cet examen aurait une sensibilité de 81% et une spécificité de 95% pour le diagnostic d'endofuite et l'utilisation de produit de contraste ultrasonore augmenterait sa sensibilité (96,97). Le produit de contraste ultrasonore est non néphrotoxique et repose sur une suspension de microbulles stables d'hexafluorure de soufre (SonoVue, Altana, Wesel, Allemagne). Les performances diagnostiques de l'écho-Doppler augmentent avec le perfectionnement des techniques et des appareils ainsi qu'avec l'expérience de l'opérateur et sont équivalentes à celles de l'angioscanner pour le suivi des anévrismes aortiques (98).

En cas de contre-indication au scanner, l'ARM peut être utilisée pour le suivi des EDP IRM compatibles. L'IRM peut également optimiser la détection d'endofuite, non visualisée à l'écho-Doppler ou au scanner, en cas d'extension du sac anévrismal.

b. Artériopathie oblitérante aortique et iliaque primitive

Les complications des techniques endovasculaires sont représentées par les complications au point de ponction (pseudo-anévrisme, hématome, fistule artério-veineuse, occlusion artérielle) et par les resténoses dues à l'hyperplasie myointimale post dilatation ou stenting.

Les complications des pontages sont représentées par les sténoses, les thromboses et les dilatations anévrismales anastomotiques, les pseudo-anévrismes, les fistules artério-veineuses et les collections (lymphocèles, hématomes).

Le patient est revu en consultation par son chirurgien à 1 mois post-opératoire, muni d'un écho-Doppler de contrôle. Les résultats cliniques sont évalués par le périmètre de marche, la douleur et la cicatrisation des troubles trophiques. Le contrôle écho-Doppler précoce a pour objectif de vérifier la perméabilité du montage ou de l'angioplastie, l'amélioration des flux d'aval et de dépister les complications post-opératoires éventuelles. Un suivi échographique par l'angiologue sera poursuivi à 3 et 6 mois puis de façon annuelle, en l'absence de complication.

L'angioscanner (ou l'ARM) est réalisé si une lésion est décelée à l'échographie.

c. Dissection aortique

Les dissections aortiques justifient d'une surveillance clinique et iconographique au long cours. Elle aura pour objectif de vérifier l'efficacité des traitements médicaux et chirurgicaux, ainsi que de détecter d'éventuelles complications ou évolutions nécessitant une reprise chirurgicale.

Dans les suites d'une TEVAR, les complications à surveiller sont :

- les endofuites, présentes dans environ 20% des cas et à l'origine d'un taux élevé de ré intervention (99,100).
- l'extension rétrograde de la dissection vers l'aorte ascendante, qui a le pronostic le plus défavorable avec plus de 40% de décès post-opératoire, mais une incidence faible d'environ 1.3% (101).
- les migrations, plicatures, et/ou collapsus (« birdpeak ») de matériel endoprothétique (102).
- les fistules aorto-oesophagienne ou respiratoire, qui sont rares mais sanctionnées d'une morbi-mortalité importante (103).

Les indications de reprise chirurgicale sont une extension de la dissection aortique, une évolution ectasiant de faux chenal supérieure à 22 mm ou une évolution anévrysmale aortique avec un diamètre supérieur à 55-60 mm (28). La rupture aortique représente 80% des décès (26).

Le patient bénéficie donc d'une consultation ainsi que d'une imagerie de contrôle à 1, 3, 6 et 12 mois post-opératoires, puis tous les ans en l'absence de complication (72). La surveillance médicale consiste à surveiller l'antalgie, le contrôle tensionnel et l'observance. La surveillance iconographique est de façon courante assurée par l'angioscanner, qui aura pour objectif d'évaluer la thrombose et l'involution du faux

chenal, de dépister d'éventuelles complications (extension de la dissection, thrombose de l'endoprothèse, malperfusion d'organe) et de mesurer les différents diamètres aortiques. Le suivi sera comparatif et implique la reproductibilité des mesures qui doivent être standardisées.

L'évolution du matériel endovasculaire tend à donner une place de plus en plus importante à l'IRM pour le suivi des dissections aortiques. Les nouvelles EDP sont constituées de nitinol, compatible avec l'IRM. Celle-ci étant non irradiante, elle a donc une place de choix pour le suivi des syndromes aortiques. Des mesures standardisées ont également été définies pour l'IRM (104). Elle sera donc privilégiée pour le suivi comparatif à 1, 3, 6, 12 mois puis annuellement (105).

Du diagnostic au suivi, en passant parfois par le traitement, le risque biologique lié à l'utilisation radio-chirurgicale des rayons X est donc à prendre pour le patient mais également pour les soignants (106,107).

Rayonnement Ionisant et Dosimétrie

1. Rayonnement Ionisant

Les rayonnements ionisants correspondent aux ondes électromagnétiques ou aux particules capables de créer des charges électriques ou des atomes au sein de la matière avec laquelle ils interagissent par transfert d'énergie avec le cortège électronique ou le noyau des atomes constituant la matière. L'atome ayant reçu un rayonnement ionisant atteint un niveau de haute énergie qui le rend instable. Le retour à l'état d'équilibre s'effectue par l'émission d'énergie sous la forme d'ondes électromagnétiques ou de particules qui peuvent à leur tour interagir avec les atomes avoisinants. Les différents rayonnements ionisants sont présentés dans le **Tableau n°4**.

Tableau n°4 : Rayonnements Ionisants

Rayonnements	Emissions
Alpha	d'un atome d'hélium
Bêta - et +	d'un électron ou d'un positon
Neutronique	d'un neutron
X	de photons depuis le cortège électronique
Gamma	de photons depuis le noyau

Des applications médicales, diagnostiques et/ou thérapeutiques, existent pour chacun de ces rayonnements.

Les ondes électromagnétiques utilisées pour la radioscopie, guidant les interventions endovasculaires, la radiographie standard et le scanner sont les rayons X. Ils sont produits par la collision d'électrons projetés à haute vitesse contre une

cible en métal au sein du tube radiogène. Les rayons X sont capables de traverser dans une certaine limite la matière, en particulier les tissus biologiques, en y déposant une partie de leur énergie. La différence entre l'énergie du photon incident et celle du photon sortant du volume traversé constitue la dose absorbée qui représente la quantité d'énergie transférée au tissu biologique (1 Gray = 1 Joule transférée/kg de tissu biologique).

L'énergie du photon sortant sera représentée graphiquement par une nuance de gris qui sera proportionnelle à son intensité. Elle dépendra de l'énergie du photon incident et du nombre d'interactions qu'il aura eu avec les tissus biologiques selon leur densité (**Tableau n°5**).

Tableau n°5 : Interactions des rayons X avec la matière

Interactions	Définitions
Aucune interaction	les rayons X traversent la matière sans interagir (probabilité très faible)
Diffusion Compton	les rayons X laissent une partie de leur énergie dans la matière et changent de direction. Production d'un électron qui interagit à son tour avec les atomes environnants.
Effet photoélectrique	l'énergie des rayons X est complètement absorbée par la matière puis est restituée sous la forme d'un photon

La diffusion Compton a pour conséquence de créer des rayons X qui ne proviennent pas du tube radiogène. Ils vont être responsables d'une dégradation de la qualité de l'image et d'une exposition du personnel soignant (dose opérateur) qui se situe pourtant en dehors de la trajectoire du faisceau incident.

2. Risques sur l'organisme

La dose déposée par les rayons X dans les tissus du patient est à l'origine d'effets biologiques :

- Des lésions d'un ou des deux brins de l'ADN des cellules les plus indifférenciées ou à mitose rapide (cellules souches ou hématopoïétiques, gamètes), responsables de dommages cellulaires directs. La sévérité de ces lésions est dans une certaine limite corrélée à la dose reçue : à faible dose les mécanismes de réparation de l'ADN restaurent ces altérations tandis qu'au-delà d'une dose-seuil la cellule entre en apoptose, les dommages ne pouvant être réparés.
- Des dommages cellulaires indirects, induits par une hydrolyse de l'eau dans la cellule, conduisant à la formation de radicaux libres (molécules hydroxylées). Ces radicaux libres vont se combiner afin de former des espèces réactives de l'oxygène (ROS : reactive oxygen species), qui vont se lier aux protéines, entraînant une perte de fonction et finalement l'apoptose (108).

Ces dommages cellulaires directs et indirects peuvent être responsables de manifestations cliniques. Ces effets biologiques peuvent être dose-dépendants ou aléatoires.

a. Effets dose-dépendants dits « Déterministes »

Les effets déterministes se manifestent lorsque la dose reçue dépasse un certain seuil. Ils sont par la suite proportionnels à la dose totale. Le premier seuil s'observe pour des doses supérieures à 2 Gy. Les manifestations cliniques seront d'abord cutanées, détaillées dans le **Tableau n°6** (109–111). Des lésions du cristallin (cataracte radio-induite) sont également constatées pour des expositions répétées sur de courte période (112,113).

Tableau n°6 : Lésions cutanées radio-induites (d'après (111))

Effet	Dose de seuil (Gy)	Délai d'apparition
Erythème transitoire	2	Quelques heures
Epilation temporaire	3	3 semaines
Erythème principal	6	10 jours
Epilation permanente	7	3 semaines
Desquamation sèche	10	4 semaines
Atrophie du derme	11	> 14 semaines
Télangiectasie	12	> 52 semaines
Desquamation humide	15	4 semaines
Erythème tardif	15	6 à 10 semaines
Nécrose	18	> 10 semaines

b. Effets aléatoires dits « Stochastiques »

Les effets stochastiques sont liés à l'altération de l'ADN et sont indépendants de dose reçue. Ils peuvent survenir pour de très faibles doses, mais ni leur gravité, ni leur survenue ne peuvent être prédites. Néanmoins la probabilité d'occurrence augmente avec l'exposition cumulée sur une vie pour le patient ou l'opérateur. Il est donc plus important lorsque les patients sont jeunes ou requièrent des examens

itératifs. Ils seront principalement responsables d'oncogénicité et de tératogénicité (106).

L'étude des catastrophes nucléaires japonaises a mis en évidence une augmentation de leur fréquence pour des doses supérieures à 100mSv. En-deçà de ce seuil, tous les modèles restent imprécis (114). Selon la Food and Drug Administration, une exposition de 10mSv lors d'un scanner serait associée à une augmentation d'incidence d'un cas de cancer létal pour 2000 patients examinés (115). En 2007, la Commission Internationale de protection radiologique (ICRP) proposait une estimation du risque de survenue d'effet stochastique à 5% par Sv reçu (116). Ce risque ne prend pas en compte l'espérance de vie du sujet exposé et paraît largement surestimé (117–119). Face à cette incertitude, les sociétés savantes préconisent l'utilisation de catégories de risque, résumées et mises en perspective avec des exemples de la vie quotidienne dans le **Tableau n°7**.

Tableau n°7 : Classification du risque d'effets stochastiques en fonction de l'examen effectué (d'après (111))

E (mSv)	Risque	Désignation	Exemples
< 0,1	< 10 ⁻⁶	Négligeable	Cliché du thorax en PA
0,1-1,0	10 ⁻⁵	Minime ou extrêmement faible	Cliché de l'abdomen
1,0-10	10 ⁻⁴	Très petit	CT de l'abdomen
10-100	10 ⁻³	Petit	CT multiphase, CTCA, coronarographie
> 100	> 10 ⁻²	Modéré*	Procédures interventionnelles complexes comme la recanalisation des artères coronaires
	6 10 ⁻⁸		Marche de 1 km
	7 10 ⁻⁵		100 km en voiture
	3,5 10 ⁻⁵		100 km en avion

E : Dose Efficace en mSv ; PA : postéro-antérieur ; CT : scanner ; CTCA : coroscanner

3. Dans la pathologie aorto-iliaque

a. Angioscanner

L'angioscanner tient un rôle prépondérant dans la prise en charge des pathologies aortiques et iliaques. Selon les protocoles de prise en charge de chaque centre, le patient réalisera un nombre variable de scanners durant la période péri-opératoire. Dans certains suivis, les scanners contribueront davantage à la dose totale que l'intervention elle-même, il est donc important d'optimiser la prise en charge pour réduire la dose cumulée.

Les équipements d'imagerie utilisant les rayons X offrent différents moyens d'optimiser la dose délivrée au patient :

- Dispositifs (grilles, filtres et diaphragmes) à la sortie du tube limitant le rayonnement diffusé et supprimant les rayons dont l'énergie est trop faible pour générer l'image mais contribue à l'augmentation de la dose.
- Réglage manuel ou automatisé de la très haute tension qui accélère les électrons projetés contre la cible productrice de rayons X. Du kilovoltage dépend l'énergie cinétique des électrons et donc celles des photons X générés (120). La dose délivrée varie avec le carré du kilovoltage : une augmentation de 20 kV double la dose délivrée en scanner.
- Réglage manuel ou automatique de la quantité de rayons X dépendant de l'intensité et de la durée du courant générant les électrons (charge en milliampères.seconde ou mAs). La dose est proportionnelle aux mAs.

L'impact des réglages des constantes scanographiques sur la dose et la qualité image est illustré dans l'exemple présenté au **Tableau n°8**. L'automatisation des réglages repose sur une estimation de l'épaisseur et de la densité globale du tissu à traverser estimées par les acquisitions en mode radio (topogramme ou scout view) dont l'objectif premier est de définir manuellement le volume d'exploration TDM qui devra être adapté à l'indication clinique afin de ne pas exposer les autres régions anatomiques sans justification.

Tableau n°8 : Dose délivrée selon les réglages du scanner (d'après (121))



Dose scanographique		-25%	-52%
Tension (kV)	120	120	100
Intensité (mA)	200	150	150
CTDIw (mGy)	22	16	10
PDL (mGy.cm)	490	368	234

La diminution du kilovoltage permet, en plus de diviser la dose par deux, d'améliorer le rehaussement du probable paragangliome par le produit de contraste iodé (flèche jaune).

b. Arceau mobile (C-arm)

Le C-arm est un arceau mobile, comprenant une source (un tube à rayons X) et un détecteur (amplificateur de brillance ou capteur plan). Les paramètres de scopie sont réglés sur le statif du C-arm et les images sont affichées sur l'écran d'un moniteur mobile raccordé au C-arm. Tous les C-arm sont équipés d'une cellule permettant le réglage automatique du débit de dose (RAD ou posemètre). Le RAD

assure un compromis idéal entre une bonne qualité d'image et un faible débit de dose.

Tout objet métallique ou dense doit être retiré du champ de détection, surtout s'il se projette sur le posemètre puisqu'il créera un surcroît d'épaisseur et de densité qui conduira à une augmentation de la dose (cela est également vrai pour le topogramme du scanner). De la même manière, la région d'intérêt devra être située au centre du champ de vue puisque c'est essentiellement dans cette région que la dose sera optimisée. La fluoroscopie pulsée doit être préférée à la scopie continue car elle limite le flou lié aux mouvements du patient qui n'est exposé que par intermittence.

Les C-arm sont tous équipés de diaphragmes, filtre et grilles anti-diffusion, qui réduisent l'exposition, limitent le rayonnement diffusé et augmentent le contraste et la qualité de l'image.

c. Salle Hybride

Conçue afin d'intégrer les systèmes d'imagerie médicale perfectionnés au sein d'une salle d'intervention chirurgicale, la salle hybride intègre un C-arm équipé d'un capteur plan dans un environnement de bloc opératoire. Elle permet de réaliser des interventions chirurgicales combinant des gestes de chirurgie ouverte conventionnelle à des procédures endovasculaires dans des conditions stériles optimales.

L'imagerie pré-opératoire peut être analysée et retravaillée à l'aide d'une station de travail et reliée au système de scopie. Les reconstructions en rendu volumique (VR) vasculaires et osseuses sont exportées vers le système de scopie. Elles sont

alors alignées par superposition aux repères anatomiques osseux sur les acquisitions radioscopiques. La navigation endovasculaire assistée par l'outil de fusion se fait en superposant un modèle 3D de l'arbre vasculaire sur les images de scopies dont l'affichage sera corrigé en temps réel selon la position du C-arm.

Enfin les salles hybrides disposent généralement de la technologie de CBCT. Ce contrôle par fluorographie rotationnelle tridimensionnelle avec ou sans injection de PCI permet d'obtenir des images à la manière d'un scanner. Il peut par exemple permettre un contrôle post-opératoire en fin de procédure pour s'assurer de la bonne position du matériel en fin d'intervention.

La généralisation des procédures endovasculaires a, de façon intrinsèque, augmenté l'utilisation des rayons X et de ce fait l'exposition des patients et des équipes soignantes.

La radioprotection s'est donc imposée comme un sujet central dans la pratique quotidienne des chirurgiens vasculaires, justifiant l'édification d'encadrements légaux, afin que celle-ci soit maîtrisée et appliquée par tout opérateur.

Radioprotection : Outils d'optimisation

1. Principes ALARA

Dès 1997, la directive européenne Euratom 97/43 déclare que toute utilisation de rayonnement ionisant à but médical doit pouvoir être justifiée vis-à-vis du risque biologique qu'il induit (122). Elle s'inspire du concept de balance bénéfice/risque développé en 1990 dans le domaine de l'imagerie médicale. L'objectif étant de réduire la dose le plus possible sans nuire à l'usage diagnostique ou clinique: ALARA (« As Low As Reasonably Achievable ») (123).

Ces principes s'appliquent à tous les utilisateurs de rayonnements ionisants :

- Réglage optimal des paramètres
- Installation du patient et choix d'un protocole adapté à l'indication clinique pour la dose la plus faible possible
- Respect des bonnes pratiques par l'opérateur : fluoroscopie en mode pulsé avec collimation resserrée sur la zone de travail,
- Distance récepteur-patient minimum, limiter les angulations et la magnification
- Équipements de protection individuelle (veste, jupe, thyroïde, lunettes), tablier de table, chars roulants, bouclier transparent,
- Formation réglementaire du personnel soignant, port des dosimètres actifs et passifs, distanciation maximale avec la source, signalétique en zone réglementée et en zone contrôlée

- Information au patient : risque du rayonnement ionisant, importance de l'immobilité et de la coopération durant les gestes sous anesthésie loco-régionale

Par la sensibilisation et la responsabilisation des opérateurs aux mesures de radioprotection, de grands progrès pour diminuer les risques biologiques liés aux radiations ont déjà été réalisés à tous les temps de la prise en charge du patient vasculaire (124) :

- Optimisation des protocoles d'angioscanner (125).
- Utilisation des salles hybrides équipées de la fusion inter-modalité et de la possibilité de contrôle CBCT pour l'interventionnel complexe (4,126–131).
- Suivi personnalisé et développement de l'écho-Doppler de contraste (132–140).

Ces évolutions ont été encadrées et incitées par les directives du réseau ALARA, appuyées par les recommandations européennes (141,142).

2. Niveaux de Référence Diagnostiques

Le terme Niveau de Référence Diagnostique (NRD) a été introduit pour la première fois en 1996 dans la publication 73 de la Commission internationale de protection radiologique (CIRP). Dès 2001, des conseils de bonne pratique étaient prodigués. Les NRD sont apparus dans le droit français en 2004 pour encadrer la médecine nucléaire et la radiologie diagnostique et interventionnelle (143).

Depuis 1996, leur définition et leurs valeurs sont établies et remises à jour régulièrement par l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN), basées sur les données dosimétriques recueillies auprès de l'ensemble des centres d'imagerie nationaux (144).

Les NRD sont un outil informatif efficace pour appliquer les principes ALARA dans les examens diagnostiques, mais pour la chirurgie et la radiologie interventionnelle les niveaux de référence sont encore mal définis. La France a proposé ses NRD nationaux en radiologie interventionnelle en juin 2017 (145).

Les niveaux de référence sont établis à partir d'étude dosimétrique multicentrique, en utilisant des indicateurs dosimétriques : le temps de scopie, le nombre total d'images, le Kerma dans l'air, le Produit Dose Surface, le Produit Dose Longueur et la Dose Efficace. Pour le scanner par exemple, les NRD sont déterminés en termes d'indice de dose de scanographie volumique (CTDIvol) et de produit dose longueur (PDL) pour un examen ne comprenant qu'une seule acquisition, et en PDL total pour l'examen complet.

La définition des NRD a été arbitrairement fixée comme correspondant au 3^{ème} quartile des doses relevées, qui est la valeur en dessous de laquelle se trouvent 75% des mesures.

En 2016, l'IRSN a décidé de compléter ce niveau de référence diagnostique du 75^{ème} centile, par une valeur guide diagnostique (VGD) du 50^{ème} centile (la médiane), afin d'encourager la volonté d'optimisation des doses, représenté par la **Figure n°1** (146).

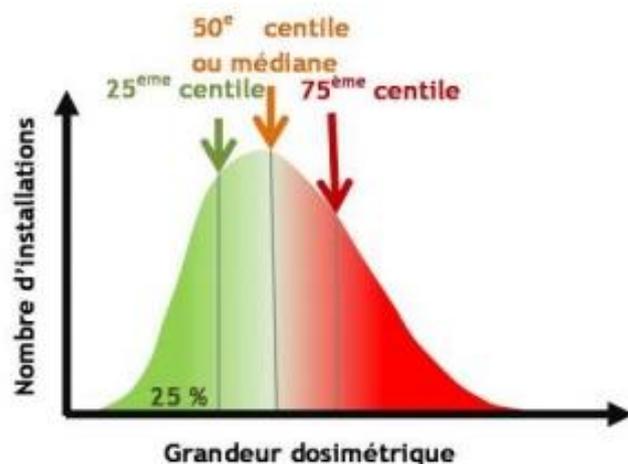


Figure n°1 : Définition des principaux indicateurs dosimétriques en termes de niveau de référence et de valeur guide diagnostique pour un type d'examen donné (d'après (146))

La médiane représente la valeur guide diagnostique vers laquelle il faut tendre tandis que le 75^{ème} centile définit le niveau de référence diagnostique.

Le Ministère des Solidarités et de la Santé a publié au Journal Officiel l'Arrêté du 23 mai 2019 qui valide la Décision n° 2019-DC-0667 de l'Autorité de Sûreté Nucléaire (ASN) du 18 avril 2019 relative aux modalités d'évaluation des doses de rayonnements ionisants délivrées aux patients lors d'un acte de radiologie, de pratiques interventionnelles radioguidées ou de médecine nucléaire et à la mise à jour des NRD associés, présentée dans les **Tableaux n°9 et 10** (147).

Le 28 avril 2020, l'IRSN a publié un bilan portant sur l'analyse des données dosimétriques transmises par les professionnels de l'imagerie médicale de 2016 à 2018. Il montre l'effet des mesures entreprises pour sensibiliser à la réduction de dose (148). Sur les 1175 installations de scanner, l'IRSN comptabilise un taux de participation de 85%. Par rapport aux analyses de 2013 à 2015, on constate une diminution de 12% des indicateurs dosimétriques (18% pour les scanners thoraciques et abdomino-pelviens). Les valeurs dosimétriques relevées sont mêmes inférieures aux NRD en vigueur depuis le 1er juillet 2019. Cette diminution de la dose

est imputée aux évolutions technologiques ainsi qu'à l'optimisation des protocoles, du fait de la sensibilisation des praticiens aux bonnes pratiques.

Les procédures interventionnelles présentent des variations de paramètres d'imagerie faisant d'elles un véritable défi pour la mise en place de références dosimétriques. Le produit dose surface (PDS) et l'énergie cinétique délivrée par unité de masse (Kerma) constituent des indicateurs de dose en temps réel fiables pour évaluer les risques stochastiques et déterministes (149,150). Ces paramètres sont désormais enregistrés et affichés sur les écrans du moniteur de contrôle.

Tableau n°9 : Niveau de Référence Diagnostique et Valeur Guide Diagnostique en vigueur depuis le 23 mai 2019 en scanographie chez l'adulte pour une acquisition (d'après (151))

Actes	Niveau de référence diagnostique		Valeur guide diagnostique	
	IDSV (mGy)	PDL (mGy.cm)	IDSV (mGy)	PDL (mGy.cm)
Encéphale	46	850	40	725
Sinus de la face	14	250	*	*
Thorax	9,5	350	7,5	275
Thorax-abdomen	11	550	9,5	475
Abdomen-pelvis	13	625	11	525
Thorax-abdomen-pelvis	11	750	9,5	650
Cœur (synchronisation prospective à l'électrocardiogramme (ECG))	26	375	18	325
Cœur (synchronisation rétrospective à l'ECG)	44	875	30	550
Rachis lombaire	28	725	23	625

* Pas de VGD pour ces actes

IDSV : Indice de dose de scanographie pondéré en mGy ; PDL : produit dose longueur en mGy.cm

**Tableau n°10 : Niveau de Référence Diagnostique et Valeur Guide Diagnostique
en vigueur depuis le 23 mai 2019 pour les pratiques interventionnelles
radioguidées chez l'adulte (d'après (151))**

Actes	Niveau de référence diagnostique		Valeur guide diagnostique	
	PDS (Gy.cm²)	Temps de scopie (min)	PDS (Gy.cm²)	Temps de scopie (min)
Coronarographie	38	6	21	4
Angioplastie des artères coronaires*	80	15	45	10
Artériographie cérébrale (trois axes ou plus)	105	13	65	8
Embolisation d'un anévrisme cérébral	190	58	130	37
Embolisation d'une malformation artério-veineuse cérébrale	285	68	170	45
Chimio-embolisation hépatique	240	27	115	18
Embolisation des artères bronchiques	135	38	70	25
Embolisation d'un fibrome utérin	130	29	55	20
Embolisation d'une hémorragie de la délivrance	295	25	170	15
Shunt porto-systémique intrahépatique (TIPS)	190	39	95	25
Drainage biliaire avec pose de prothèse, par voie transcutanée	45	18	20	11
Vertébroplastie (un étage vertébral)	60	9	30	6

* sauf pour occlusion totale chronique (OTC)

PDS : produit dose surface en Gy.cm²

a. Air Kerma (AK) :

Exprimé en mGy pour l'imagerie interventionnelle, l'AK dans cette application peut être assimilé à la dose absorbée par le patient. La dose est mesurée dans l'air en un point précis (le Point de Référence Interventionnel, PRI) situé à 15cm sous l'isocentre de rotation de l'arceau, représentant approximativement le point de

contact du faisceau avec la peau. L'AK peut être utilisé pour prévenir l'apparition de lésions cutanées chez le patient et une surveillance cutanée est nécessaire si l'AK dépasse 5Gy au cours de la procédure (152,153). La valeur de 10Gy est considérée comme critique et il est alors recommandé d'arrêter la procédure (154).

b. Produit Dose Surface (PDS)

Exprimé en Gy.cm², il représente la quantité d'énergie totale délivrée sur la surface correspondant à l'aire du faisceau incident (155). Le PDS est le produit de l'AK par la surface exposée. Les appareils d'imagerie interventionnelle délivrent une estimation du PDS et de l'AK. Une relation de proportionnalité directe entre la valeur du PDS et la Dose Efficace reçue par le patient a été démontrée. Le PDS augmente donc le risque stochastique.

Cette métrique est actuellement considérée comme la meilleure valeur objective dans l'établissement des NRD afin de comparer deux procédures.

c. Volume Computed Tomographic Dose Index (CTDI vol)

Exprimé en mGy, le CTDI vol est un indice dosimétrique, une estimation basée sur un fantôme (modèle standardisé), spécifique à la scanographie. Il estime la dose absorbée moyenne dans chaque coupe.

d. Produit Dose Longueur (PDL)

Exprimé en mGy.cm, le PDL représente le produit du CTDI vol (en mGy) par la longueur explorée (en cm).

Étant dérivé du CTDI vol, il s'agit également d'une grandeur estimée et non directement mesurée. Il s'agit néanmoins de la meilleure valeur objective dans l'établissement des NRD afin de comparer deux examens tomodensitométriques similaires.

e. Dose Efficace (DE)

Exprimée en Sievert (Sv), la DE représente l'impact d'un rayonnement ionisant délivré localement sur l'organisme entier. Elle correspond à la somme des doses équivalentes pondérées, délivrées aux différents tissus et organes du corps.

La dose équivalente (Sv) correspond à la dose absorbée par l'organisme et prend en compte le type de rayonnement ionisant (facteur de pondération radiologique W_r , valant 1 pour les rayons X). La pondération de la dose équivalente consiste à appliquer un facteur de pondération tissulaire (W_t) prenant en compte la radiosensibilité de chaque organe ou tissu, la somme de tous les W_t de l'organisme valant 1.

La DE est la grandeur de référence pour l'évaluation du risque stochastique, mais celle-ci ne doit être employée qu'à des fins de prévention et non de prédiction (156). Elle n'est pas mesurable directement mais peut être estimée à partir du PDS ou du PDL ou être calculée à partir de modèles statistiques de type simulation de Monte Carlo (plus satisfaisant mais demandant des ressources et temps de calcul incompatibles avec l'utilisation clinique) (157–161).

La CIPR3 recommande que la DE ne soit pas utilisée pour les calculs de risques individuels, mais elle est utile à l'échelle d'une population pour les estimations des risques où les incertitudes se répartiront sur la population (162).

f. Temps de Fluoroscopie

Exprimé en minutes, le temps de fluoroscopie est peu corrélé au risque biologique et n'est donc pas un bon indicateur de rayonnement ionisant (163). Il est en revanche utile et analysé lorsque le PDS dépasse le NRD, puisqu'il reflète essentiellement la complexité de la procédure.

C'est un indicateur des pratiques, permettant d'orienter les démarches d'optimisation (164,165).

3. Dose Archiving and Communication System (DACS)

Un DACS collecte et analyse les données dosimétriques provenant de tous types d'activités ayant recours aux rayonnements ionisants et permet le suivi de la dose reçue par les patients. Il met à disposition un échantillon significatif de patients pour un examen ou l'ensemble d'une modalité d'imagerie, augmentant la puissance des statistiques de dosimétrie (166).

Les outils analytiques proposés par le DACS renforcent la qualité des études comparatives et ainsi guident les opérateurs dans l'optimisation de la dose et dans le compromis délicat entre la qualité de l'image et la dose délivrée.

De plus, par l'automatisation du transfert des rapports dosimétriques vers le dossier du patient, le DACS permet le respect de l'obligation médico-légale de colliger les doses délivrées au patient au sein de son compte rendu.

En pratique, une telle solution logicielle permet aux radiologues de comparer l'utilisation de leurs appareils afin d'adapter leurs protocoles d'acquisition.

Le DACS est aujourd'hui un outil utile à la qualité de la prise en charge diagnostique et interventionnelle radiologique et chirurgicale des patients et permettra probablement à terme de réduire significativement les doses reçues par le patient et l'opérateur (166–169).

Le CHU de Lille dispose du DACS DoseWatch® (GE Healthcare Systems, Buc, France) relié au scanner de l'Institut Cœur Poumon (ICP) et au bloc opératoire en salle hybride.

Il s'agit d'un logiciel de management de la dose délivrée permettant de collecter les données, de suivre les doses et de générer des comptes rendus dosimétriques directement à partir des systèmes d'imagerie ou des PACS.

Il permet d'assurer la gestion de la dose de l'intégralité d'un centre afin de sensibiliser au suivi de la dose cumulée, d'optimiser le compromis entre qualité d'image et dose et d'assurer la conformité en matière de compte-rendu auprès de tous les intervenants (170).

Objectifs de l'étude

L'objectif principal de cette étude était d'évaluer la dose efficace cumulée délivrée aux patients, de l'imagerie diagnostique à 18 mois post-opératoires, quelle que soit la modalité chirurgicale, lors de la prise charge globale d'une pathologie aortique et/ou iliaque primitive (anévrisme, dissection ou maladie athéromateuse), dans un centre à haut volume doté d'un DACS multi-modalités.

Les objectifs secondaires étaient de déterminer les facteurs prédictifs augmentant ou diminuant le niveau de dose délivrée lors de la prise en charge globale et l'établissement de NRD locaux scanographiques et interventionnels par indication clinique afin d'anticiper les recommandations de l'IRSN qui se fonderont sur les travaux actuellement menés par la SFPM ou l'ESR.

II. MATERIEL ET METHODES

1. Étude rétrospective observationnelle, descriptive et monocentrique

c. Sélection des patients

Les patients traités plus de 24 heures après l'imagerie diagnostique, par chirurgie endovasculaire ou chirurgie à ciel ouvert, pour une pathologie aortique et/ou iliaque primitive au sein du CHU de Lille de janvier 2017 à juillet 2018 ont été inclus de façon rétrospective.

L'ensemble des données cliniques et radiologiques ont été collectées et analysées rétrospectivement, selon les caractéristiques des patients et des interventions effectuées.

- Les critères de non inclusion étaient :
 - Patients instables sur le plan hémodynamique
 - Femmes enceintes et allaitantes
 - Patient mineur, privés de liberté ou sous protection juridique (tutelle/curatelle)
 - Patient participant à une étude impliquant un protocole d'imagerie modifiant les pratiques habituelles
 - Patient non assuré social
 - Patient opéré hors du CHU de Lille

- Les critères d'exclusion étaient :

- Les patients présentant comme diagnostic principal :
 - une endofuite après EDP aortique

- une pathologie athéromateuse iliaque externe ou distale
 - un anévrisme de l'aorte thoracique ascendante ou de la crosse aortique
 - une pathologie urgente opérée dans les 24 heures suivant l'imagerie diagnostique
- Les patients étrangers
 - Les patients ne présentant pas de données disponibles au sein de leur dossier patient informatique

d. Origine et recueil des données

Le recueil rétrospectif a été effectué à l'aide d'une solution DACS multi-modalités (Dosewatch®, GE Healthcare Systems, Buc, France), qui collectait les données dosimétriques de façon prospective. Le logiciel Dosewatch®, ainsi qu'un serveur de stockage, ont été mis à disposition par le constructeur. Ce DACS est connecté à la salle hybride du Service de Chirurgie Vasculaire du CHU de Lille depuis 2012 et au scanner du Service de Radiologie Cardio Vasculaire du CHU de Lille depuis 2015.

Les doses reçues par les patients sur ces deux installations étaient également consignées sur les rapports d'examen. Pour les scanners et les opérations réalisés sur des installations non reliées au DACS ou hors du CHU de Lille, les doses étaient recueillies sur les comptes rendus opératoires et d'imagerie au sein du dossier patient informatisé ou sur les images DICOM chargées sur le PACS du CHU de Lille.

La dose délivrée en salle hybride a été calculée à partir du PDS (en mGy.cm²), fournie par le système d'imagerie. La corrélation entre ce PDS et la dose reçue par le patient a été vérifiée par des films radiochromiques (171). Le scanner indiquait l'exposition du patient en PDL (en mGy.cm). PDS et PDL étaient ensuite sommés

après conversion en Dose Efficace (en mSv), à l'aide de facteur de conversion admis par région anatomique.

Les données ci-dessous ont été recueillies par simple saisie et stockées au sein d'un fichier informatisé de type Excel (Microsoft Office Excel 2007, Microsoft Corporation, Albuquerque, NM, US) par un opérateur unique, protégé par un mot de passe.

- Après anonymisation, les données en rapport avec la pathologie aorto-iliaque ont été recueillies : l'âge, le sexe, l'IMC, le diagnostic, la créatininémie pré- et post-opératoire, les interventions principales (traitement de la pathologie initiale) et secondaires (gestes complémentaires, complications), les nombres et types d'examens d'imagerie, le nombre et types de complications.
- Pour chaque scanner, ont été recueillis : le centre d'imagerie, le modèle, le PDL total, la quantité de PCI en mg d'iode (mgl) et les différentes phases (sans injection, artérielle, veineuse et tardive)
- Pour chaque phase de scanner, ont été recueillis : la zone analysée, le CTDI vol, le PDL, l'épaisseur et l'espacement des coupes
- Pour chaque intervention, ont été recueillis : le type de geste chirurgical, le lieu, la durée d'intervention, le PDS, le KA, la durée de fluoroscopie, le nombre de CBCT, la quantité de PCI en mgl.

Pour chaque patient, l'ensemble des courriers, sur la période définie, présents au sein du dossier patient informatisé a été lu afin de dresser un recueil le plus exhaustif possible des complications post-opératoires et des examens d'imagerie réalisés.

Les patients étaient considérés comme perdu de vue, s'ils ne s'étaient pas présentés à leur consultation de contrôle de chirurgie vasculaire.

Le décès était confirmé par un courrier d'un médecin extérieur au sein du dossier patient informatisé ou par le registre administratif du CHU de Lille.

Les données relatives aux radiographies conventionnelles et les coronarographies pré et post-opératoires n'ont pu être recueillies, du fait de l'absence de rapports dosimétriques.

e. Traitement des données

Les différentes pathologies ont été réparties selon une classification anatomique et étiologique en trois groupe diagnostique (172) :

- AAA regroupant les anévrismes abdominaux para, juxta et sous rénaux, ainsi que les anévrismes iliaques
- ATA regroupant les anévrismes thoraco-abdominaux et les évolutions anévrismales des dissections aortiques de type B
- AOAI regroupant les sténoses et occlusions aortiques et iliaques primitives

Le site de réalisation du scanner a été simplifié en 2 groupes, les scanners effectués à l'ICP et ceux hors ICP et les différentes zones anatomiques explorées par les scanners ont été classées en : cervico-encéphalique, thoraco-abdomino-pelvienne, thoracique, abdomino-pelvienne, membre inférieur.

Les interventions principales ont été réparties en trois groupes principaux :

- Chirurgie endovasculaire par endoprothèse aortique (EDP) comprenant les endoprothèses branchées et fenêtrées aortiques (FEVAR), les endoprothèses bifurquées aortiques (EVAR) et les endoprothèses branchées iliaques.
- Chirurgie endovasculaire par angioplastie (ATL)/stenting aorto-iliaque comprenant les angioplasties et/ou stenting aortique et/ou iliaque primitive

- Chirurgie ouverte comprenant l'ensemble des pontages et des thrombo-endarterectomies aortique et iliaque primitif.

Le lieu de l'intervention a été classé en 2 groupes, au sein de la salle hybride de l'ICP et hors de la salle hybride et les complications ont été rassemblées en 17 groupes principaux selon leur étiologie et l'organe atteint.

La quantité de PCI a été calculée en mgl, à partir du recueil de la concentration en mgl/L et de la quantité injectée en mL durant l'intervention ou l'angioscanner.

La DE des scanners a été calculée en mSv, en pré et post-opératoire pour chacun des scanners à partir du PDL, et ensuite additionnée pour former la DE cumulée des scanners pré-opératoires, la DE cumulée des scanners post-opératoires et la DE cumulée TDM totale. La DE interventionnelle a été calculée en mSv, à partir du PDS de chaque geste chirurgical, et ensuite additionnée pour former la DE interventionnelle totale. Les DE TDM totale et interventionnelle totale ont été sommées pour obtenir la DE cumulée globale en mSv, correspondant à l'ensemble des pratiques ionisantes de l'imagerie diagnostique à 18 mois post-opératoire.

2. Estimation de la Dose Efficace

a. Dose Efficace interventionnelle

Pour notre étude, afin d'estimer la DE interventionnelle, on retenait le coefficient de conversion de $0,29 \text{ mSv}/(\text{Gy}\cdot\text{cm}^2)$ proposé par Suzuki et al. pour l'abdomen, que l'on appliquait au PDS recueilli (173).

b. Dose Efficace scanographique

Il est possible d'évaluer la DE, dans une région anatomique donnée, avec une méthode simplifiée à partir du PDL (157,158). Ce calcul nécessite l'utilisation de facteurs de pondération tissulaire (f) et s'exprime ainsi : $DE = f \times PDL$.

Ces facteurs de pondération (f) sont liés à la radiosensibilité tissulaire (Wt), et sont issus des publications n°60 et n°103 de la CIPR (162). Le **Tableau n°11** présente la radiosensibilité des différents tissus de l'organisme.

Tableau n°11 : Radiosensibilité Tissulaire (Wt)

Radio sensibilité tissulaire Wt	Organes
0,01 Wt	Cerveau, Peau, Glandes Salivaires, Surface Osseuse
0,04 Wt	Foie, Œsophage, Thyroïde, Vessie
0,08 Wt	Gonades
0,12 Wt	Côlon, Estomac, Poumon, Sein, Moelle Osseuse, Organes restants
1 Wt	Corps entier

Le **Tableau n°12** présente les facteurs de conversion du PDL en DE en fonction des régions anatomiques, comme il est préconisé dans les niveaux de référence diagnostic (174–176).

Tableau n°12 : Facteurs de conversion du PDL en Dose Efficace

	Tête	Tête et Cou	Cou	Thorax	Abdomen	Pelvis	Thoraco Abdomino Pelvien	Jambes
Facteurs de conversion mSv.mGy-1.cm-1	0,0021	0,0031	0,0059	0,014	0,015	0,015	0,015	0,0003

3. Equipements d'imagerie utilisant les rayons X

a. Interventionnel

Les interventions étaient pratiquées en salle de bloc opératoire conventionnelle pour la chirurgie ouverte et pour la chirurgie endovasculaire à type d'angioplastie avec ou sans stenting. Le contrôle scopique y était réalisé à l'aide d'un amplificateur de brillance (OEC 9900 Elite MD mobile C-arm, GE OEC MedicalSystems, Inc. Salt Lake City, UT, USA) associé à une console mobile.

Les interventions endovasculaires complexes à type d'EDP aortique et/ou iliaque étaient réalisées au sein de la salle hybride de l'ICP. Le contrôle scopique était réalisé à l'aide d'un capteur plan de dimension 30x30cm (Discovery IGS 730, GE Healthcare System, Buc, France), associé à une station de travail (Advantage Workstation, GE Healthcare, System, Buc, France).

L'utilisation des rayons X respectait scrupuleusement les principes ALARA. Les paramètres d'imagerie étaient réglés par défaut en basse dose, en fluoroscopie pulsée à 7.5 images par seconde. La fluorographie était utilisée le moins possible. Ces paramètres pouvaient être modifiés par l'opérateur s'il le jugeait nécessaire. La restitution de l'image sur des écrans de grande dimension limitait l'utilisation de la magnification. L'analyse et la reconstruction du scanner préopératoire permettaient de prédéfinir les angles de travail.

Le PCI utilisé était Omnipaque™ (300 mg I/ml, GE Healthcare, Carrigtohill, Irlande) ou Visipaque™ (320 mg I/ml, GE Healthcare, Carrigtohill, Irlande) si la fonction rénale était altérée (définie comme clairance de la créatinine < 60mL/min).

b. Tomodensitométrie

Les scanners effectués à l'ICP étaient réalisés sur un appareil SOMATOM Flash (Siemens, Healthineers, Forchheim, Allemagne). La modulation automatique de dose (CARE Dose-4D™) et du kilovoltage (CARE kV™) ainsi que le recours aux reconstructions itératives (ADMIRE™ : Advanced Modeled Iterative Reconstructions) étaient systématiquement utilisés.

4. Analyse statistique

a. Méthodes descriptives

- **Variables quantitatives**

Pour chaque variable quantitative, la valeur minimale, la valeur maximale, la moyenne, l'écart-type, la médiane et les 1^{er} et 3^{ème} quartiles ont été calculés.

L'utilisation de la moyenne et de l'écart-type était privilégiée pour décrire les variables ayant une distribution normale.

L'utilisation de la médiane et des quartiles était privilégiée pour décrire les variables pouvant présenter des valeurs extrêmes susceptibles de surévaluer la moyenne (doses efficaces, CTDI vol, PDL, PDS, Kerma, temps opératoires et temps de scopie) et n'ayant donc pas une distribution normale. Les niveaux de références étaient définis par l'arrondi au supérieur du 3^{ème} quartile de la distribution des indicateurs dosimétriques considérés pour chaque acte.

- **Variables qualitatives**

Pour chaque variable qualitative, les effectifs ainsi que la fréquence de chaque modalité ont été calculées. Les variables qualitatives telles que le diagnostic, le type d'opération, le type d'EDP ont permis des analyses bivariées en sous-groupes.

b. Méthodes inférentielles

Afin de comprendre s'il existait des relations entre les variables principales et les variables explicatives, et le cas échéant, de modéliser ces relations, les outils statistiques suivants ont été utilisés :

Pour tester si les distributions des variables principales différaient statistiquement selon les sous-groupes étudiés (pathologies, type d'opération, type d'EDP...) :

- En cas de distribution non normale :
 - En présence de deux sous-groupes seulement : le test non-paramétrique de Mann-Whitney permettait de comparer la répartition des rangs entre les deux groupes
 - En présence de trois sous-groupes ou plus : le test non-paramétrique de Kruskal-Wallis permettait de comparer la répartition des rangs entre les différents groupes
 - En présence de deux sous-groupes ou plus : le test de Mood permettait de comparer les médianes entre les différents groupes
- En cas de distribution normale : le t-test de Student permettait de comparer les moyennes entre deux groupes.

Pour modéliser les relations existant entre les variables principales et les variables leur étant corrélées :

- En présence d'une seule variable explicative qualitative : l'analyse des variances de type ANOVA.
- En présence d'une seule variable explicative quantitative : la régression linéaire simple.
- En présence de plusieurs covariables explicatives, qualitatives et quantitatives, et afin de mesurer les effets de chacune d'entre elles, toutes choses égales par ailleurs : l'analyse des covariances de type ANCOVA.

III. RÉSULTATS

1. Description de la population et des prises en charges

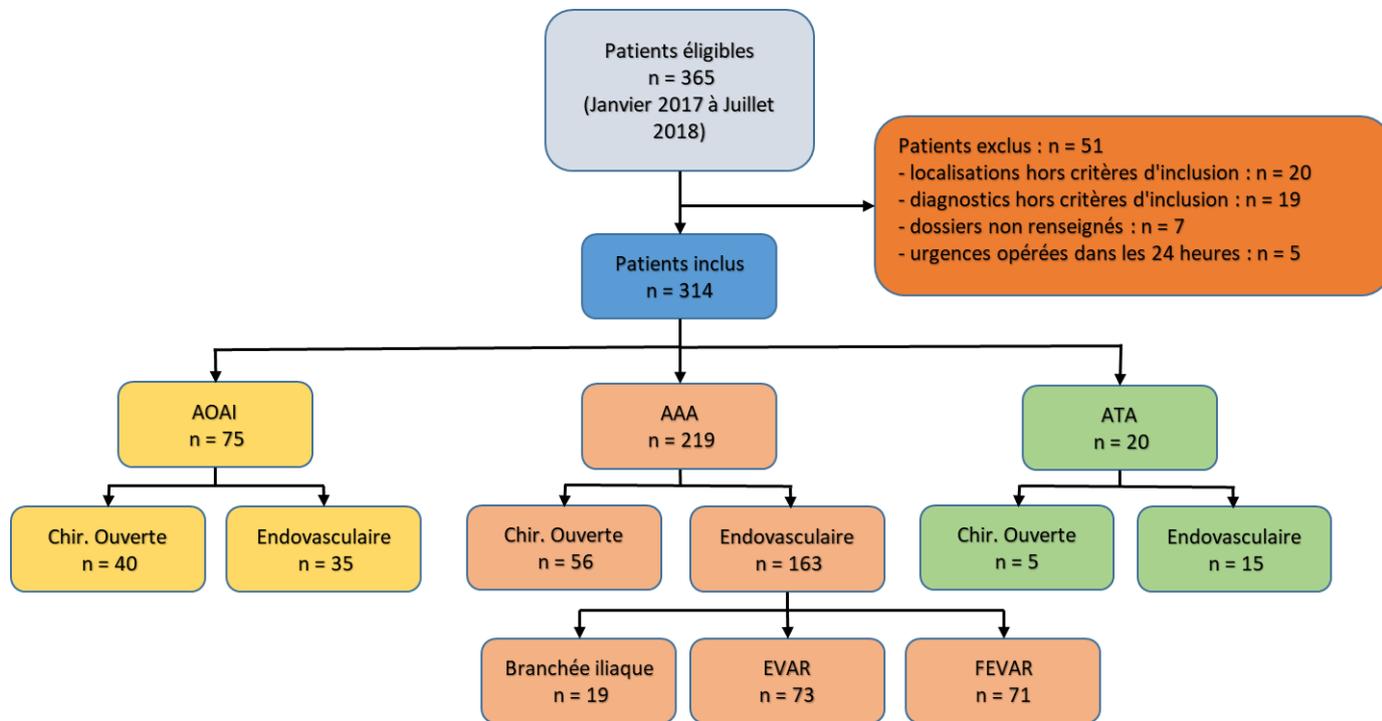


Diagramme n°1 : Flow chart de la population étudiée

De janvier 2017 à juillet 2018, 365 patients ont été inclus. Le **Diagramme n°1** présente leur répartition au sein de 3 groupes :

- AAA : regroupant les anévrismes abdominaux para, juxta et sous rénaux, ainsi que les anévrismes iliaques (n = 219 ; 70%)
- ATA : regroupant les anévrismes thoraco-abdominaux et les évolutions anévrismales des dissections aortiques de type B (n = 20 ; 6%)
- AOAI : regroupant les sténoses et occlusions aortiques et iliaques primitives (n = 75 ; 24%)

51 patients ont été exclus car ils présentaient soit une pathologie de localisation ou de diagnostic hors critères d'inclusion, soit des dossiers ne contenant pas les renseignements requis pour l'étude, soit une urgence opérée dans les 24 heures suivant l'imagerie diagnostique.

10 patients présentaient un ATA et 10 patients présentaient une évolution anévrismale thoraco-abdominale d'une dissection de type B. Ces derniers présentaient une localisation anatomique et une prise en charge chirurgicale semblables et ont donc été intégrés dans le groupe ATA.

a. Données démographiques

Le **Tableau n°13** présente les données démographiques et leur répartition dans les différents groupes.

Tableau n°13 : Données démographiques de la population

	n homme	n femme	âge	IMC
Aorto-Iliques	272 (86,6%)	42 (13,4%)	67,3 (± 9,6)	26,1 (± 4,6)
AAA	202 (92,2%)	17 (7,8%)	69,6 (± 8,5)	26,8 (± 4,5)
ATA	16 (80%)	4 (20%)	66,6 (± 12,1)	26,5 (± 4,1)
AOAI	54 (72%)	21 (28%)	60,9 (± 9,2)	24 (± 4,3)
Chirurgie Ouverte	81 (80,2%)	20 (19,8%)	64 (± 9,1)	24,6 (± 4,2)
Endovasculaire	191 (89,6%)	22 (10,4%)	68,9 (± 9,5)	26,8 (± 4,5)

n : nombre (pourcentage) ; âge et IMC exprimés en moyenne (± écart type)

La population traitée par chirurgie ouverte était significativement ($p < 0,0001$) plus jeune ($64 \pm 9,1$ ans) que celle traitée par chirurgie endovasculaire ($68,9 \pm 9,5$ ans). Le

groupe opéré pour AOAI était plus jeune que les groupes d'AAA ($p < 0,0001$) et d'ATA ($p = 0,026$). Il n'existait pas de différence significative entre l'âge des AAA et des ATA ($p = 0,143$).

L'IMC était plus élevé ($p < 0,0001$) dans la population traitée en chirurgie endovasculaire ($26,8 \pm 4,6 \text{ kg/m}^2$) que dans la chirurgie ouverte ($24,6 \pm 4,2 \text{ kg/m}^2$). On retrouvait également un IMC plus faible chez les AOAI par rapport aux AAA ($p < 0,0001$). Il n'y avait pas de différence significative entre les AAA et les ATA ($p = 0,982$) ou entre les AOAI et ATA ($p = 0,059$).

17 patients sont décédés (14 décès dans les AAA et 3 décès pour les AOAI), dont 7 du fait de leur pathologie vasculaire. Les 10 autres décès étaient dus à l'évolution d'une néoplasie sous-jacente.

Le nombre de perdus de vue sur les 18 mois post-opératoires était de 12 patients (9 pour les AAA et 3 pour les ATA). 85 sur 101 patients de chirurgie ouverte ont eu un suivi de 3 mois devant une évolution favorable post-opératoire ne nécessitant plus de suivi chirurgical.

b. Description des modalités d'imagerie

En pré-opératoire, 278 patients (88,8%) ont bénéficié d'un seul angioscanner, 25 patients (8%) ont nécessité deux angioscanners, 6 patients (1,9%) ont dû effectuer trois angioscanners et 4 patients (1,3%) ont réalisé une angio-IRM.

Le nombre d'écho-Doppler et d'angioscanners dans la population et par pathologie sont présentés dans le **Tableau n°14**.

Tableau n°14 : Nombres d'écho-Doppler post-opératoires et d'angioscanners pré, post-opératoires et totaux au sein de la population et par pathologie

	n Echo Doppler post-opératoire	n Angio scanner pré-opératoire	n Angio scanner post-opératoire	n Angio scanner total
Aorto-iliaques	3,7 (± 1,7)	1,1 (± 0,4)	1,4 (± 1,3)	2,5 (± 1,4)
AAA	3,6 (± 1,6)	1,1 (± 0,3)	1,6 (± 1,2)	2,7 (± 1,3)
ATA	3,3 (± 1,8)	1,5 (± 0,7)	2,9 (± 1,7)	4,4 (± 1,8)
AOAI	4 (± 1,6)	1 (± 0,4)	0,7 (± 0,9)	1,7 (± 1)

n : nombre moyen (±écart type)

c. Description des modalités interventionnelles

La prise en charge des patients était soit endovasculaire (n = 213 ; 68%) soit en chirurgie ouverte (n = 101 ; 32%).

Le lieu et le nombre total d'intervention par patient sont présentés dans les **Figures n°2 et 3.**

178 interventions (56,7%) ont eu lieu en salle hybride et 136 interventions (43,3%) hors salle hybride.

135 patients (43%) ont bénéficié d'un CBCT et 6 patients (1,9%) ont reçu deux CBCT.

Pour l'ensemble de la pathologie aorto-iliaque étudiée, le temps d'intervention était en moyenne de 138,3 ± 65,89 minutes, avec une durée de scopie médiane de 688 secondes [0-2131,5].

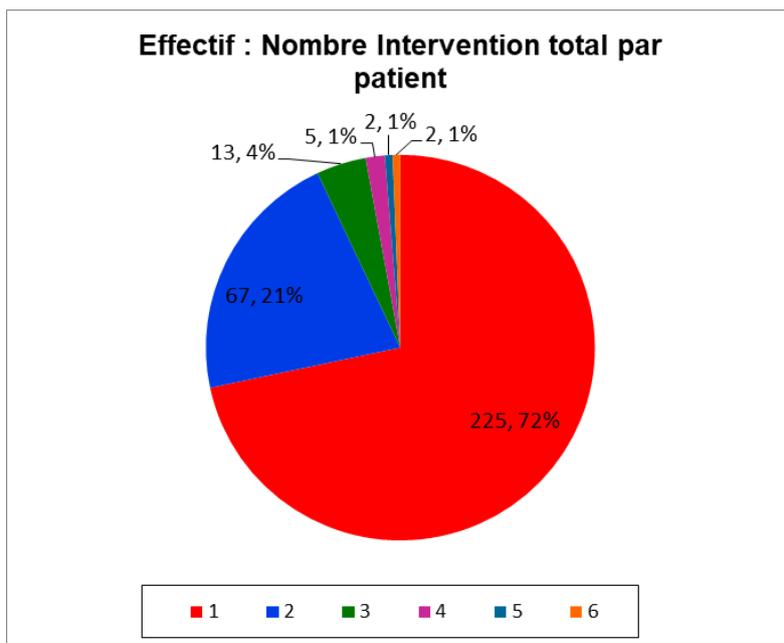


Figure n°2 : Nombre total d'intervention par patient

Légende de 1 à 6 correspond au nombre total d'intervention réalisé sur le suivi de l'étude. En exemple : 225 patients (72%) ont bénéficié d'une intervention

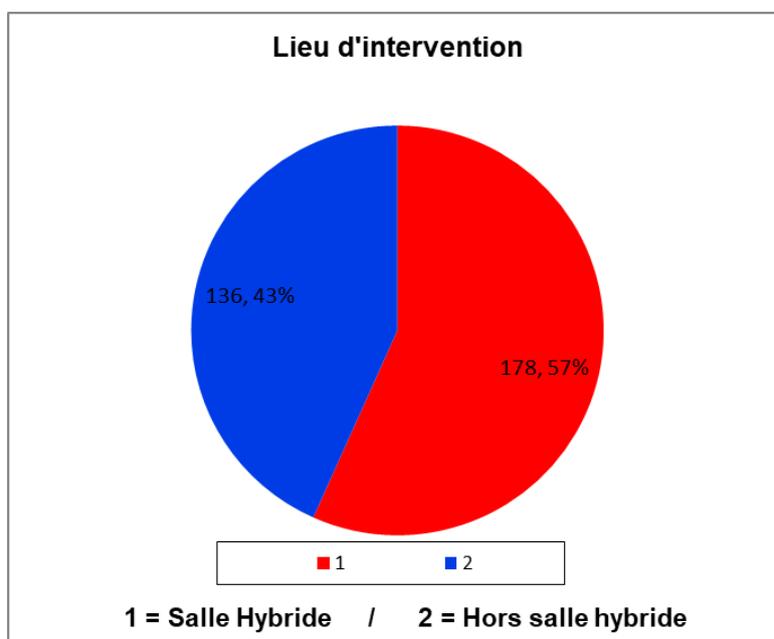


Figure n°3 : Lieu d'intervention

1 : intervention en salle hybride ; 2 : intervention hors salle hybride

2. Étude de la Dose efficace cumulée du diagnostic à 18 mois post-opératoires au sein des pathologies aorto-iliaques

Les doses efficaces cumulées sur les 18 mois péri-opératoires pour les patients pris en charge pour une pathologie aorto-iliaque sont présentées dans le **Tableau n°15**, selon le groupe pathologique puis selon la technique chirurgicale dont ils relevaient.

Tableau n°15 : Doses Efficaces cumulées globales (scanographiques et interventionnelles)

Dose Efficace cumulée mSv		Aorto-iliaque	AOAI			ATA			AAA			AAA Endovasculaire		
Intervention principale		Total	Total	Endo	Ouvert	Total	Endo	Ouvert	Total	Endo	Ouvert	Branchée Iliaque	EVAR	FEVAR
DE cumulée Globale	n	269	72	35	37	18	13	5	179	126	53	16	55	68
	1er Quartile	16.6	9.8	10.0	9.8	70.8	76.5	57.5	28.8	40.2	8.9	55.7	33.6	47.6
	Médiane	38.2	14.2	14.0	16.1	85.1	102.6	69.0	44.8	56.3	19.2	77.5	44.8	79.1
	3ème Quartile	70.9	26.9	21.8	31.3	115.5	131.1	77.1	76.8	89.4	30.8	84.8	72.2	108.6
DE cumulée interventionnelle	n	312	75	35	40	20	15	5	217	161	56	19	71	86
	1er Quartile	0.0	0	0.7	0.0	10.6	19.5	0.0	1.0	6.9	0.0	17.1	4.1	14.5
	Médiane	5.3	0.2	1.6	0.0	21.1	23.4	0.0	8.8	14.2	0.0	20.2	6.6	21.5
	3ème Quartile	17.9	1.8	2.9	0.0	33.8	34.2	0.0	19.8	23.0	0.0	31.1	11.4	33.3
DE cumulée Scanner Total	n	271	72	35	37	18	13	5	181	128	53	16	57	68
	1er Quartile	15.9	8.6	8.4	8.9	49.1	56.6	30.7	21.2	27.5	8.9	43.4	27.2	30.4
	Médiane	29.5	13.4	12.8	16.1	67.8	74.6	57.5	34.7	41.2	19.0	51.9	37.1	53.5
	3ème Quartile	53.0	24.6	19.6	31.3	85.2	91.1	69.0	57.8	64.1	30.8	61.0	60.3	78.7
DE cumulée pré-opératoire	n	282	72	35	37	19	14	5	191	138	53	16	64	72
	1er Quartile	7.8	6.7	6.8	6.7	12.2	13.4	8.0	8.0	8.7	6.7	11.5	8.4	9.5
	Médiane	11.9	9.2	9.1	9.6	21.2	20.0	21.3	12.3	12.9	11.0	16.8	13.1	13.0
	3ème Quartile	19.0	13.3	13.1	13.5	29.5	27.9	40.0	19.1	19.6	16.1	25.9	19.0	21.4
DE cumulée post-opératoire	n	300	75	35	40	19	14	5	206	150	56	18	65	81
	1er Quartile	5.2	0.0	0.0	0.0	22.0	26.5	18.3	10.2	14.0	0.0	26.6	12.8	16.6
	Médiane	17.1	0.0	0.0	3.1	47.7	51.1	24.9	19.2	26.1	0.0	29.0	18.6	35.4
	3ème Quartile	36.7	11.6	7.8	21.1	63.0	65.8	28.9	39.6	45.0	18.0	43.1	39.0	56.0

DE : Dose Efficace en mSv ; Endo : Endovasculaire ; AOAI : groupe artériopathie oblitérante aorto-iliaque ; ATA : groupe anévrisme thoraco-abdominal ; AAA : groupe anévrisme aorte abdominale

a. Dose Efficace cumulée en chirurgie ouverte et endovasculaire au sein de la population globale

Dans la pathologie aorto-iliaque globale, les modèles de régression linéaire mettaient en évidence une corrélation significative entre le fait de recevoir une prise en charge endovasculaire (DE cumulée : 61,4 [55,9-66,9] mSv) et celui de recevoir une dose efficace cumulée plus importante qu'en chirurgie ouverte (DE cumulée : 25,3 [17,8-32,7] mSv) ($p < 0.0001$). Ce surcroît de dose était estimé à 36,13 mSv [26,9-45,4].

Une corrélation significative ($p < 0.0001$) était également observée entre le traitement par endoprothèse par rapport à un traitement en chirurgie ouverte et le fait de recevoir une dose efficace cumulée plus importante, avec une augmentation en moyenne de 47 mSv [38,5-55,5], présentée dans la **Figure n°4**. En revanche, le traitement par ATL / Stenting n'est pas retrouvé comme significativement plus exposant au rayonnement ionisant ($p = 0,273$), présentée dans la **Figure n°5**.

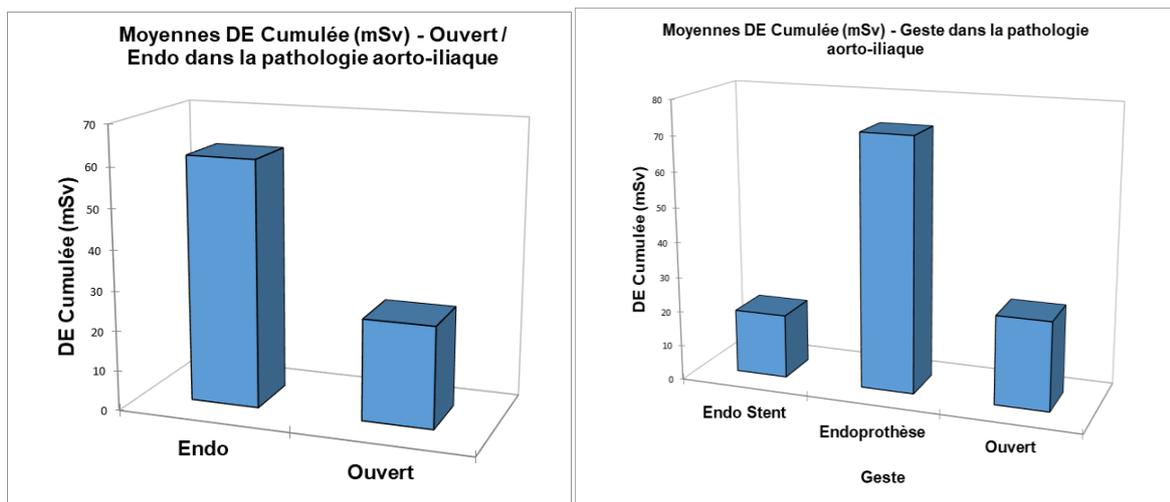


Figure n°4 et 5 : Doses Efficaces cumulées moyennes selon le type de geste chirurgical

DE : Dose Efficace en mSv ; Endo : Chirurgie endovasculaire ; Ouvert : Chirurgie à ciel ouvert

Parmi 130 patients ayant bénéficiés d'une EDP aortique, 109 (83,8%) patients se sont vu réaliser un CBCT per-opératoire, et 5 patients en ont reçu 2. Le surcroît de dose reçue (11,7 mSv [-7,5-31]) n'était pas significatif ($p=0,231$), présenté dans la **Figure n°6**.

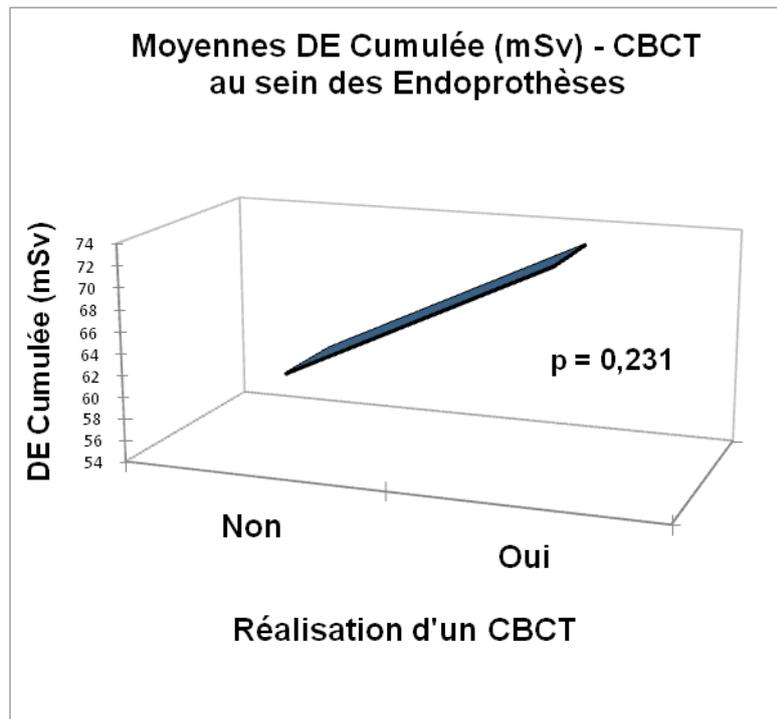


Figure n°6 : Dose Efficace cumulée au sein des endoprothèses aortiques avec ou sans réalisation d'un CBCT

DE : Dose Efficace en mSv ; CBCT : ConeBeam CT

b. Dose Efficace cumulée par groupe pathologique : AAA, ATA, AOAI

La DE cumulée du groupe AOAI était de 14,2 mSv [9,8-26,9]. Le groupe AAA (DE cumulée = 44,8 mSv [28,8-76,8]) était associé à un surcroît de dose de 34,36 mSv [24,6-44,2] ($p<0,0001$) et le groupe ATA (DE cumulée = 85,1 mSv [70,8-115,5]) d'une augmentation de 74,38 mSv [55,9-92,9] ($p<0,0001$), présentées au sein des **Figures n°7 et 8**.

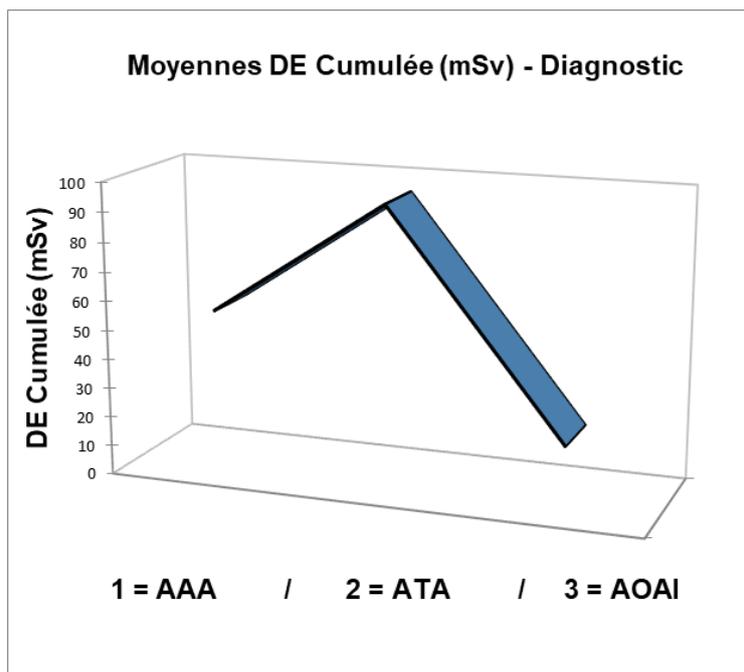


Figure n°7 : Dose Efficace cumulée par groupe pathologique

DE : Dose Efficace en mSv ; AAA : groupe anévrisme de l'aorte abdominale ; ATA : groupe anévrisme thoraco-abdominal ; AOAI : groupe artériopathie oblitérante aorto-iliaque

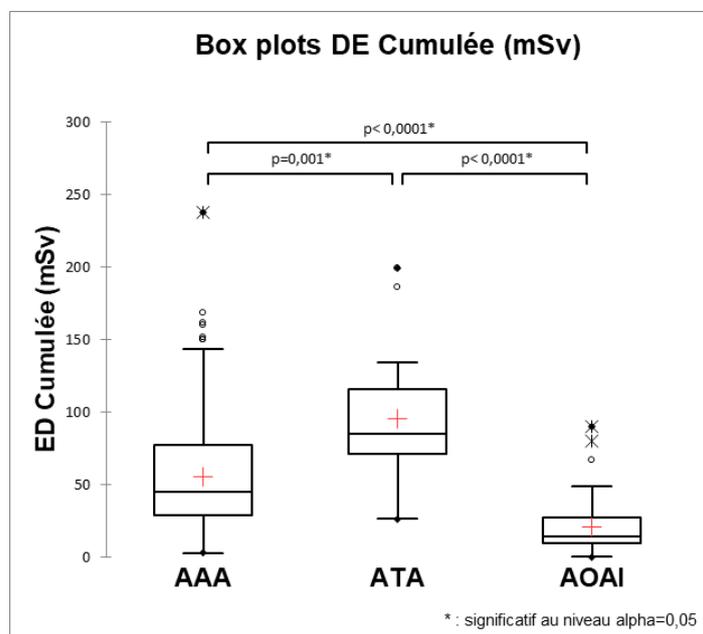


Figure n°8 : Dose Efficace cumulée comparée par groupe pathologique

DE : Dose Efficace en mSv ; AAA : groupe anévrisme de l'aorte abdominale ; ATA : groupe anévrisme thoraco-abdominal ; AOAI : groupe artériopathie oblitérante aorto-iliaque

c. Impact de la technique chirurgicale sur la Dose Efficace cumulée selon la pathologie

Dans la population des AAA, il existait une augmentation significative de 44,1 mSv [33,3-54,9] ($p < 0,0001$) de la DE cumulée (56,3 mSv [40,2 – 89,4]) chez les patients pris en charge en endovasculaire par rapport à ceux pris en charge en ouvert (19,2 mSv [8,9 – 30,8]). Il n'a pas été retrouvé de corrélation significative entre le type de chirurgie et la DE au sein des groupes ATA et AOAI ($p = 0,066$ et $p = 0,209$, respectivement).

d. Impact des événements péri-opératoires sur la Dose Efficace

Il existait une augmentation de la dose efficace cumulée d'environ 22,8 mSv [13,38 - 32,2] chez les patients ayant présenté au moins une complication post-opératoire quelle qu'elle soit ($p < 0,0001$), présentée dans la **Figure n°9**. La présence d'une endofuite de type 2 entraînait une hausse de 38,56 mSv [27,7-49,4] de la dose efficace cumulée ($p < 0,0001$), présentée dans la **Figure n°10**.

La présence d'une endofuite de type 2 augmentait de 0,9 [0,58-1,25] le nombre d'angioscanners post-opératoires ($p < 0,0001$). Cela se traduisait par un surcroît de 23,9 mSv [21,5-26,5] de la DE globale délivrée par angioscanner dans le cadre de la prise en charge ($p < 0,0001$), présenté dans la **Figure n°11**.

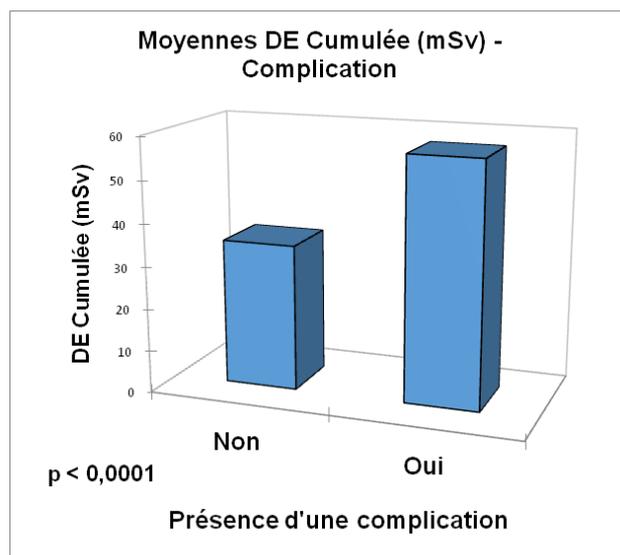


Figure n°9 : Impact de la présence d'une complication sur la Dose Efficace cumulée

DE : Dose Efficace en mSv ; Non : absence de complication ; Oui : présence d'au moins une complication

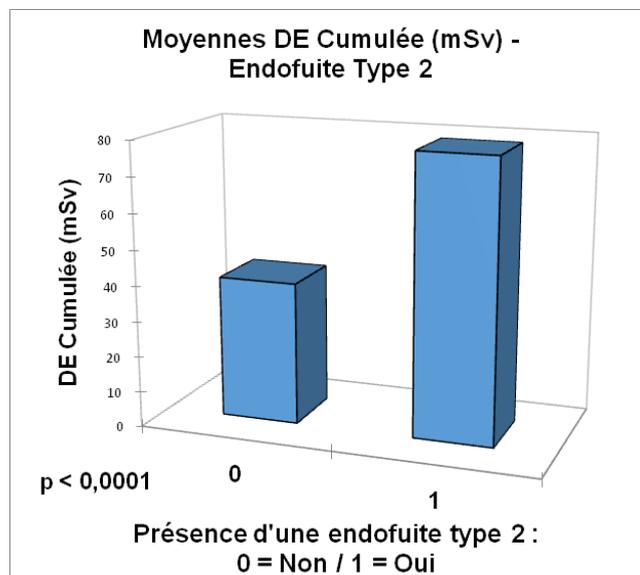


Figure n°10 : Impact de la présence d'une endofuite de type 2 sur la Dose Efficace cumulée

DE : Dose Efficace en mSv ; 0 : absence d'endofuite de type 2 ; 1 : présence d'une endofuite de type

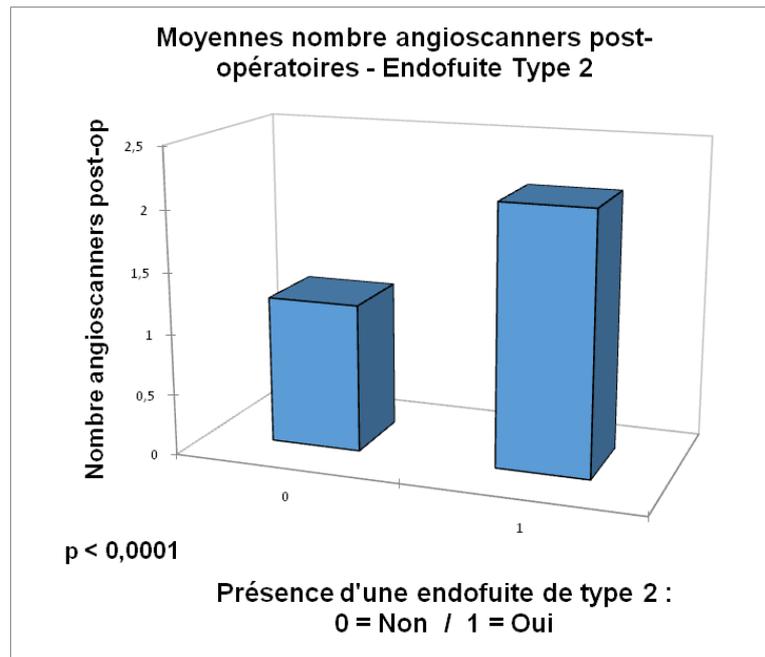


Figure n°11 : Impact des endofuites de type 2 sur le nombre d'angioscanners post-opérateurs

0 : absence d'endofuite de type 2 ; 1 : présence d'une endofuite de type 2

Le modèle de régression multivarié, présenté dans le **Tableau n°16**, démontre que les paramètres suivants sont responsables d'une augmentation de la DE cumulée :

- l'IMC : + 1,69 mSv (0,17-3,2 ; $p=0,029$) pour un point d'IMC,
- le temps d'intervention : + 0,083 mSv (0,031-0,136 ; $p=0,002$) par minute d'intervention (et non de scopie),
- le nombre d'interventions total : + 5 mSv (0,7-9,3 ; $p=0,023$) par intervention supplémentaire
- le nombre de complication : + 6,9 mSv (4,1-9,7 ; $p<0,0001$) par complication
- être pris en charge pour un ATA : + 29,5 mSv (17,1-41,9 ; $p<0,0001$) par rapport aux AAA

Tableau n°16 : Variation de la dose efficace cumulée en fonction de différentes variables explicatives

Pathologies Aorto-iliaques	Variation de la DE cumulée mSv	p	Borne inférieure (95%)	Borne supérieure (95%)
âge	-0,253	0,152	-0,600	0,094
IMC	1,686	0,029	0,173	3,199
temps intervention	0,083	0,002	0,031	0,136
n intervention total	5,008	0,023	0,702	9,314
n complication	6,925	<0,0001	4,141	9,708
sexe- homme	0,000			
sexe- femme	1,847	0,726	-8,502	12,196
AAA	0,000			
ATA	29,523	<0,0001	17,117	41,930
AOAI	-1,859	0,740	-12,877	9,160

IMC : Indice de Masse Corporelle ; Temps intervention en minute ; DE : Dose efficace en mSv ; AAA : groupe anévrisme de l'aorte abdominale ; ATA : groupe anévrisme thoraco-abdominal ; AOAI : groupe artériopathie oblitérante aorto-iliaque ; Lignes AAA et sexe-homme vides car prises arbitrairement comme références pour évaluer la variation de la DE

3. Indicateurs dosimétriques opératoires lors de la chirurgie principale

a. Intervention principale

La dosimétrie de l'intervention principale au sein de la pathologie aorto-iliaque globale est présentée dans le **Tableau n°17**.

Les interventions ouvertes ne présentaient pas de rayonnement ionisant per-opératoire, leurs temps d'intervention étaient en moyenne de $146,8 \pm 54$ minutes pour les AAA, $180,4 \pm 39,3$ minutes pour les ATA et $178,6 \pm 59,8$ minutes pour les AOAI. Il existait une différence significative entre les chirurgies d'AAA et d'AOAI

($p=0,016$), mais pas entre celles d'AAA et d'ATA ($p=0,212$) ou d'ATA et d'AOAI ($p=0,955$).

La durée d'intervention moyenne était de $161 \pm 57,6$ minutes pour les interventions ouvertes contre $127,4 \pm 66,9$ minutes pour l'endovasculaire ($p<0,0001$).

Parmi les interventions endovasculaires, on observait une différence significative entre les temps d'intervention en fonction de la pathologie avec un temps d'intervention moyen de $129,3 \pm 60$ minutes pour les AAA, $215,3 \pm 60,4$ minutes pour les ATA et $79,6 \pm 59,6$ minutes pour les AOAI ($p<0,0001$).

Tableau n°17 : Indicateurs dosimétriques de l'intervention principale au sein de la population globale

Pathologies Aorto-Iliques	PDS Gy.cm ²	Kerma mGy	Durée Scopie sec	Dose Efficace mSv
n	312	253	311	312
1er Quartile	0	0	0	0
Médiane	14.7	162.6	688.0	4.3
3ème Quartile	53.8	658.0	2131.5	15.6

PDS : Produit Dose Surface en Gy.cm² ; Kerma en mGy ; Durée de scopie en seconde ; Dose Efficace en mSv

La dosimétrie des interventions principales endovasculaires des AAA, ATA et AOAI est présentée dans le **Tableau n°18**.

Tableau n°18 : Indicateurs dosimétriques de l'intervention principale endovasculaire selon la pathologie

Interventions principales	AAA Endovasculaire				ATA Endovasculaire				AOAI Endovasculaire			
	PDS Gy.cm ²	Kerma mGy	Durée Scopie sec	Dose Efficace mSv	PDS Gy.cm ²	Kerma mGy	Durée Scopie sec	Dose Efficace mSv	PDS Gy.cm ²	Kerma mGy	Durée Scopie sec	Dose Efficace mSv
n	161	132	161	161	15	13	15	15	35	9	34	35
1er Quartile	22.7	226.0	827.0	6.6	53.9	518.0	2734.0	15.6	1.9	29.1	144.4	0.5
Médiane	42.4	552.4	1686.0	12.3	80.7	1089.8	3532.0	23.4	4.8	34.4	275.0	1.4
3ème Quartile	75.6	974.4	2763.0	21.9	116.6	1632.0	3852.0	33.8	8.1	116.8	720.8	2.4

AAA : groupe anévrisme de l'aorte abdominale ; ATA : groupe anévrisme thoraco-abdominal ;
 AOAI : groupe artériopathie oblitérante aorto-iliaque ; PDS : Produit Dose Surface en Gy.cm² ; Kerma en mGy ; Durée de scopie en seconde ; Dose Efficace en mSv

b. Focus sur la dosimétrie des AAA pris en charge en endovasculaire

La dosimétrie des interventions principales endovasculaires des AAA, réparties en EVAR, FEVAR et Branchée Iliaque est présentée dans le **Tableau n°19**.

Tableau n°19 : Indicateurs dosimétriques de l'intervention principale en fonction du type d'endoprothèse au sein des AAA

	EVAR				FEVAR				Branchée Iliaque			
	PDS Gy.cm ²	Kerma mGy	Durée Scopie sec	Dose Efficace mSv	PDS Gy.cm ²	Kerma mGy	Durée Scopie sec	Dose Efficace mSv	PDS Gy.cm ²	Kerma mGy	Durée Scopie sec	Dose Efficace mSv
n	71	51	71	71	86	76	86	86	19	18	19	19
1er Quartile	12.7	129.3	505.0	3.7	44.3	585.3	2222.3	12.8	44.8	419.3	1447.5	13.0
Médiane	21.8	203.0	780.0	6.3	69.7	893.5	2876.5	20.2	65.0	623.2	2343.0	18.8
3ème Quartile	35.0	298.3	984.5	10.2	111.1	1453.1	3589.8	32.2	84.5	840.1	2536.0	24.5

EVAR : Endovascular Aneurysm Repair ; FEVAR : Fenestrated Endovascular Aneurysm Repair ;
 PDS : Produit Dose Surface en Gy.cm² ; Kerma en mGy ; Durée de scopie en seconde ; Dose Efficace en mSv

Le temps d'intervention moyen était de $85 \pm 38,3$ minutes pour les EVAR, $177,8 \pm 53,2$ minutes pour les FEVAR et $147,3 \pm 50,7$ minutes pour les Branchées iliaques.

c. Indicateurs dosimétriques opératoires pour l'ensemble des chirurgies reçues (principale et secondaires)

Le rayonnement ionisant délivré pour l'ensemble des chirurgies endovasculaires (principale et complémentaires) est présenté dans le **Tableau n°20**.

Tableau n°20 : Doses Efficaces cumulées interventionnelles en fonction du diagnostic

Interventions Totales	DE interventionnelle mSv AAA Endo	DE interventionnelle mSv ATA Endo	DE interventionnelle mSv AOAI Endo
n	161	15	35
1er Quartile	6.9	19.5	0.7
Médiane	14.2	23.4	1.6
3ème Quartile	23.0	34.2	2.9

DE : Dose Efficace en mSv ; Endo : chirurgie endovasculaire ; AAA : groupe anévrisme de l'aorte abdominale ; ATA : groupe anévrisme thoraco-abdominal ; AOAI : groupe artériopathie oblitérante aorto-iliaque

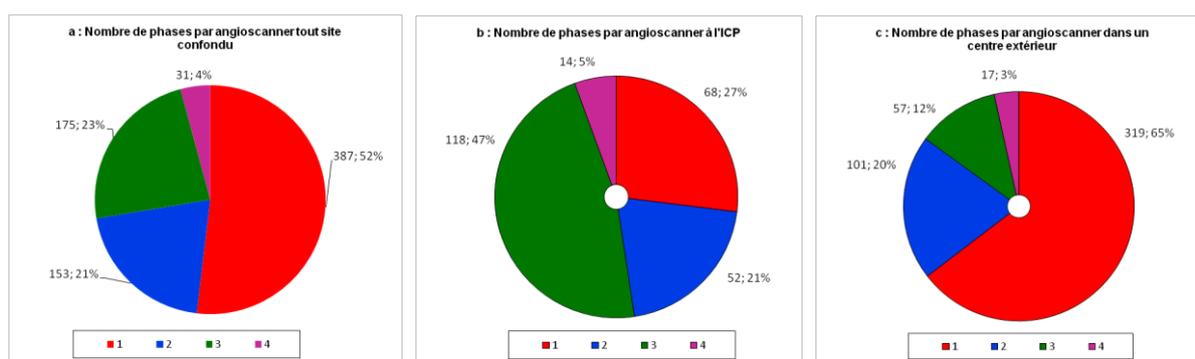
d. Indicateurs dosimétriques scanographiques

Au total, 792 angioscanners ont été recueillis [252 réalisés à l'ICP (32%) et 540 dans un centre extérieur (68%)]. Les scanners ont été réalisés dans 73 centres d'imagerie différents. Deux coro scanners ont été exclus de ce recueil par souci

d'homogénéité avec l'absence de recueil possible de la dose délivrée par coronarographie pré-opératoire.

À l'ICP, $2,3 \pm 0,9$ phases par scanner étaient réalisées en moyenne, tandis que dans un centre extérieur $1,5 \pm 0,8$ phases par scanner étaient acquises. Le nombre de phases par scanner en fonction du site est présenté dans les **Figures n°12**.

Figures n°12 a, b et c : Nombre de phase par scanner en fonction du site (a : tout site confondu, b : à l'ICP, c : hors ICP)



ICP : Institut Cœur Poumon ; Légendes de 1 à 4 représentent le nombre de phases effectuées lors d'un scanner

Les indicateurs dosimétriques en fonction du site de réalisation sont présentés dans le **Tableau n°21**.

Tableau n°21 : PDL et Dose efficace des angioscanners en fonction de leur site de réalisation

Scanner Total	Total			ICP			Extérieur		
	PDL Total mGy.cm	Dose Efficace mSv	Nombre Phases	PDL Total mGy.cm	Dose Efficace mSv	Nombre Phases	PDL Total mGy.cm	Dose Efficace mSv	Nombre Phases
n	750	750	746	252	252	252	498	498	494
1er Quartile	555,5	8,1	1	566,3	8,2	1	555,5	8,1	1
Médiane	845,8	12,7	1	887,5	13,3	3	839,3	12,4	1
3ème Quartile	1333,5	19,9	3	1485,0	22,3	3	1238,2	18,5	2

Lieu de réalisation du scanner : ICP : Institut Cœur Poumon ou Extérieur : centres hors ICP ; PDL :

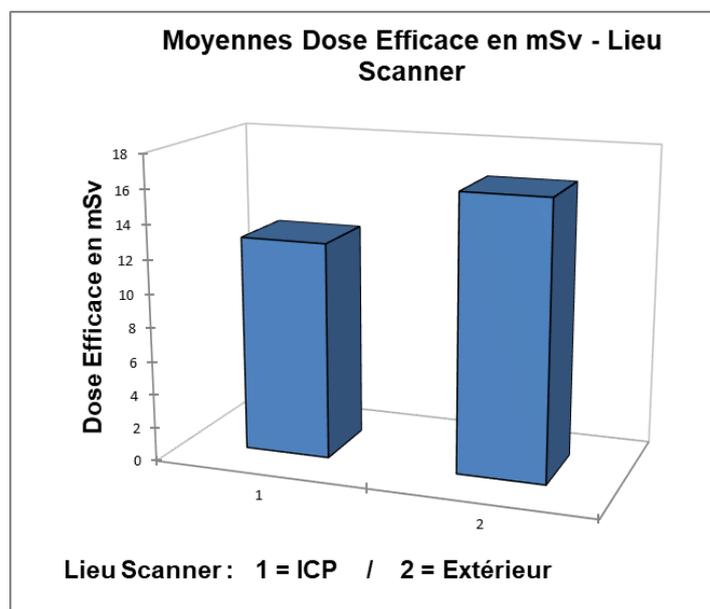
Produit Dose Surface en mGy.cm

Il existait une augmentation moyenne de 1,64 mSv (0,22–3,06) de la DE cumulée globale pour un angioscanner réalisé à l'ICP par rapport à un centre extérieur.

Néanmoins en ajustant le site de réalisation du scanner au nombre de phases acquises, on observait une corrélation significative ($p < 0,0001$) en faveur de l'ICP entre le fait d'effectuer un scanner dans un centre extérieur et l'augmentation de la DE et du PDL. En moyenne, pour un scanner effectué comprenant le même nombre de phases dans un centre extérieur, la DE était augmentée de 3,48 mSv (2,23–4,7), comme présenté sur la **Figure n°13**, et le PDL de 224,4 mGy.cm (143–305,9) par rapport à l'ICP.

Tout site confondu, le nombre de phases acquises ressort également significatif ($p < 0,0001$) avec une augmentation moyenne de la DE de 6,65 mSv (6–7,3) et du PDL de 435.36 mGy.cm (394,3–476,4) par phase supplémentaire.

Figure n°13 : Dose Efficace moyenne en fonction du centre de scannographie



Lieu de réalisation du scanner : 1 : à l'Institut Cœur Poumon (ICP) ; 2 : dans un centre hors ICP (Extérieur)

Les recueils des doses délivrées par les angioscanners au sein de la pathologie aorto-iliaque globale et des pathologies AAA, ATA et AOAI sont présentés dans les **Tableaux n°22, 23, 24 et 25.**

Tableau n°22 : Doses délivrées des angioscanners totaux dans le cadre de la pathologie aorto-iliaque du diagnostic au suivi post-opératoire à 18 mois

Aorto-Iliaque Angio Scanner	PDL Total mGy.cm	Dose Efficace mSv	CTDi Phase sans injection mGy	PDL Phase sans injection mGy.cm	CTDi Phase artérielle	PDL Phase artérielle	CTDi Phase veineuse	PDL Phase veineuse	CTDi Phase tardive	PDL Phase tardive
n	750	750	285	285	670	673	276	276	100	100
1er Quartile	555.5	8.1	6.6	321.1	5.3	385.5	6.2	307.9	5.9	231.1
Médiane	845.8	12.7	8.5	453.2	7.7	560.6	8.2	461.2	7.9	380.7
3ème Quartile	1333.5	19.9	11.5	622.8	11.2	754.4	10.9	644.9	11.9	587.8

PDL : Produit dose longueur en mGy.cm ; Dose Efficace en mSv ; CTDI : Computed tomographic dose index en mGy

Tableau n°23 : Doses délivrées des angioscanners totaux dans le cadre des AAA du diagnostic au suivi post-opératoire à 18 mois

AAA Angio Scanner	PDL Total mGy.cm	Dose Efficace mSv	CTDi Phase sans injection mGy	PDL Phase sans injection mGy.cm	CTDi Phase artérielle	PDL Phase artérielle	CTDi Phase veineuse	PDL Phase veineuse	CTDi Phase tardive	PDL Phase tardive
n	546	546	221	221	485	488	209	209	82	82
1er Quartile	600.9	8.7	7.1	339.0	6.0	368.1	6.3	308.0	6.2	231.4
Médiane	879.0	13.1	9.1	467.6	8.3	575.4	8.4	435.7	8.5	413.8
3ème Quartile	1367.1	20.5	12.4	650.0	11.9	770.2	11.5	650.4	12.0	591.7

AAA : groupe anévrisme aorte abdominale ; PDL : Produit dose longueur en mGy.cm ; Dose Efficace en mSv ; CTDI : Computed tomographic dose index en mGy

**Tableau n°24 : Doses délivrées des angioscanners totaux dans le cadre
des ATA du diagnostic au suivi post-opératoire à 18 mois**

ATA Angio Scanner	PDL Total mGy.cm	Dose Efficace mSv	CTDi Phase sans injection mGy	PDL Phase sans injection mGy.cm	CTDi Phase artérielle	PDL Phase artérielle	CTDi Phase veineuse	PDL Phase veineuse	CTDi Phase tardive	PDL Phase tardive
n	81	81	41	41	70	70	41	41	10	10
1er Quartile	546.7	8.2	5.3	256.0	6.2	428.0	7.3	452.1	5.7	236.5
Médiane	1157.2	17.4	6.8	387.7	8.4	564.5	8.2	549.1	6.1	334.9
3ème Quartile	1554.0	23.3	8.4	534.2	10.8	700.9	9.5	664.7	9.4	577.4

ATA : groupe anévrisme thoraco-abdominal ; PDL : Produit dose longueur en mGy.cm ; Dose Efficace en mSv ; CTDI : Computed tomographic dose index en mGy

**Tableau n°25 : Doses délivrées des angioscanners totaux dans le cadre
des AOAI du diagnostic au suivi post-opératoire à 18 mois**

AOAI Angio Scanner	PDL Total mGy.cm	Dose Efficace mSv	CTDi Phase sans injection mGy	PDL Phase sans injection mGy.cm	CTDi Phase artérielle	PDL Phase artérielle	CTDi Phase veineuse	PDL Phase veineuse	CTDi Phase tardive	PDL Phase tardive
n	123	123	23	23	115	115	26	26	8	8
1er Quartile	452.6	6.8	5.7	287.3	3.6	415.5	5.1	250.1	3.3	212.9
Médiane	643.0	9.6	6.7	377.3	5.2	521.2	6.7	384.2	5.7	272.1
3ème Quartile	887.5	13.3	9.7	554.6	7.7	704.0	9.0	599.0	7.1	341.7

AOAI : groupe artériopathie oblitérante aorto-iliaque ; PDL : Produit dose longueur en mGy.cm ; Dose Efficace en mSv ; CTDI : Computed tomographic dose index en mGy

La DE cumulée délivrée lors des explorations scanographiques était significativement plus élevée que celle délivrée lors des procédures chirurgicales, pour chacun des groupes de pathologie ($p < 0,0001$).

4. Étude de la fonction rénale et du produit de contraste iodé dans les pathologies aorto-iliaques

a. Utilisation du produit de contraste iodé dans les pathologies aorto-iliaques

Les quantités de PCI injecté lors de la prise en charge pré, per et post-opératoire des patients présentant une pathologie aorto-iliaque sont présentées en fonction des différents diagnostics dans le **Tableau n°26**.

Tableau n°26 : Quantité de Produit de Contraste Iodé injecté lors des prises en charge pré, per et post-opératoires du patient

	PCI mgI	Aorto- iliaque	AOAI	ATA	AAA	AAA		
						EVAR	FEVAR	Branchée iliaque
PCI Interventionnel	n	291	31	15	146	65	80	16
	Moyenne	16.6	15.3	35.0	26.2	19.7	32.7	28.5
	Ecart-type (n-1)	15.6	9.1	12.8	11.7	7.2	12.4	10.3
PCI Scanner Total	n	410	76	53	281	-	-	-
	Moyenne	38.6	37.9	39.5	38.5	-	-	-
	Ecart-type (n-1)	7.1	8.1	5.2	7.1	-	-	-
PCI Scanner pré-opératoire	n	144	40	17	87	-	-	-
	Moyenne	36.9	37.7	38.1	36.2	-	-	-
	Ecart-type (n-1)	8.7	9.0	6.3	9.1	-	-	-
PCI Scanner post-opératoire	n	266	35	36	195	60	114	24
	Moyenne	39.4	38.5	40.1	39.4	38.8	40	38.5
	Ecart-type (n-1)	6.3	6.9	4.5	6.5	7.5	5.7	4.4

PCI : Produit de Contraste Iodé en mg d'iode (mgI) ; AAA : groupe anévrisme de l'aorte abdominale ;

ATA : groupe anévrisme thoraco-abdominal ; AOAI : groupe artériopathie oblitérante aorto-iliaque

On observait une différence significative entre la quantité d'iode injectée lors des angioscanners pré et post-opératoires ($p < 0,0001$) avec une moyenne de $36,9 \pm 8,7$ mgl en pré-opératoire contre $39,4 \pm 6,3$ mgl en post-opératoire dans la pathologie aorto-iliaque globale. Que ce soit en pré / en post-opératoire, le groupe diagnostique n'influçait pas la quantité d'iode injectée (AAA vs ATA : $p = 0,222$ / $p = 0,257$; AAA vs AOAI : $p = 0,852$ / $p = 0,863$; ATA vs AOAI : $p = 0,247$ / $p = 0,433$).

b. Étude de la fonction rénale dans les pathologies aorto-iliaques

Sur les 314 patients, les variations de la créatininémie en pré-opératoire par rapport au zénith post-opératoire et à un mois post-opératoire ont pu être observées chez 235 patients et 260 patients, respectivement. Les patients ont alors été classés en stade d'insuffisance rénale selon la classification RIFLE (Risk, Injury, Failure, Loss, End-stage), avec une répartition présentée dans le **Tableau n°27**.

Tableau n°27 : Insuffisances Rénales aiguës post-opératoires précoce et à 1 mois dans la pathologie aorto-iliaque

	Stades RIFLE	Effectifs	%
Insuffisance Rénale Aigue	0	202	86.0
	1	28	11.8
	2	2	0.6
	3	3	1.6
Insuffisance Rénale à 1 mois	0	252	96.8
	1	7	2.9
	2	1	0.3

Le **Tableau n°28** n'établit pas de lien entre une insuffisance rénale et un type de pathologie ou l'utilisation de PCI durant l'intervention principale.

Tableau n°28 : Étude de l'insuffisance rénale post-opératoire en fonction de la pathologie, de l'IMC et de l'utilisation de PCI

Pathologies Aorto-iliaques	Variation stade d'insuffisance rénale	p	Borne inférieure (95%)	Borne supérieure (95%)
IMC	-0,060	0,102	-0,131	0,012
PCI mgi	-0,009	0,584	-0,041	0,023
AAA	0,000			
ATA	-0,741	0,200	-1,874	0,392
AOAI	-0,965	0,090	-2,081	0,152

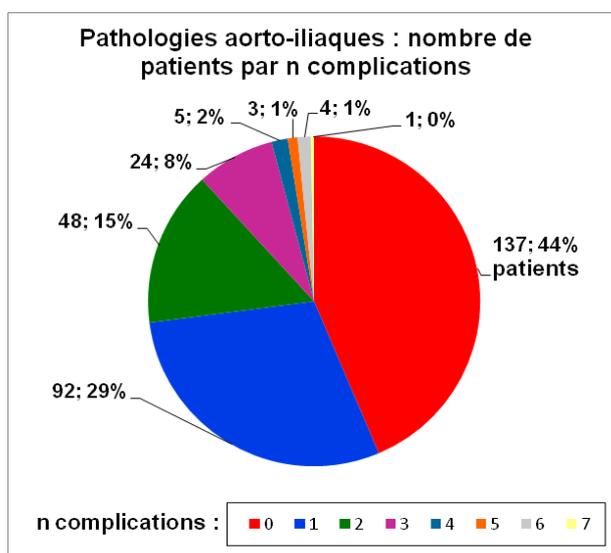
IMC : Indice Masse Corporelle ; PCI : Produit de Contraste Iodé utilisé pendant l'intervention principale ; AAA : groupe anévrisme de l'aorte abdominale ; ATA : groupe anévrisme thoraco-abdominal ; AOAI : groupe artériopathie oblitérante aorto-iliaque ; ATL : Angioplastie transluminale ; AAA présente une ligne vide car pris arbitrairement comme référence pour évaluer la variation du stade d'insuffisance rénale.

5. Étude des complications dans la prise en charge des pathologies aorto-iliaques

Sur 314 patients, 44 % n'ont présenté aucune complication et 56 % ont présenté au moins une complication. Le nombre de complication par patient est présenté dans la **Figure n°14**.

Les types de complication selon procédure et la répartition des patients par type de complication sont présentés dans le **Tableau n°29**.

Figure n°14 : Nombre de patients par nombre de complications



Légendes de 0 à 7 : nombre de complication

Tableaux n°29 : Nombre de patients ayant fait au moins une complication et répartition des patients par complication et pathologies

Complications	Aorto-iliaque	AOAI			ATA			AAA					
		Total	Ouvert	Endo	Total	Ouvert	Endo FEVAR	Total	Ouvert	Endo			
										Total	EVAR	FEVAR	Branchée Iliaque
Total Patient	314	75	40	35	20	5	15	219	56	163	73	86	19
≥ 1 complication	177 (56,3%)	35 (46,6%)	25	10	12 (60%)	3	9	130 (59,3%)	30	100	42	47	11
Endofuite 2	73 (23,2%)	0	0	0	2	0	2	71	0	71	37	25	9
Ischémique	50 (15,7%)	19	10	9	2	1	1	29	7	22	10	9	4
Digestive	32 (10,1%)	8	7	1	3	0	3	21	12	9	0	8	1
Rénale	29 (9,1%)	5	4	1	3	0	3	21	5	16	5	9	2
Infectieuse	26 (8,2%)	4	4	0	3	1	2	19	6	13	2	12	1
Respiratoire	22 (6,9%)	10	9	1	1	0	1	11	5	6	0	5	1
Scarpa	21 (6,6%)	9	6	3	2	0	2	10	2	8	2	5	1
Endofuite 1,3,4	14 (4,5%)	0	0	0	3	0	3	11	0	11	3	8	0
Cathéters	11 (3,5%)	3	3	0	4	0	4	4	4	0	0	0	0
Pariétale	9 (2,8%)	3	3	0	2	1	1	4	4	0	0	0	0
Décès	7 (2,2%)	2	2	0	0	0	0	5	2	3	0	3	0
Hémorragique	6 (1,9%)	4	2	2	0	0	0	2	0	2	0	2	0
Cardiaque	6 (1,9%)	2	2	0	3	3	0	1	0	1	0	1	0
Dissection	5 (1,6%)	0	0	0	0	0	0	5	2	3	0	2	1
Neurologique	3 (0,9%)	1	1	0	0	0	0	2	0	2	0	2	0
Fistule aorto-dig	2 (0,6%)	0	0	0	0	0	0	2	1	1	0	1	0
Allergie Héparine	1 (0,3%)	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

AAA : groupe anévrisme de l'aorte abdominale ; ATA : groupe anévrisme thoraco-abdominal ; AOAI : groupe artériopathie oblitérante aorto-iliaque ; EVAR : Endovascular Aneurysm Repair ; FEVAR : Fenestrated Endovascular Aneurysm Repair ; Endo : chirurgie endovasculaire

IV. DISCUSSION

a. Choix de l'indicateur dosimétrique

Dans cette étude, nous avons évalué comme objectif principal le rayonnement ionisant global délivré à un patient de l'imagerie diagnostique posant l'indication chirurgicale jusqu'à un suivi de 18 mois post-opératoire. Pour cela nous avons utilisé la dose efficace en mSv car il s'agit d'un indicateur dosimétrique permettant de sommer à l'aide de facteur de pondération des rayonnements ionisants reçus par une radiologie conventionnelle, par un scanner et par une imagerie interventionnelle. La DE a également été recommandée au niveau international par la commission européenne (rapport EC n°154) pour quantifier l'exposition d'une population aux rayonnements ionisants (159).

b. Recueil dosimétrique et mise en place de NRD locaux

Le recueil dosimétrique nous a également permis d'établir pour notre centre les niveaux de référence diagnostique scanographiques par indication clinique de la pathologie aorto-iliaque, ce que l'IRSN préconise sur son dernier bilan du 28 avril 2020.

Les NRD scanographiques actuels sont définis pour une région anatomique, mais selon les dernières études de l'IRSN, cette définition est jugée trop généraliste, car plusieurs protocoles d'imagerie correspondent à une même région anatomique en fonction de l'objectif clinique visé (l'étude de l'aorte abdominale ou le suivi d'un carcinome hépatocellulaire ne requièrent pas les mêmes paramètres ni les mêmes

protocoles d'acquisition) (148). En France et en Europe, des études sont actuellement en cours, dirigées par un groupe de travail de la Société Française de Physique Médicale (SFPM) et par l'European Society of Radiology (ESR), afin de définir de nouveaux NRD scanographiques par indication clinique (177,178).

c. Dosimétrie et Objectif clinique

En France, la valeur guide diagnostique (VGD) correspondant à la valeur médiane d'un indicateur dosimétrique a récemment été mise en place, afin d'encourager les principes ALARA. Nos confrères belges utilisent également le 75^{ème} percentile de la distribution des doses, comme NRD défini par la Commission Européenne, mais ils ont défini la VGD par le 25^{ème} percentile (144,179).

Le choix de définir une VGD supérieure en France repose sur le bilan d'avril 2020 de l'IRSN qui encourage une évaluation des performances diagnostiques des scanners associée à une optimisation des doses, afin de s'assurer que cette volonté de baisser les doses ne nuise pas à la qualité de l'examen. L'IRSN recommande donc de favoriser la qualité de l'image plutôt que la dose si les valeurs médianes sont inférieures aux VGD (148).

Dans la pratique chirurgicale, il est parfois nécessaire de faire réaliser un second angioscanner lors de la consultation diagnostique ou lors de la consultation de suivi post-opératoire lorsque l'examen effectué présente une qualité d'image insuffisante pour répondre à l'objectif clinique. Cela peut également se produire lorsque le protocole d'acquisition est inadapté à l'indication et qu'une phase ou une partie du volume d'intérêt manque.

Notre étude a démontré la corrélation, bien qu'intuitive, entre le nombre de scanners effectués et l'augmentation de DE cumulée, allant dans le sens de la décision de l'IRSN de privilégier une balance qualité d'image / dose délivrée afin d'éviter la répétition des examens de qualité non diagnostique.

La DE scanographique cumulée retrouvait une différence faiblement significative en faveur des scanners effectués à l'extérieur par rapport à l'ICP. Mais lorsque celle-ci était corrélée au nombre de phases d'acquisition, le fait de réaliser un scanner à l'ICP devenait une variable protectrice significative. La dose cumulée délivrée légèrement plus élevée à l'ICP s'explique donc notamment par un nombre de phases acquises plus élevé par examen dans notre centre, bien que les hélices qui y sont réalisées soient significativement moins irradiantes. Le caractère moins irradiant des acquisitions du scanner de l'ICP peut s'expliquer par :

- La limitation du kilovoltage employé (principale source d'augmentation du PDL),
- La technologie double-sources du scanner de l'ICP, non disponible sur les machines des 72 autres centres d'imagerie colligés, qui permet une acquisition très rapide et donc une exposition moins longue (la double hélice que décrivent les rayons autour du patient présente un pas, ou pitch, élevé permettant au second tube d'acquérir les données manquantes au premier),
- L'utilisation systématique des techniques de reconstructions itératives qui permettent d'extraire davantage d'informations pour une même acquisition et ainsi diminuer le bruit dans l'image ; autorisant ainsi à qualité image constante une diminution de la dose pouvant atteindre 60% (180,181). La majorité des équipements scanners recensés permettaient l'utilisation de

reconstructions itératives de technologies variables mais aucune donnée quant à leur degré d'utilisation n'a été recueillie, par défaut d'information disponible.

- L'utilisation de la technologie de double énergie permettant en une seule acquisition de fournir à la fois une phase injectée et une phase sans injection virtuelle, calculée en fonction des profils d'atténuations issus des deux tubes, pour une dose délivrée similaire à celle de l'acquisition d'une phase standard (182).

D'après les principes ALARA, il est nécessaire de s'interroger sur la nécessité de plusieurs phases à chaque examen, afin de pratiquer un protocole différent en fonction de l'objectif clinique. D'après notre expérience clinique, il arrive souvent qu'un patient bénéficiant d'un angioscanner de suivi dans un centre extérieur n'ait pas cette seconde phase tardive, nous obligeant à réaliser un second angioscanner pour pouvoir répondre à l'objectif clinique. Cela est alors responsable d'une dose cumulée plus élevée délivrée au patient. Cette répétition des examens se justifie par les recommandations de l'IRSN demandant de répondre à l'objectif clinique afin de ne pas générer une perte de chance pour la prise en charge du patient.

Ainsi, le nombre plus élevé de phases par examen à l'ICP est justifié par les exigences cliniques.

La phase sans injection permet la recherche de complications à type d'hématomes et pour l'étude du rehaussement viscéral dans le cadre des syndromes de malperfusion et des complications ischémiques. Elle permet également de ne pas confondre du matériel chirurgical hyperdense avec une fuite de produit de contraste au pourtour des anastomoses. La phase veineuse permet également l'étude du

rehaussement mais aussi celle des flux lents tels que les endofuites ou au sein d'un faux chenal.

Il est également important de rappeler que tous les angioscanners effectués en urgence lors de complications post-opératoires ont été réalisés à l'ICP. Dans ces conditions d'urgence, le nombre de phase et les paramètres scanographiques sont justifiés par la nécessité d'un diagnostic urgent.

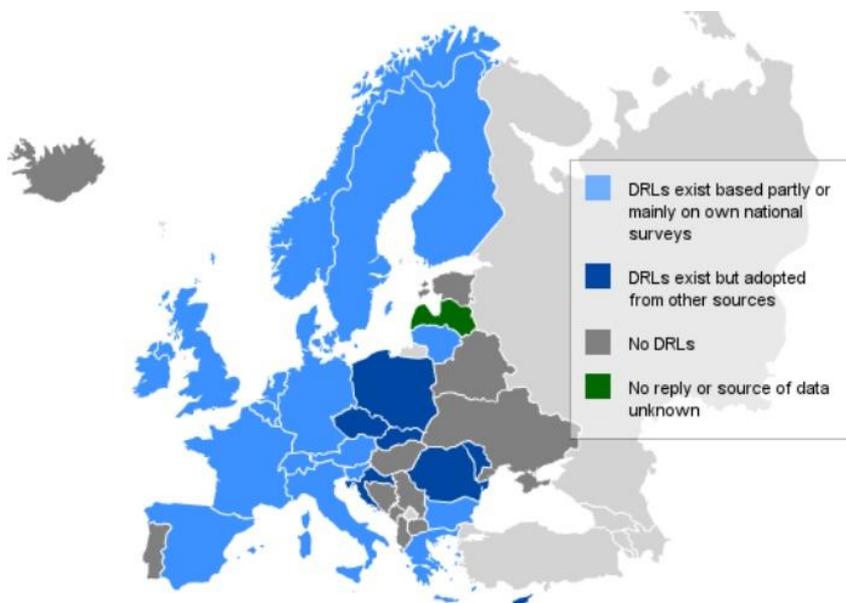
A noter que près de la moitié des patients du groupe ATA ont nécessité deux scanners pré-opératoires. Cela s'explique par le fait que le premier scanner intéressait seulement la région abdomino-pelvienne, un second scanner était alors demandé pour explorer de nouveau le thorax, l'abdomen et le pelvis. Il est donc important que la qualité de l'image soit adaptée à l'objectif clinique mais que les zones anatomiques étudiées le soient également, sous peine d'augmenter le rayonnement ionisant délivré au patient lors de sa prise en charge globale.

A contrario, le suivi d'un traitement par chirurgie ouverte ou par ATL/Stenting peut être réalisé par écho-Doppler, ce qui était bien observé au sein de notre étude. A l'exception des chirurgies ouvertes complexes, telles que les ATA qui ont nécessité des angioscanners de contrôle post-opératoire.

d. NRD Nationaux Européens

En 2014, la Commission Européenne Radioprotection publiait les NRD ainsi que la répartition des pays ayant déjà actés leurs NRD adultes nationaux (**Figure n°15**), dans un but incitatif pour les Etats-membres n'ayant pas encore défini leurs indicateurs (183).

Figure n°15 : Pays ayant actés leur niveau de référence diagnostique pour les examens à rayons X chez les adultes en 2014



D'après le rapport de Radiation Protection n°180 de l'European Commission (184).

DRL : NRD (Niveaux de référence diagnostique)

En 2019 et 2020, de nombreux pays européens ont remis à jour leurs NRD scanographiques adultes par région anatomique ou par indication clinique (151,185–189). Le **Tableau n°30** présente les résultats de notre étude mis en perspective avec ces NRD européens actualisés.

Tableau n°30 : Description des principaux NRD et VGD scanographiques européens et de notre étude

Scanners		NRD mGy.cm	VGD mGy.cm	DE mSv
Thorax	France	350	275	
	Allemagne	350	270	6,6
	Suisse	250	210	
Abdomino Pelvien	France	625	525	
	Allemagne	700	670	11,4
	Suisse	540	470	
Thoraco Abdomino Pelvien	France	750	650	
	Allemagne	1000	635	16
	Suisse	740	610	
Angio TAP	Suisse	730	450	
Angio AP	Suisse	530	450	
Aorte Totale	Allemagne	800	600	13,3
Aorte + Vx	Royaume-Uni	1040	-	
AAA	Au sein de notre étude	1367	879	20,5
ATA		1554	1157	23,3
AOAI		888	643	13,3

NRD : Niveau de référence diagnostique correspondant au 3^{ème} quartile en mGy.cm ; VGD : Valeur guide diagnostique correspondant à la médiane en mGy.cm ; DE : dose efficace du 3^{ème} quartile en mSv ; TAP : Thoraco Abdomino Pelvien ; AP : Abdomino Pelvien ; Vx : Vaisseaux ; AAA : groupe anévrisme aorte abdominale ; ATA : groupe anévrisme thoraco-abdominal ; AOAI : groupe artériopathie oblitérante aorto-iliaque

e. Dosimétrie et NRD interventionnels

En 2011, Panuccio et al. observaient pour les patients bénéficiant d'un traitement endovasculaire pour des ATA type 2 et 3 des PDS moyens de $1005,7 \pm 627,8$ Gy.cm² avec une DE de 127,6 mSv (33,2 – 373,8 mSv) et pour les ATA de type 4 des PDS moyens de $642,5 \pm 311,6$ Gy.cm² avec une DE de 103.1 mSv (24,5 – 218,1

mSv). Au sein de cette étude la DE moyenne pour un angioscanner en 2 ou 3 phases était de 60 mSv pour les ATA de type 2 et 3 et de 34 mSv pour les ATA de type 4 (190).

En 2016, Ruiz-Cruces et al. ont publié des NRD nationaux espagnols pour le stenting iliaque avec un PDS ayant pour 3^{ème} quartile 170 Gy.cm² (191).

En 2017, Tuthill et al. souhaitent déterminer des NRD interventionnels locaux pour EVAR au sein de 5 centres européens, ainsi qu'un NRD européen provisoire. Ils recueillent alors rétrospectivement 180 EVAR standard réalisées entre janvier 2014 et juillet 2015 au sein de 2 centres irlandais et 3 centres italiens. Les valeurs moyennes des PDS en fonction des centres allaient de 43,43 ± 9,94 Gy.cm² à 318,97 ± 57,98 Gy.cm² avec un PDS global du 75^{ème} percentile (NRD) à 158,49 Gy.cm², qui a été utilisé pour établir le NRD européen provisoire pour les procédures EVAR (192).

En 2019, l'Allemagne publie des NRD interventionnels pour :

- EVAR : PDS médian : 108 Gy.cm² (Q1 : 55 Gy.cm², Q3 : 203 Gy.cm²) et DE de 32 mSv,
- FEVAR : PDS médian : 95 Gy.cm² (Q1 : 47 Gy.cm², Q3 : 218 Gy.cm²) et DE de 36 m Sv,
- TEVAR : PDS médian : 114 Gy.cm² (Q1 : 47 Gy.cm², Q3 : 203 Gy.cm²) et DE de 28 mSv
- ATL / Stenting iliaques : PDS médian : 44 Gy.cm² (Q1 : 22 Gy.cm², Q3 : 87 Gy.cm²) et une DE de 23 mSv(188).

En avril 2020, Eleftherios et al. ont publié des NRD locaux pour EVAR au sein d'un centre grecque et les ont classés selon la complexité de la procédure. 73

patients ont été recueillis de façon prospective et tous ont été opérés au sein d'une salle hybride Siemens AxiomArtis FA (Siemens, Erlangen, Allemagne). Les médianes des PDS pour les procédures EVAR de complexité faible, moyenne et élevée étaient de 144,2 Gy.cm², 160,1 Gy.cm² et 189,5 Gy.cm² respectivement. Le PDS médian de la population totale était de 153,2 Gy.cm² (193).

En 2020, la Suisse publie des NRD interventionnels ciblant un PDS de 200 Gy.cm² pour les ATL / Stenting iliaques (189).

Au sein de notre étude, le PDS médian des EVAR était de 21,8 Gy.cm² avec un 3^{ème} quartile à 35 Gy.cm². Le PDS au 3^{ème} quartile des AOAI traitées par ATL / Stenting était de 8,1 Gy.cm². Les ATA recevaient une DE interventionnelle médiane de 23,4 mSv (Q1 : 15,6, Q3 : 33,8 mSv) et un PDS médian de 80,7 Gy.cm² (Q1 : 53,9, Q3 : 116,6 Gy.cm²).

Ces résultats européens confirment la bonne application des principes de radioprotection ainsi que l'expérience de notre centre aortique de haut volume.

A titre de comparaison avec d'autres spécialités chirurgicales, en mars 2019 Greffier et al. ont publié une étude sur 6 centres français concluant à des PDS ayant pour 3^{ème} quartile 2,13 Gy pour un clou de fémur proximal, 1,185 Gy.cm² pour une cholécystectomie laparoscopique et 2,195 Gy.cm² pour la mise en place d'une sonde urétérale à double J (194).

f. Intérêt du DACS

Le DACS s'est avéré être un outil essentiel dans le suivi dosimétrique du patient. Son utilisation a permis de recueillir des données exactes, fiables et exhaustives datant de plusieurs années.

L'outil DoseWatch® permet la visualisation des doses reçues pour un type d'examen sous forme de moyennes ou médianes ainsi que des maximales et minimales au sein de graphiques. De plus, il donne la possibilité de les exploiter par la présentation de statistiques en direct. Un opérateur peut alors comparer la dosimétrie d'un examen diagnostique ou interventionnel par rapport à d'autres examens effectués par le même opérateur ou par des opérateurs différents. Ces graphiques, simples à lire et facilement accessibles au sein de DoseWatch®, présentent un réel outil d'optimisation des pratiques pour les opérateurs dans l'esprit des principes ALARA et des Euratom européens.

g. Sensibilisation des soignants et des patients

L'optimisation des rayonnements ionisants dans l'imagerie diagnostique et interventionnelle peut être appuyée par la sensibilisation des soignants et des patients aux risques de cancer radio-induit.

En 2004, au Royaume-Uni, Berrington de Gonzalez et Darby estimaient qu'environ 0,6 % du risque de cancer chez un patient de 75 ans était attribuable à l'imagerie diagnostique (soit 700 cancers par an) (118).

En 2007, Brenner et Hall augmentaient ce risque à 1,5 - 2 %, prenant en compte l'utilisation croissante des scanners (119).

En 2012, Motaganahalli et al. ainsi que Zhou démontrent, d'après les modèles de simulation du rapport BEIR VII, que dans le cadre des surveillances après EVAR l'utilisation répétée du scanner était un sur-risque d'apparition de cancer. Ils concluent également à une diminution significative du risque de cancer radio-induit chez les patients surveillés par écho-doppler et angioscanner par alternance (195,196).

En 2018, Zener et al. concluent au fait que les patients souhaitent être informés des risques liés aux rayonnements pour pouvoir délivrer un consentement éclairé lors de procédure à risque de dosimétrie élevée (197,198).

Compte-tenu de la forte augmentation de l'utilisation de l'imagerie diagnostique et thérapeutique dans le domaine médical, l'utilisation raisonnée des rayons X est une nécessité.

Afin de sensibiliser les soignants et les patients aux principes de radioprotection, un comparatif des doses délivrées par l'imagerie médicale par rapport à l'exposition naturelle aux rayonnements est un message pédagogique clair et facilement compréhensible de tous.

A titre d'exemple, un scanner abdomino-pelvien correspond donc à des doses conséquentes, comparable à 1500 jours de rayonnement naturel (199).

Limites de l'étude

a. Étude monocentrique au sein d'un centre spécialisé

L'étude de l'objectif principal, qui était la dose efficace cumulée du diagnostic à 18 mois post-opératoire, et le recueil de la dosimétrie interventionnelle étaient monocentriques. Dans notre centre aortique, les interventions endovasculaires complexes sont pratiquées quotidiennement. La majorité de ces interventions était pratiquée par un seul opérateur expérimenté. De plus, l'opérateur ainsi que toute l'équipe soignante étaient formés et sensibilisés aux mesures de radioprotection.

Cette expérience d'un centre aortique à haut volume, respectant les principes ALARA ne reflète pas nécessairement les habitudes d'autres centres pour lesquels la radioprotection n'est pas forcément une thématique de travail majeure. Les pratiques sont donc potentiellement hétérogènes en chirurgie endovasculaire. La généralisation de NRD interventionnels tendrait donc à uniformiser les pratiques.

b. Manque de puissance au sein du groupe des ATA (n = 20)

Nous n'avons pas mis en évidence de différence significative entre les DE cumulées en chirurgie ouverte (69 mSv [57,7-77,1]) et en endovasculaire (102,6 mSv [76,5-131,1]) pour la prise en charge des ATA ($p=0,066$). L'analyse des DE de ces deux types de prise en charge retrouvait néanmoins une valeur assez proche du seuil de significativité ($p<0,05$).

Cette analyse souffre d'un manque de puissance statistique puisque l'effectif du groupe ATA était faible (seulement 5 patients en ciel ouvert et 15 patients en endovasculaire). Les valeurs recueillies laissent néanmoins supposer qu'une analyse

similaire sur une population plus importante pourrait démontrer que la prise en charge endovasculaire des ATA pourrait être corrélée à une DE cumulée supérieure à la prise en charge en chirurgie ouverte.

c. Données manquantes

Il convient de préciser que les coronarographies, ainsi que les radiographies conventionnelles (pulmonaires et ASP) n'ont pu être recueillies au sein du décompte de la dose efficace cumulée globale. Les rapports de dose des radiographies conventionnelles réalisées dans des centres extérieurs étaient introuvables par un recueil rétrospectif et les rapports dosimétriques des coronarographies étaient indisponibles. Nous avons donc décidé de ne pas recueillir la dose délivrée par les deux coroscanners recensés dans un souci d'homogénéité. La DE délivrée par un coroscanner varie de 1 à 15 mSv selon la technique de synchronisation à l'ECG et les performances de la machine ; elle est très majoritairement comprise entre 1 et 3 mSv à l'ICP. Celle d'une coronarographie est de l'ordre de 3 à 5 mSv (151,200,201). Il est probable qu'un recours plus large au coroscanner dans le cadre du bilan pré-anesthésique puisse constituer un facteur de diminution de la DE cumulée en permettant d'éviter une majorité de coronarographies si celles-ci étaient prises en compte.

Par ailleurs, le recours à des protocoles d'acquisition scanographiques utilisant la technique de la double énergie avec imagerie virtuelle sans contraste n'a pas été évalué au sein de cette étude. Cette information était inconstamment accessible sur Dosewatch® du fait de l'appel de protocoles d'acquisition pré-établis lors de l'acquisition, souvent modifiés manuellement et constituant un facteur confondant

important pour pouvoir juger du caractère systématique ou non de l'utilisation de cette technique.

d. Estimation de la Dose Efficace et du temps de fluoroscopie

L'évaluation de la dosimétrie cumulée globale délivrée au patient a été étudiée à l'aide de la dose efficace. La DE est un indicateur de dose indirect et calculé de façon approximative à l'aide de facteur de pondération tissulaire.

Ces facteurs de pondération sont différents s'il s'agit d'un scanner ou d'une imagerie interventionnelle. La DE aurait pu être calculée de façon plus précise à l'aide de simulation de Monte-Carlo, mais les ressources nécessaires, aussi bien en termes de temps de calcul que de logistique ne la rendaient pas utilisable dans le cadre d'une pratique clinique. Dans notre étude, nous avons utilisé pour l'imagerie interventionnelle le facteur obtenu par Suzuki et al afin d'évaluer l'abdomen, dont l'application est discutable pour l'étage thoracique. Nous avons utilisé pour l'imagerie scanographique, les derniers facteurs des publications n°103 de la CIPR. Ces facteurs ont évolué depuis les anciennes publications de la CIPR et biaisent la comparaison de nos données à celles des études précédentes.

L'application de ces nouveaux facteurs de pondération conduit à une diminution d'environ 10% des doses efficaces associées aux scanners abdomino-pelviens, due à la diminution du facteur relatif aux gonades. A l'inverse, elle s'accompagne d'une augmentation d'environ 20% des doses efficaces associées aux scanners thoraciques, due à l'augmentation du facteur relatif glandes mammaires. La variation de la dose efficace concernant les scanners thoraco-abdomino-pelviens était en

revanche très faible car l'ensemble des organes les plus radiosensibles sont compris dans ce volume d'exploration.

La durée de fluoroscopie a été recueillie durant les interventions endovasculaires en salle hybride et sur amplificateur mobile. Cependant la durée de fluoroscopie n'est pas un bon indicateur de dose et reflète plus la complexité de l'intervention. Cet indicateur permet surtout de vérifier si l'augmentation de la dose observée, notamment en cas de dépassement du NRD, est plutôt liée à la complexité de la procédure ou à l'inverse à un défaut d'application des principes de radioprotection ; le temps de scopie est donc utile pour intégrer la dose délivrée dans un contexte opératoire. De plus, cette durée n'est pas comparable entre la salle hybride et l'amplificateur mobile car l'une enregistre la durée totale de scopie tandis que l'autre enregistre seulement la durée d'image utile.

e. Analyse statistique

Afin de modéliser l'influence d'une variable sur la DE cumulée, nous avons utilisé les modèles de régression de type ANOVA et ANCOVA. Ces modèles sont considérés comme moins robustes pour des distributions non normales, ce qui était le cas de notre population de DE cumulée. Cependant afin d'augmenter la robustesse de nos modèles, la significativité des différences entre les groupes étaient tout d'abord affirmée par les tests de Mann-Whitney et de Kruskal-Wallis qui permettaient de comparer la répartition des rangs entre les groupes, adaptés à une distribution non normale.

f. Logiciels de gestion de la dose

Le DACS est un outil d'optimisation des pratiques et de dose très intéressant, cependant un obstacle majeur s'est révélé durant cette étude. La saisie des identifiants des patients et de la nature de l'intervention est réalisée manuellement par les opérateurs ou les manipulateurs radio. Il a été constaté des fautes d'orthographe au sein des noms, des erreurs de numéros d'identification patient ou d'examen, ainsi que des interventions ne correspondant pas au protocole et au traitement ou au scanner reçus par le patient. Malheureusement, ces erreurs humaines faussent les statistiques et les graphiques générés automatiquement par Dosewatch®, soulignant l'importance d'une automatisation de la saisie de ces données. Les valeurs de référence des différents examens présentées par le logiciel n'étaient donc pas exploitables, justifiant cette étude.

Il est donc primordial de sensibiliser les utilisateurs à l'importance de ces entrées manuelles et à la concordance des protocoles scanners pré-établis afin que le DACS ne soit pas simplement une sauvegarde du cumul dosimétrique pour chaque patient, mais également un outil statistique simple d'optimisation des pratiques, permettant de tendre vers l'utilisation la plus faible possible de rayonnements ionisants pour une image de qualité adaptée à l'objectif clinique.

g. Progrès technologiques et opérationnels

Enfin, la chirurgie vasculaire interventionnelle est un domaine en constante évolution d'un point de vue des techniques opérationnelles, du matériel implanté mais également de l'imagerie utilisée. Ainsi, au sein de l'ICP, l'amplificateur mobile utilisé dans cette étude a été remplacé par un détecteur mobile à écran plat CMOS

(OEC Elite, 31 cm Super C-arm Model, GE Healthcare) associée à une station de travail à écran tactile de haute définition.

Cette évolution constante des pratiques et du matériel nous force à ré-évaluer régulièrement les niveaux de références de dosimétrie qui se doivent également de progresser tant sur leur définition que sur leurs valeurs. Ces avancées multiples rendent cependant les valeurs de dosimétrie interventionnelle très hétérogène en France et en Europe et leur comparaison délicate, expliquant la complexité rencontrée par les différents pays européens pour mettre en place de tels niveaux de référence.

La dosimétrie au sein de la chirurgie vasculaire étant un sujet primordial, l'IRSN propose une thèse pour octobre 2020 sur l'effet de différentes doses de rayonnements ionisants sur la pathologie anévrismale aortique chez la souris, ayant pour objectif d'évaluer la réponse des différents types de pathologies anévrismales et notamment des cellules musculaires lisses à différents niveaux de dose (202).

V. CONCLUSION

Cette étude présente un suivi dosimétrique de référence d'un patient vasculaire lors de sa prise en charge globale de l'imagerie diagnostique posant l'indication chirurgicale jusqu'à 18 mois post-opératoire, dans le cadre d'une pathologie aorto-iliaque (AAA, ATA, AOAI) et selon sa modalité chirurgicale (conventionnelle ou endovasculaire). Ce recueil nous a également permis d'établir des NRD locaux scanographiques et interventionnels selon des indications cliniques aorto-iliaques, anticipant les recommandations de l'IRSN et les futures mises à jour des NRD.

Nous avons pu observer que notre centre appliquait les principes de radioprotection et que l'on obtenait des doses bien inférieures aux NRD en vigueur dans la littérature, tant à l'échelle de la prise en charge globale que sur les versants chirurgical et scanographique.

En conclusion, nous recommandons l'application des principes ALARA dans la prise en charge globale des patients, le concept de suivi à la carte avec des protocoles adaptés à l'objectif clinique ainsi que la ré évaluation régulière des pratiques et des NRD à l'aide de logiciels de gestion de dose (DACs) dont le potentiel pour devenir un outil précieux d'optimisation de la dose délivrée dépendra de la qualité des données renseignées par les utilisateurs et de leur sensibilisation à cette problématique.

BIBLIOGRAPHIE

1. Robert M, Juillière Y, Gabet A, Kownator S, Olié V. Time trends in hospital admissions and mortality due to abdominal aortic aneurysms in France, 2002–2013. *Int J Cardiol.* 1 mai 2017;234:28-32.
2. Prinssen M, Verhoeven ELG, Buth J, Cuypers PWM, van Sambeek MRHM, Balm R, et al. A randomized trial comparing conventional and endovascular repair of abdominal aortic aneurysms. *N Engl J Med.* 14 oct 2004;351(16):1607-18.
3. United Kingdom EVAR Trial Investigators, Greenhalgh RM, Brown LC, Powell JT, Thompson SG, Epstein D, et al. Endovascular versus open repair of abdominal aortic aneurysm. *N Engl J Med.* 20 mai 2010;362(20):1863-71.
4. Déglise S, Delay C, Saucy F, Lejay A, Dubuis C, Briner L, et al. Endovascular Versus Open Abdominal Aortic Aneurysm: Best Decision. *Curr Pharm Des.* 2015;21(28):4076-83.
5. Akbulut M, Aksoy E, Kara İ, Cekmecelioglu D, Koksal C. Quality of Life After Open Surgical versus Endovascular Repair of Abdominal Aortic Aneurysms. *Braz J Cardiovasc Surg.* 2018;33(3):265-70.
6. Manunga J, Sullivan T, Garberich R, Alden P, Alexander J, Skeik N, et al. Single-center experience with complex abdominal aortic aneurysms treated by open or endovascular repair using fenestrated/branched endografts. *J Vasc Surg.* 2018;68(2):337-47.
7. Sakalihan N, Limet R, Defawe OD. Abdominal aortic aneurysm. *The Lancet.* 30 avr 2005;365(9470):1577-89.
8. Gillum RF. Epidemiology of aortic aneurysm in the United States. *J Clin Epidemiol.* 1 nov 1995;48(11):1289-98.
9. Badger S, Bedenis R, Blair PH, Ellis P, Kee F, Harkin DW. Endovascular treatment for ruptured abdominal aortic aneurysm. *Cochrane Database Syst Rev [Internet].* 2014 [cité 9 mai 2020];(7). Disponible sur: <https://www.cochranelibrary.com/cdsr/doi/10.1002/14651858.CD005261.pub3/full>
10. Moll FL, Powell JT, Fraedrich G, Verzini F, Haulon S, Waltham M, et al. Management of Abdominal Aortic Aneurysms Clinical Practice Guidelines of the European Society for Vascular Surgery. *Eur J Vasc Endovasc Surg.* 1 janv 2011;41:S1-58.
11. Coady MA, Rizzo JA, Hammond GL, Mandapati D, Darr U, Kopf GS, et al. What is the appropriate size criterion for resection of thoracic aortic aneurysms? *J Thorac Cardiovasc Surg.* 1 mars 1997;113(3):476-91.
12. GIERTSEN, JC G. ATHEROSCLEROSIS IN AN AUTOPSY SERIES. 3. INTER-RELATIONSHIP BETWEEN ATHEROSCLEROSIS IN THE AORTA, THE CORONARY AND THE CEREBRAL ARTERIES. - PubMed - NCBI. [cité 9 mai 2020]; Disponible sur: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/14322322>

13. Coste P. Athérome. Anatomie pathologique, physiopathologie, épidémiologie et facteurs de risque, prévention. Rev Prat 2001 51 85-91.
14. Cacoub P, Godeau P. Les facteurs de risque des oblitérations aorto-iliaques chroniques d'origine athéromateuse. Ann Chir Vasc 1993 ; 7 : 394-406.
15. Surowiec SM , et, al SS et. Acute occlusion of the abdominal aorta. [cité 9 mai 2020]; Disponible sur: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9737631>
16. Kieffer E, Desgranges P, Bertrand M, et al. Chirurgie directe des lésions occlusives aorto-iliaques et lésions associées des artères viscérales, cérébrales et coronaires. In : Kieffer E. ed. Les lésions occlusives aorto-iliaques chroniques. Paris Ed AERCV 1991 381-90.
17. Miralles M, Corominas A, Cotillas J, et al. Dépistage systématique des sténoses des artères carotides et rénales avant chirurgie aorto-iliaque. Ann Chir Vasc 1998 ; 12 : 17-22.
18. Iglesias JI, Hamburger RJ, Feldman L, et al. The natural history of incidental renal artery stenosis in patients with aortoiliac vascular disease. Am J Med 2000 ; 109 : 642-7.
19. Leschi JP. Aorte abdominale et carotides. In : Kieffer E, Coriat P, Thomas D, Eds. Le Polyvasculaire Athéromateux. Paris : Editions AERCV, 2000 ; 61-83.
20. Dissecting aneurysm: A clinicopathologic and histopathologic study of 111 autopsied cases. Hum Pathol. 1 mars 1990;21(3):291-6.
21. Characterizing the young patient with aortic dissection: results from the international registry of aortic dissection (IRAD). J Am Coll Cardiol. 18 févr 2004;43(4):665-9.
22. Albornoz G, Coady MA, Roberts M, Davies RR, Tranquilli M, Rizzo JA, et al. Familial Thoracic Aortic Aneurysms and Dissections—Incidence, Modes of Inheritance, and Phenotypic Patterns. Ann Thorac Surg. 1 oct 2006;82(4):1400-5.
23. Steuer J, Björck M, Mayer D, Wanhainen A, Pfammatter T, Lachat M. Distinction between Acute and Chronic Type B Aortic Dissection: Is there a Sub-acute Phase? Eur J Vasc Endovasc Surg. 1 juin 2013;45(6):627-31.
24. Clouse WD, Hallett JW, Schaff HV, Spittell PC, Rowland CM, Ilstrup DM, et al. Acute Aortic Dissection: Population-Based Incidence Compared With Degenerative Aortic Aneurysm Rupture. Mayo Clin Proc. 1 févr 2004;79(2):176-80.
25. Hagan PG, Nienaber CA, Isselbacher EM, Bruckman D, Karavite DJ, Russman PL, et al. The International Registry of Acute Aortic Dissection (IRAD): New Insights Into an Old Disease. JAMA. 16 févr 2000;283(7):897-903.
26. Mészáros I, Mórocz J, Szlávi J, Schmidt J, Tornóci L, Nagy L, et al. Epidemiology and Clinicopathology of Aortic Dissection. CHEST. 1 mai 2000;117(5):1271-8.
27. Pr Castier, Bichat. Dissection aortique de type B - Chirurgie vasculaire Bichat Chirvtt [Internet]. Chirvtt. [cité 15 juin 2020]. Disponible sur: <http://www.chirvtt.fr/chirurgie-vaisseaux/dissection-aortique-de-type-b/>

28. DeBakey ME, McCollum CH, Crawford ES, Morris GC, Jr. Howell J, Noon GP et al., al DM et. Dissection and dissecting aneurysms of the aorta: twenty-year follow-up of five hundred twenty-seven patients treated surgically. - PubMed - NCBI. Surg 1982921118-34 [Internet]. [cité 9 mai 2020]; Disponible sur: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/7147190>
29. Akin I, Kische S, Ince H, Nienaber CA. Indication, Timing and Results of Endovascular Treatment of Type B Dissection. Eur J Vasc Endovasc Surg Off J Eur Soc Vasc Surg 2009 Mar;37(3):289– 96.
30. Recommandations SFRNET Cardiovasculaire [Internet]. [cité 9 mai 2020]. Disponible sur: http://www.sfrnet.org/rc/org/sfrnet/htm/Article/2013/20130222-140219-813/src/htm_fullText/fr/077_130_Cardiovasculaire.pdf
31. Scott R a. P. The Multicentre Aneurysm Screening Study (MASS) into the effect of abdominal aortic aneurysm screening on mortality in men: a randomised controlled trial. The Lancet. 16 nov 2002;360(9345):1531-9.
32. Lindholt JS, Juul S, Fasting H, Henneberg EW. Screening for abdominal aortic aneurysms: single centre randomised controlled trial. BMJ. 31 mars 2005;330(7494):750.
33. Norman PE, Jamrozik K, Lawrence-Brown MM, Le MTQ, Spencer CA, Tuohy RJ, et al. Population based randomised controlled trial on impact of screening on mortality from abdominal aortic aneurysm. BMJ. 25 nov 2004;329(7477):1259.
34. Scott R a. P, Wilson NM, Ashton HA, Kay DN. Influence of screening on the incidence of ruptured abdominal aortic aneurysm: 5-year results of a randomized controlled study. Br J Surg. 1 août 1995;82(8):1066-70.
35. Sensier Y, Bell PRF, London NJM., al SY et. The ability of qualitative assessment of the common femoral Doppler waveform to screen for significant aortoiliac disease. Eur J Vasc Endovasc Surg 1998 15 357-64.
36. Eiberg JP, Jensen F, Rasmussen JBG, et al, al EJ et. Screening for aortoiliac lesions by visual interpretation of the common femoral Doppler waveform. - PubMed - NCBI. Eur J Vasc Endovasc Surg 2001 22 331-6.
37. Fisher ER, Stern EJ, J D Godwin 2nd, Otto CM, Johnson JA. Acute aortic dissection: typical and atypical imaging features. RadioGraphics [Internet]. 1 nov 1994 [cité 9 mai 2020]; Disponible sur: <https://pubs.rsna.org/doi/abs/10.1148/radiographics.14.6.7855340>
38. Sommer T, Fehske W, Holzknicht N, Smekal AV, Keller E, Lutterbey G, et al. Aortic dissection: a comparative study of diagnosis with spiral CT, multiplanar transesophageal echocardiography, and MR imaging. Radiology [Internet]. 1 mai 1996 [cité 10 mai 2020]; Disponible sur: <https://pubs.rsna.org/doi/abs/10.1148/radiology.199.2.8668776>
39. Hajjam ME, Sablayrolle JL, Qanadli SD, Lacombe P. Tomodensitométrie hélicoïdale et dissections aortiques. :7.

40. Hei EL, Brady P, Marshman D, Ross D. SURGICAL REPAIR OF TYPE-A AORTIC DISSECTION: EARLY AND LATE RESULTS IN 32 CONSECUTIVE PATIENTS. *Aust N Z J Surg.* 1 oct 1997;67(10):712-6.
41. LePage MA, Quint LE, Sonnad SS, Deeb GM, Williams DM. Aortic Dissection. *Am J Roentgenol* [Internet]. 23 nov 2012 [cité 10 mai 2020]; Disponible sur: <https://www.ajronline.org/doi/full/10.2214/ajr.177.1.1770207>
42. Jacquier A, Chabbert V, Vidal V, Otaï P, Gaubert JY, Joffre F, Rousseau H, Bartoli JM. Comment, quand et pourquoi réaliser une imagerie de l'aorte thoracique chez l'adulte ? *Journal de Radiologie* 2004;85:854-69.
43. Rughani G, Robertson L, Clarke M. Medical treatment for small abdominal aortic aneurysms. *Cochrane Database Syst Rev* [Internet]. 2012 [cité 10 mai 2020];(9). Disponible sur: <https://www.cochranelibrary.com/cdsr/doi/10.1002/14651858.CD009536.pub2/full>
44. Dua A, Kuy S, Lee CJ, Upchurch GR, Desai SS. Epidemiology of aortic aneurysm repair in the United States from 2000 to 2010. *J Vasc Surg.* 1 juin 2014;59(6):1512-7.
45. Mani K, Björck M, Wanhainen A. Changes in the management of infrarenal abdominal aortic aneurysm disease in Sweden. *Br J Surg.* 1 avr 2013;100(5):638-44.
46. Santosa, Moysidis, Nowak, Heilmaier, Berg, Luther, et al. Endovascular abdominal aneurysm repair: trends in Germany. *Vasa* [Internet]. 7 janv 2013 [cité 10 mai 2020]; Disponible sur: <https://econtent.hogrefe.com/doi/abs/10.1024/0301-1526/a000202>
47. Schmitz-Rixen T, Lang W. Entwicklung der Gefäß- und Endovaskularchirurgie in den nächsten 20 Jahren. *Chir.* 1 déc 2009;80(12):1126-31.
48. Hertzner NR, Mascha EJ, Karafa MT, O'Hara PJ, Krajewski LP, Beven EG. Open infrarenal abdominal aortic aneurysm repair: The Cleveland Clinic experience from 1989 to 1998. *J Vasc Surg.* 1 juin 2002;35(6):1145-54.
49. Conrad MF, Crawford RS, Pedraza JD, Brewster DC, LaMuraglia GM, Corey M, et al. Long-term durability of open abdominal aortic aneurysm repair. *J Vasc Surg.* 1 oct 2007;46(4):669-75.
50. Biancari F, Ylönen K, Anttila V, Juvonen J, Ronsi P, Satta J, et al. Durability of open repair of infrarenal abdominal aortic aneurysm: A 15-year follow-up study. *J Vasc Surg.* 1 janv 2002;35(1):87-93.
51. Parodi JC, Palmaz JC, Barone HD. Transfemoral Intraluminal Graft Implantation for Abdominal Aortic Aneurysms. *Ann Vasc Surg.* 1 nov 1991;5(6):491-9.
52. Greenhalgh RM. Comparison of endovascular aneurysm repair with open repair in patients with abdominal aortic aneurysm (EVAR trial 1), 30-day operative mortality results: randomised controlled trial. *The Lancet.* 4 sept 2004;364(9437):843-8.
53. Lederle FA, Kyriakides TC, Stroupe KT, Freischlag JA, Frank T. Padberg J, Matsumura JS, et al. Open versus Endovascular Repair of Abdominal Aortic Aneurysm. *N Engl J Med* [Internet]. 29 mai 2019 [cité 10 mai 2020]; Disponible sur:

https://www.nejm.org/doi/full/10.1056/NEJMoa1715955?url_ver=Z39.88-2003&rfr_id=ori%3Arid%3Acrossref.org&rfr_dat=cr_pub%3Dpubmed

54. Schermerhorn ML, O'Malley AJ, Jhaveri A, Cotterill P, Pomposelli F, Landon BE. Endovascular vs. Open Repair of Abdominal Aortic Aneurysms in the Medicare Population [Internet]. <http://dx.doi.org/10.1056/NEJMoa0707348>. 2009 [cité 10 mai 2020]. Disponible sur: https://www.nejm.org/doi/10.1056/NEJMoa0707348?url_ver=Z39.88-2003&rfr_id=ori%3Arid%3Acrossref.org&rfr_dat=cr_pub%3Dwww.ncbi.nlm.nih.gov
55. Évaluation des endoprothèses aortiques abdominales utilisées pour le traitement des anévrismes de l'aorte abdominale sous-rénale, 7 juillet 2009 [Internet]. [cité 27 janv 2019]. Disponible sur: https://www.has-sante.fr/portail/upload/docs/application/pdf/2009-11/endoprotheses_aortiques_abdominales_rapport.pdf
56. Schanzer A, Greenberg RK, Hevelone N, Robinson WP, Eslami MH, Goldberg RJ, et al. Predictors of Abdominal Aortic Aneurysm Sac Enlargement After Endovascular Repair. *Circulation* [Internet]. 21 juin 2011 [cité 10 mai 2020]; Disponible sur: <https://www.ahajournals.org/doi/abs/10.1161/CIRCULATIONAHA.110.014902>
57. Becquemin J-P, Pillet J-C, Lescalie F, Sapoval M, Goueffic Y, Lermusiaux P, et al. A randomized controlled trial of endovascular aneurysm repair versus open surgery for abdominal aortic aneurysms in low- to moderate-risk patients. *J Vasc Surg*. 1 mai 2011;53(5):1167-1173.e1.
58. Paravastu SCV, Jayarajasingam R, Cottam R, Palfreyman SJ, Michaels JA, Thomas SM. Endovascular repair of abdominal aortic aneurysm. *Cochrane Database Syst Rev* [Internet]. 2014 [cité 10 mai 2020];(1). Disponible sur: <https://www.cochranelibrary.com/cdsr/doi/10.1002/14651858.CD004178.pub2/full>
59. Pose d'endoprothèse fenêtrée/multibranches dans le traitement des anévrismes aortiques complexes Haute Autorité de Santé/Service évaluation des actes professionnels/octobre 2008 [Internet]. [cité 10 mai 2020]. Disponible sur: https://www.has-sante.fr/upload/docs/application/pdf/2009-05/rapport_endoprothese_fenetree.pdf
60. Nordon IM, Hinchliffe RJ, Holt PJ, Loftus IM, Thompson MM. Modern Treatment of Juxtarenal Abdominal Aortic Aneurysms with Fenestrated Endografting and Open Repair – A Systematic Review. *Eur J Vasc Endovasc Surg*. 1 juill 2009;38(1):35-41.
61. Verhoeven ELG, Katsargyris A, Bekkema F, Oikonomou K, Zeebregts CJ a. M, Ritter W, et al. Editor's Choice – Ten-year Experience with Endovascular Repair of Thoracoabdominal Aortic Aneurysms: Results from 166 Consecutive Patients. *Eur J Vasc Endovasc Surg*. 1 mai 2015;49(5):524-31.
62. Mastracci TM, Greenberg RK, Eagleton MJ, Hernandez AV. Durability of branches in branched and fenestrated endografts. *J Vasc Surg*. 1 avr 2013;57(4):926-33.
63. Kuma S, Tanaka K, Ohmine T, Morisaki K, Kodama A, Guntani A, et al. Clinical Outcome of Surgical Endarterectomy for Common Femoral Artery Occlusive Disease. *Circ J*. 25 mars 2016;80(4):964-9.

64. Malgor RD, Ricotta JJ, Bower TC, Oderich GS, Kalra M, Duncan AA, et al. Common Femoral Artery Endarterectomy for Lower-Extremity Ischemia: Evaluating the Need for Additional Distal Limb Revascularization. *Ann Vasc Surg.* 1 oct 2012;26(7):946-56.
65. Al-Khoury G, Marone L, Chaer R, Rhee R, Cho J, Leers S, et al. Isolated femoral endarterectomy: Impact of SFA TASC classification on recurrence of symptoms and need for additional intervention. *J Vasc Surg.* 1 oct 2009;50(4):784-9.
66. Nishibe T, Maruno K, Iwahori A, Fujiyoshi T, Suzuki S, Takahashi S, et al. The Role of Common Femoral Artery Endarterectomy in the Endovascular Era. *Ann Vasc Surg.* 1 nov 2015;29(8):1501-7.
67. Antoniou GA, Georgiadis GS, Antoniou SA, Makar RR, Smout JD, Torella F. Bypass surgery for chronic lower limb ischaemia. *Cochrane Database Syst Rev [Internet].* avr 2017 [cité 10 mai 2020];2017(4). Disponible sur: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6478298/>
68. Leng GC, Davis M, Baker D. Bypass surgery for chronic lower limb ischaemia. *Cochrane Database Syst Rev [Internet].* 2000 [cité 10 mai 2020];(3). Disponible sur: <https://www.cochranelibrary.com/cdsr/doi/10.1002/14651858.CD002000/full>
69. Piazza M, Ricotta JJ, Bower TC, Kalra M, Duncan AA, Cha S, et al. Iliac artery stenting combined with open femoral endarterectomy is as effective as open surgical reconstruction for severe iliac and common femoral occlusive disease. *J Vasc Surg.* 1 août 2011;54(2):402-11.
70. Jongkind V, Akkersdijk GJM, Yeung KK, Wisselink W. A systematic review of endovascular treatment of extensive aortoiliac occlusive disease. *J Vasc Surg.* 1 nov 2010;52(5):1376-83.
71. Kashyap VS, Pavkov ML, Bena JF, Sarac TP, O'Hara PJ, Lyden SP, et al. The management of severe aortoiliac occlusive disease: Endovascular therapy rivals open reconstruction. *J Vasc Surg.* 1 déc 2008;48(6):1451-1457.e3.
72. Erbel R, Alfonso F, Boileau C, Dirsch O, Eber B, Haverich A, et al. Diagnosis and management of aortic dissection Task Force on Aortic Dissection, European Society of Cardiology. *Eur Heart J.* 1 sept 2001;22(18):1642-81.
73. Elefteriades JA, Lovoulos CJ, Coady MA, Tellides G, Kopf GS, Rizzo JA. Management of descending aortic dissection. *Ann Thorac Surg.* 1 juin 1999;67(6):2002-5.
74. Glower DD, Fann JI, Speier RH, Morrison L, White WD, Smith LR et al., al GD et. Comparison of medical and surgical therapy for uncomplicated descending aortic dissection. - PubMed - NCBI. *Circ* 1990;82 5 Suppl:V39-46.
75. Minatoya K, Ogino H, Matsuda H, Sasaki H, Yagihara T, Kitamura S. Replacement of the descending aorta: Recent outcomes of open surgery performed with partial cardiopulmonary bypass. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 1 août 2008;136(2):431-5.
76. Coselli JS, LeMaire SA, Conklin LD, Adams GJ. Left heart bypass during descending thoracic aortic aneurysm repair does not reduce the incidence of paraplegia. *Ann Thorac Surg.* 1 avr 2004;77(4):1298-303.

77. Jonker FHW, Trimarchi S, Verhagen HJM, Moll FL, Sumpio BE, Muhs BE. Meta-analysis of open versus endovascular repair for ruptured descending thoracic aortic aneurysm. *J Vasc Surg.* 1 avr 2010;51(4):1026-1032.e2.
78. Mitchell RS. Stent grafts for the thoracic aorta: a new paradigm? *Ann Thorac Surg* 2002 Nov;74(5):1818-1820. Discuss S1825-1832.
79. Estrera AL, Gochmour DC, Azizzadeh A, Miller CC, Coogan S, Charlton-Ouw K, et al. Progress in the Treatment of Blunt Thoracic Aortic Injury: 12-Year Single-Institution Experience. *Ann Thorac Surg.* 1 juill 2010;90(1):64-71.
80. von Oppell UO, Dunne TT, De Groot MK, Zilla P., al von OU et. Traumatic aortic rupture: twenty-year metaanalysis of mortality and risk of paraplegia. *Ann Thorac Surg* 1994 Aug;58(2):585-93.
81. Latour BD, Delaunay R, Rivalan J, Heautot J-F, Verhoye J-P. Stent-graft repair for aortic type B dissections with insidious renal malperfusion. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 1 nov 2007;134(5):1342-3.
82. Lentz PA, Verhoye JP, Larralde A, David J, Heautot J.-F. Traitement par stent grafts des pathologies de l'aorte thoracique descendante. *J Radiol* 2009;90(4):12.
83. Eggebrecht H, Nienaber CA, Neuhäuser M, Baumgart D, Kische S, Schmermund A, et al. Endovascular stent-graft placement in aortic dissection: a meta-analysis. *Eur Heart J.* 1 févr 2006;27(4):489-98.
84. Complicated Acute Type B Dissection: Is Surgery Still the Best Option?: A Report From the International Registry of Acute Aortic Dissection. *JACC Cardiovasc Interv.* 1 août 2008;1(4):395-402.
85. Sachs T, Pomposelli F, Hagberg R, Hamdan A, Wyers M, Giles K, et al. Open and endovascular repair of type B aortic dissection in the Nationwide Inpatient Sample. *J Vasc Surg.* 1 oct 2010;52(4):860-6.
86. Parker JD, Golledge J. Outcome of Endovascular Treatment of Acute Type B Aortic Dissection. *Ann Thorac Surg.* 1 nov 2008;86(5):1707-12.
87. Wiedemann D, Ehrlich M, Amabile P, Lovato L, Rousseau H, Evangelista-Masip A, et al. Emergency endovascular stent grafting in acute complicated type B dissection. *J Vasc Surg.* 1 nov 2014;60(5):1204-8.
88. Greenberg RK, Lytle B. Endovascular Repair of Thoracoabdominal Aneurysms. *Circulation* [Internet]. 29 avr 2008 [cité 10 mai 2020]; Disponible sur: <https://www.ahajournals.org/doi/abs/10.1161/circulationaha.107.716134>
89. Greenberg RK, Lu Q, Roselli EE, Svensson LG, Moon MC, Hernandez AV, et al. Contemporary Analysis of Descending Thoracic and Thoracoabdominal Aneurysm Repair. *Circulation* [Internet]. 19 août 2008 [cité 10 mai 2020]; Disponible sur: <https://www.ahajournals.org/doi/abs/10.1161/CIRCULATIONAHA.108.769695>
90. Haulon S, D'Elia P, O'Brien N, Sobocinski J, Perrot C, Lerussi G, et al. Endovascular Repair of Thoracoabdominal Aortic Aneurysms. *Eur J Vasc Endovasc Surg.* 1 févr 2010;39(2):171-8.

91. Chuter TA1, Rapp JH, Hiramoto JS, Schneider DB, Howell B, Reilly LM. - Endovascular treatment of thoracoabdominal aortic aneurysms.
92. Ee R, Rk G, K P, C F, Lg S, Bw L. Endovascular treatment of thoracoabdominal aortic aneurysms. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2 mai 2007;133(6):1474-82.
93. Diard A., Saby J.C. Surveillance des endoprothèses aortiques. In: *Les explorations vasculaires.* (Paris : Elsevier Masson (2014)).
94. Laroche J-P, Diard A, Giordana P, Sarlon-Bartoli G. Détection écho-Doppler des endofuites de type II après endoprothèses aortiques : intérêt des agents de contraste. Un autre point de vue. </data/revues/03980499/v39i4/S0398049914000869/> [Internet]. 19 juill 2014 [cité 31 mai 2020]; Disponible sur: <http://emvmsa1a.jouve-hdi.com/en/article/909384>
95. Veith FJ, Baum RA, Ohki T, Amor M, Adiseshiah M, Blankensteijn JD, et al. Nature and significance of endoleaks and endotension: Summary of opinions expressed at an international conference. *J Vasc Surg.* 1 mai 2002;35(5):1029-35.
96. Wolf YG, Johnson BL, Hill BB, Rubin GD, Fogarty TJ, Zarins CK. Duplex ultrasound scanning versus computed tomographic angiography for postoperative evaluation of endovascular abdominal aortic aneurysm repair. *J Vasc Surg.* 1 déc 2000;32(6):1142-8.
97. Mc Williams RG, Martin J, White D, et al. Use of contrast-enhanced ultrasound in follow-up after endovascular aortic aneurysm repair. *JVIR* 1999;101107-14.
98. P P, I S, M M, P D, C G, S H. Contrast-enhanced ultrasound vs. CT angiography in fenestrated EVAR surveillance: a single-center comparison. *J Endovasc Ther Off J Int Soc Endovasc Spec.* 1 oct 2012;19(5):648-55.
99. Hansen CJ, Bui H, Donayre CE, Aziz I, Kim B, Kopchok G, et al. Complications of endovascular repair of high-risk and emergent descending thoracic aortic aneurysms and dissections. *J Vasc Surg.* 1 août 2004;40(2):228-34.
100. Parmer SS, Carpenter JP, Stavropoulos SW, Fairman RM, Pochettino A, Woo EY, et al. Endoleaks after endovascular repair of thoracic aortic aneurysms. *J Vasc Surg.* 1 sept 2006;44(3):447-52.
101. Eggebrecht H, Thompson M, Rousseau H, Czerny M, Lönn L, Mehta RH, et al. Retrograde Ascending Aortic Dissection During or After Thoracic Aortic Stent Graft Placement. *Circulation* [Internet]. 15 sept 2009 [cité 10 mai 2020]; Disponible sur: <https://www.ahajournals.org/doi/abs/10.1161/CIRCULATIONAHA.108.835926>
102. Kasirajan K, Dake MD, Lumsden A, Bavaria J, Makaroun MS. Incidence and outcomes after infolding or collapse of thoracic stent grafts. *J Vasc Surg.* 1 mars 2012;55(3):652-8.
103. Chiesa R, Melissano G, Marone EM, Marrocco-Trischitta MM, Kahlberg A. Aorto-oesophageal and Aortobronchial Fistulae Following Thoracic Endovascular Aortic Repair: A National Survey. *Eur J Vasc Endovasc Surg.* 1 mars 2010;39(3):273-9.

104. Garcier J-M, Petitcolin V, Filaire M, Mofid R, Azarnouch K, Ravel A, et al. Normal diameter of the thoracic aorta in adults: a magnetic resonance imaging study. *Surg Radiol Anat.* 1 août 2003;25(3):322-9.
105. Cassagnes L, Favrolt G, Chabrot P, Ravel A, Boyer L. Comment je surveille un syndrome aortique aigu traité médicalement au scanner ou en IRM ? *Datarevues0221036300915-C2647* [Internet]. 8 juill 2010 [cité 10 mai 2020]; Disponible sur: <https://www.em-consulte.com/en/article/258151>
106. El-Sayed T, Patel AS, Cho JS, Kelly JA, Ludwinski FE, Saha P, et al. Radiation-Induced DNA Damage in Operators Performing Endovascular Aortic Repair. *Circulation.* 19 2017;136(25):2406-16.
107. Nyheim T, Staxrud LE, Jørgensen JJ, Jensen K, Olerud HM, Sandbæk G. Radiation exposure in patients treated with endovascular aneurysm repair: what is the risk of cancer, and can we justify treating younger patients? *Acta Radiol Stockh Swed* 1987. mars 2017;58(3):323-30.
108. Brown KR, Rzucidlo E. Acute and chronic radiation injury. *J Vasc Surg.* 1 janv 2011;53(1):15S-21S.
109. Balter S, Hopewell JW, Miller DL, Wagner LK, Zelefsky MJ. Fluoroscopically Guided Interventional Procedures: A Review of Radiation Effects on Patients' Skin and Hair¹. *Radiology* [Internet]. 7 janv 2010 [cité 12 mai 2020]; Disponible sur: <https://pubs.rsna.org/doi/abs/10.1148/radiol.2542082312>
110. Koenig TR, Wolff D, Mettler FA, Wagner LK. Skin Injuries from Fluoroscopically Guided Procedures. *Am J Roentgenol* [Internet]. 23 nov 2012 [cité 12 mai 2020]; Disponible sur: <https://www.ajronline.org/doi/full/10.2214/ajr.177.1.1770003>
111. Netgen. Investigations radiologiques en cardiologie : quels risques pour le patient ? [Internet]. *Revue Médicale Suisse.* [cité 12 mai 2020]. Disponible sur: <https://www.revmed.ch/RMS/2008/RMS-159/Investigations-radiologiques-en-cardiologie-quels-risques-pour-le-patient>
112. Valentin J. Avoidance of radiation injuries from medical interventional procedures. *Ann ICRP.* 2000;30(2):7-67.
113. Hymes SR, Strom EA, Fife C. Radiation dermatitis: Clinical presentation, pathophysiology, and treatment 2006. *J Am Acad Dermatol.* 1 janv 2006;54(1):28-46.
114. Council NR. Health Risks from Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation: BEIR VII Phase 2 [Internet]. 2005 [cité 12 mai 2020]. Disponible sur: <https://www.nap.edu/catalog/11340/health-risks-from-exposure-to-low-levels-of-ionizing-radiation>
115. Budoff MJ, Achenbach S, Blumenthal RS, Carr JJ, Goldin JG, Greenland P, et al. Assessment of Coronary Artery Disease by Cardiac Computed Tomography: A Scientific Statement From the American Heart Association Committee on Cardiovascular Imaging and Intervention, Council on Cardiovascular Radiology and Intervention, and Committee on Cardiac Imaging, Council on Clinical Cardiology. *Circulation.* 17 oct 2006;114(16):1761-91.

116. Wrixon AD. New ICRP recommendations. *J Radiol Prot Off J Soc Radiol Prot.* juin 2008;28(2):161-8.
117. Baysson H, Réhel JL, Boudjemline Y, Petit J, Girodon B, Aubert B, et al. Risk of cancer associated with cardiac catheterization procedures during childhood: a cohort study in France. *BMC Public Health.* déc 2013;13(1):1-8.
118. González AB de, Darby S. Risk of cancer from diagnostic X-rays: estimates for the UK and 14 other countries. *The Lancet.* 31 janv 2004;363(9406):345-51.
119. Brenner DJ, Hall EJ. Computed Tomography — An Increasing Source of Radiation Exposure [Internet]. <http://dx.doi.org/10.1056/NEJMra072149>. Massachusetts Medical Society; 2009 [cité 21 mai 2020]. Disponible sur: https://www.nejm.org/doi/full/10.1056/NEJMra072149?url_ver=Z39.88-2003&rfr_id=ori%3Arid%3Acrossref.org&rfr_dat=cr_pub++0pubmed
120. Régent D, Mandry D, Croise-Laurent V, Oliver A, Jausset F, Lombard V. Production des rayons X en imagerie par projection et en scanographie. *Wwwem-Premiumcomdatatraitres635-43578* [Internet]. 25 juin 2013 [cité 16 mai 2020]; Disponible sur: <https://www-em-premium-com.ressources-electroniques.univ-lille.fr/article/817384/resultatrecherche/6>
121. JF Chateil (Radiologue, CHU Bordeaux), H Ducou Le Pointe (Radiologue, Trousseau, Paris), H Brisse (Radiologue, I Curie Paris), D Sirinelli (Radiologue, CHU Tours). Principes et mise en œuvre de la radioprotection L'optimisation. MODULE Natl Enseign Radioprot Radiol.
122. D T. The European Directive on health protection of individuals against the dangers of ionising radiation in relation to medical exposures (97/43/EURATOM). *J Radiol Prot Off J Soc Radiol Prot.* 1 juin 1998;18(2):133-7.
123. Marc Edwards, Chairman, Stewart C. Bushong, Glen V. Dalrymple, James G. Kereiakes, S. Julian Gibbs. Report No. 107 – Implementation of the Principle of As Low As Reasonably Achievable (ALARA) for Medical and Dental Personnel (1990) | NCRP | Bethesda, MD. [cité 13 mai 2020]; Disponible sur: <https://ncrponline.org/shop/reports/report-no-107-implementation-of-the-principle-of-as-low-as-reasonably-achievable-alara-for-medical-and-dental-personnel-1990/>
124. Monastiriotis S, Comito M, Labropoulos N. Radiation exposure in endovascular repair of abdominal and thoracic aortic aneurysms. *J Vasc Surg.* sept 2015;62(3):753-61.
125. Stansfield T, Parker R, Masson N, Lewis D. The Endovascular Preprocedural Run Through and Brief: A Simple Intervention to Reduce Radiation Dose and Contrast Load in Endovascular Aneurysm Repair. *Vasc Endovascular Surg.* mai 2016;50(4):241-6.
126. Hertault A, Rhee R, Antoniou GA, Adam D, Tonda H, Rousseau H, et al. Radiation Dose Reduction During EVAR: Results from a Prospective Multicentre Study (The REVAR Study). *Eur J Vasc Endovasc Surg Off J Eur Soc Vasc Surg.* 2018;56(3):426-33.
127. Ruffino MA, Fronda M, Discalzi A, Isoardi P, Bergamasco L, Ropolo R, et al. Radiation dose during endovascular aneurysm repair (EVAR): upgrade of an angiographic system from standard to Eco mode. *Radiol Med (Torino).* déc 2018;123(12):966-72.

128. Maurel B, Martin-Gonzalez T, Chong D, Irwin A, Guimbretière G, Davis M, et al. A prospective observational trial of fusion imaging in infrarenal aneurysms. *J Vasc Surg.* déc 2018;68(6):1706-1713.e1.
129. de Ruiter QMB, Reitsma JB, Moll FL, van Herwaarden JA. Meta-analysis of Cumulative Radiation Duration and Dose During EVAR Using Mobile, Fixed, or Fixed/3D Fusion C-Arms. *J Endovasc Ther Off J Int Soc Endovasc Spec.* 2016;23(6):944-56.
130. Steuwe A, Geisbüsch P, Schulz CJ, Böckler D, Kauczor H-U, Stiller W. Comparison of Radiation Exposure Associated With Intraoperative Cone-Beam Computed Tomography and Follow-up Multidetector Computed Tomography Angiography for Evaluating Endovascular Aneurysm Repairs. *J Endovasc Ther Off J Int Soc Endovasc Spec.* août 2016;23(4):583-92.
131. Hertault A, Maurel B, Pontana F, Martin-Gonzalez T, Spear R, Sobocinski J, et al. Benefits of Completion 3D Angiography Associated with Contrast Enhanced Ultrasound to Assess Technical Success after EVAR. *Eur J Vasc Endovasc Surg Off J Eur Soc Vasc Surg.* mai 2015;49(5):541-8.
132. Chisci E, Harris L, Guidotti A, Pecchioli A, Pigozzi C, Barbanti E, et al. Endovascular Aortic Repair Follow up Protocol Based on Contrast Enhanced Ultrasound Is Safe and Effective. *Eur J Vasc Endovasc Surg Off J Eur Soc Vasc Surg.* 2018;56(1):40-7.
133. Partovi S, Trischman T, Rafailidis V, Ganguli S, Rengier F, Goerne H, et al. Multimodality imaging assessment of endoleaks post-endovascular aortic repair. *Br J Radiol.* juill 2018;91(1087):20180013.
134. Schaeffer JS, Shakhnovich I, Sieck KN, Kallies KJ, Davis CA, Cogbill TH. Duplex Ultrasound Surveillance After Uncomplicated Endovascular Abdominal Aortic Aneurysm Repair. *Vasc Endovascular Surg.* juill 2017;51(5):295-300.
135. David E, Cantisani V, Grazhdani H, Di Marzo L, Venturini L, Fanelli F, et al. What is the role of contrast-enhanced ultrasound in the evaluation of the endoleak of aortic endoprostheses? A comparison between CEUS and CT on a widespread scale. *J Ultrasound.* 1 déc 2016;19(4):281-7.
136. Bredahl KK, Taudorf M, Lönn L, Vogt KC, Sillesen H, Eiberg JP. Contrast Enhanced Ultrasound can Replace Computed Tomography Angiography for Surveillance After Endovascular Aortic Aneurysm Repair. *Eur J Vasc Endovasc Surg Off J Eur Soc Vasc Surg.* 2016;52(6):729-34.
137. Laturus J, Oliveira N, Basto Gonçalves F, Schurink GW, Verhagen H, Jacobs MJ, et al. Towards individualized follow-up protocols after endovascular aortic aneurysm repair. *J Cardiovasc Surg (Torino).* avr 2016;57(2):242-7.
138. Cantisani V, Grazhdani H, Clevert D-A, Iezzi R, Aiani L, Martegani A, et al. EVAR: Benefits of CEUS for monitoring stent-graft status. *Eur J Radiol.* sept 2015;84(9):1658-65.
139. Lehti L, Nyman U, Söderberg M, Björnses K, Gottsäter A, Wassélius J. 80-kVp CT angiography for endovascular aneurysm repair follow-up with halved contrast medium dose and preserved diagnostic quality. *Acta Radiol Stockh Swed* 1987. mars 2016;57(3):279-86.

140. Böning G, Rotzinger RA, Kahn JF, Freyhardt P, Renz DM, Maurer M, et al. Tailored CT angiography in follow-up after endovascular aneurysm repair (EVAR): combined dose reduction techniques. *Acta Radiol Stockh Swed* 1987. nov 2018;59(11):1316-25.
141. Autorité de sûreté nucléaire. Les directives radioprotection [Internet]. [cité 27 janv 2019]. Disponible sur: <https://www.asn.fr/L-ASN/International/Les-relations-multilaterales-en-Europe/L-Union-europeenne/Les-directives-radioprotection>
142. Rayonnements ionisants : directive Euratom - Actualité - INRS [Internet]. [cité 27 janv 2019]. Disponible sur: <http://www.inrs.fr/actualites/rayonnements-ionisants-directive-euratom.html>
143. Arrêté du 12 février 2004 relatif aux niveaux de référence diagnostiques en radiologie et en médecine nucléaire.
144. Authors on behalf of ICRP E. Vaño, D.L. Miller, C.J. Martin, M.M. Rehani, K. Kang, M. Rosenstein, P. Ortiz-Lopez, S. Mattsson, R. Padovani, A. Rogers. ICRP, 2017. Diagnostic reference levels in medical imaging. *ICRP Publ 135 Ann ICRP* 461.
145. Greffier J, Bigand E, Etard C, Hornbeck A, Salvat C. Rapport SFPM n°32, Niveaux de Référence en Radiologie Interventionnelle , juin 2017. :70.
146. IRSN, 2016. Analyse des données relatives à la mise à jour des niveaux de référence diagnostiques en radiologie et en médecine nucléaire. Bilan 2013-2015 Rapp PRP-HOM-2016-00006.
147. Ministère des Solidarités et de la Santé a publié au Journal Officiel l'Arrêté du 23 mai 2019 [Internet]. [cité 10 mai 2020]. Disponible sur: https://nrd.irsln.fr/Ressources/Documents/Decision_NRD_2019.pdf
148. IRSN. Analyse des données relatives à la mise à jour des niveaux de référence diagnostiques en radiologie et en médecine nucléaire : bilan 2016-2018.
149. Trianni A, Padovani R, Gasparini D. Assessment of Trigger Levels to Prevent Tissue Reaction in Interventional Radiology Procedures. *Stand Appl Qual Assur Med Radiat Dosim IDOS Proc Int Symp V 2* [Internet]. 2011 [cité 11 mai 2020]; Disponible sur: http://inis.iaea.org/Search/search.aspx?orig_q=RN:43009151
150. Vijayalakshmi K, Kelly D, Chapple C-L, Williams D, Wright R, Stewart MJ, et al. Cardiac catheterisation: radiation doses and lifetime risk of malignancy. *Heart*. mars 2007;93(3):370.
151. IRSN. Les NRD en radiologie, France 2019. IRSN [Internet]. [cité 23 mai 2020]; Disponible sur: <https://nrd.irsln.fr/radiologie>
152. radiologie_interventionnelle_v10_2014-07-08_16-46-50_792.pdf. Disponible sur: <https://www.has-sante.fr/portail/upload/docs/application/pdf/2014-07/>
153. Miller DL, Vaño E, Bartal G, Balter S, Dixon R, Padovani R. Occupational Radiation Protection in Interventional Radiology: A Joint Guideline of the Cardiovascular and Interventional Radiology Society of Europe and the Society of Interventional Radiology. *Cardiovasc Interv Radiol Avr*. 2010;33(2).

154. Sianos G, Werner GS, Galassi AR, Papafaklis MI, Escaned J, Hildick-Smith D, et al. Recanalisation of chronic total coronary occlusions: 2012 consensus document from the EuroCTO club. *EuroIntervention J Eur Collab Work Group Interv Cardiol Eur Soc Cardiol*. 15 mai 2012;8(1):139-45.
155. Authority (ASN) F nuclear safety. Press Release on HERCA-DAP (Dose Area Product) display proposal. [cité 10 mai 2020]; Disponible sur: <http://www.french-nuclear-safety.fr/Information/News-releases/Press-Release-on-HERCA-DAP-Dose-Area-Product-display-proposal>
156. Brenner D, Huda W. Effective dose: a useful concept in diagnostic radiology? *Radiat Prot Dosimetry*. 1 mars 2008;128(4):503-8.
157. Chateil J-F, Aubert B, Brisse H. Ordre de grandeur des doses délivrées en radiodiagnostic. *J Radiol*. nov 2010;91(11):1192-200.
158. Lisbona A, Aubert B, Beaumont S, Catala A, Cohard C, Cordoliani Y-S, et al. DOSIMETRIE DES EXPLORATIONS DIAGNOSTIQUES EN RADIOLOGIE. :100.
159. - European Commission (2008),. European Guidance on Estimating Population Doses from Medical X-Ray Procedures, Radiation Protection n°154,. Eur Comm DG Energy-Transp 2008.
160. International Commission on Radiological protection (1990),. *Recommandations 1990 de la Commission Internationale de protection Radiologique Publication 60 de la CIPR (1990) –*. Ed En Lang Fr - Pergamon Press Oxf.
161. Shrimpton. *Fantôme simulation de Monte Carlo*, 2004.
162. ICRP, authors no. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP publication 103. - PubMed - NCBI. *Ann ICRP* 2007372-41-332 [Internet]. [cité 13 mai 2020]; Disponible sur: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18082557>
163. Heilmaier C, Zuber N, Berthold C, Kara L, Weishaupt D. Establishing Local Diagnostic Reference Levels in IR Procedures with Dose Management Software. *J Vasc Interv Radiol*. 1 mars 2017;28(3):429-41.
164. Chida K, Saito H, Otani H, Kohzuki M, Takahashi S, Yamada S, et al. Relationship Between Fluoroscopic Time, Dose–Area Product, Body Weight, and Maximum Radiation Skin Dose in Cardiac Interventional Procedures. *Am J Roentgenol* [Internet]. 23 nov 2012 [cité 16 mai 2020]; Disponible sur: <https://www.ajronline.org/doi/full/10.2214/AJR.04.1653>
165. Legifrance. Arrêté du 23 mai 2019 portant homologation de la décision n° 2019-DC-0667 de l’Autorité de sûreté nucléaire du 18 avril 2019 relative aux modalités d’évaluation des doses de rayonnements ionisants délivrées aux patients lors d’un acte de radiologie, de pratiques interventionnelles radioguidées ou de médecine nucléaire et à la mise à jour des niveaux de référence diagnostiques associés | Legifrance. Legifrance [Internet]. [cité 16 mai 2020]; Disponible sur: <https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=LEGITEXT000038533509&dateTexte=20190625>

166. Le DACS, partenaire de la qualité de la prise en charge radiologique [Internet]. [cité 8 mai 2019]. Disponible sur: <http://www.dsih.fr/article/1712/le-dacs-partenaire-de-la-qualite-de-la-prise-en-charge-radiologique.html>
167. LE DACS, UN FACTEUR DE QUALITÉ DE LA PRISE EN CHARGE RADIOLOGIQUE [Internet]. [cité 8 mai 2019]. Disponible sur: <http://www.thema-radiologie.fr/actualites/1238/le-dacs-un-facteur-de-qualite-de-la-prise-en-charge-radiologique.html>
168. Heilmaier C, Niklaus Z, Berthold C, Kara L, Weishaupt D. Improving Patient Safety: Implementing Dose Monitoring Software in Fluoroscopically Guided Interventions. *J Vasc Interv Radiol*. 1 nov 2015;26(11):1699-709.
169. Pyfferoen L, Mulkens TH, Zanca F, Bondt TD, Parizel PM, Casselman JW. Benchmarking adult CT-dose levels to regional and national references using a dose-tracking software: a multicentre experience. *Insights Imaging*. oct 2017;8(5):513-21.
170. A DACS (Dose Archiving and Communication System) successful implementation in a private and multisite radiology group - ScienceDirect [Internet]. [cité 8 mai 2019]. Disponible sur: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1120179717305884>
171. Impact du capteur plan et de la fusion d'image sur l'irradiation peropératoire lors des procédures endovasculaires aortiques, Hertault A..pdf [Internet]. [cité 11 juin 2020]. Disponible sur: <https://pepite-depot.univ-lille2.fr/nuxeo/site/esupversions/a79b8bf1-7bba-4212-8d13-2e42169a3e3a>
172. Chaikof EL, Blankensteijn JD, Harris PL, White GH, Zarins CK, Bernhard VM, et al. Reporting standards for endovascular aortic aneurysm repair. *J Vasc Surg*. 1 mai 2002;35(5):1048-60.
173. Suzuki S, Furui S, Yamaguchi I, Yamagishi M, Watanabe A, Abe T, et al. Effective Dose during Abdominal Three-dimensional Imaging with a Flat-Panel Detector Angiography System1. *Radiology* [Internet]. 1 févr 2009 [cité 13 mai 2020]; Disponible sur: <https://pubs.rsna.org/doi/abs/10.1148/radiol.2502080695>
174. Saltybaeva N, Jafari ME, Hupfer M, Kalender WA. Estimates of Effective Dose for CT Scans of the Lower Extremities. *Radiology* [Internet]. 16 juin 2014 [cité 13 mai 2020]; Disponible sur: <https://pubs.rsna.org/doi/abs/10.1148/radiol.14132903>
175. Defez D, Didier DEFEZ (coordinateur), Centre Hospitalier Lyon Sud, Pierre Bénite, Serge DREUIL Institut Gustave Roussy, Villejuif, Sébastien HAPDEY Centre Henri Becquerel, Rouen, Cyril LELEU Centre Hospitalier de Cornouaille, Quimper. Dosimétrie des explorations diagnostiques en radiologie. Société Fr Phys Médicale.
176. American Association of Physicists Medicine. Report No. 096 - The Measurement, Reporting, and Management of Radiation Dose in CT (2008).
177. European Society of Radiology, 2017. EUCLID [Internet]. Disponible sur: <http://www.eurosafeimaging.org/euclid>

178. Geryes et al., 2019. Patient dose evaluation in computed tomography: A French national study based on clinical indications. *Phys Medica* 61 Pp 18–27.
179. commission européenne. radiation protection 109. *Comm Eur*.
180. F P, J P, A D, T F, Jb F, C M, et al. Reduced-dose Low-Voltage Chest CT Angiography With Sinogram-affirmed Iterative Reconstruction Versus Standard-Dose Filtered Back Projection [Internet]. Vol. 267, *Radiology*. *Radiology*; 2013 [cité 11 juin 2020]. Disponible sur: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23297336/>
181. Mj W, Pa de J, T L, Lm de H, Ra N, Rp B, et al. Iterative Reconstruction Techniques for Computed Tomography Part 1: Technical Principles [Internet]. Vol. 23, *European radiology*. *Eur Radiol*; 2013 [cité 11 juin 2020]. Disponible sur: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23314600/>
182. D J, A W, S U, K K, R N, D B, et al. Endoleak Detection Using Single-Acquisition Split-Bolus Dual-Energy Computer Tomography (DECT) [Internet]. Vol. 27, *European radiology*. *Eur Radiol*; 2017 [cité 11 juin 2020]. Disponible sur: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27436027/>
183. European Commission. Diagnostic Reference Levels in thirty-six european countries, Radiation protection n°180. *Radiat Prot N°180 Eur Comm*.
184. European Commission. Diagnostic Reference Levels in thirty-six european countries, Radiation protection n°180.
185. Niveaux de référence diagnostiques en radiologie [Internet]. AFCN - Agence fédérale de Contrôle nucléaire. 2020 [cité 23 mai 2020]. Disponible sur: <https://afcn.fgov.be/fr/professionnels/professions-medicales/applications-radiologiques/nrd>
186. Compagnone G, Padovani R, D'Ercole L, Orlacchio A, Bernardi G, D'Avanzo MA, et al. Provision of Italian diagnostic reference levels for diagnostic and interventional radiology. *Radiol Med (Torino)*. 1 avr 2020;1-7.
187. National Diagnostic Reference Levels (NDRLs) from 19 August 2019 [Internet]. GOV.UK. [cité 23 mai 2020]. Disponible sur: <https://www.gov.uk/government/publications/diagnostic-radiology-national-diagnostic-reference-levels-ndrls/ndrl>
188. Schegerer A, Loose R, Heuser LJ, Brix G. Diagnostic Reference Levels for Diagnostic and Interventional X-Ray Procedures in Germany: Update and Handling. *RöFo - Fortschritte Auf Dem Geb Röntgenstrahlen Bildgeb Verfahr*. août 2019;191(08):739-51.
189. Aberle C, Ryckx N, Treier R, Schindera S. Update of national diagnostic reference levels for adult CT in Switzerland and assessment of radiation dose reduction since 2010. *Eur Radiol*. 1 mars 2020;30(3):1690-700.
190. Panuccio G, Greenberg RK, Wunderle K, Mastracci TM, Eagleton MG, Davros W. Comparison of indirect radiation dose estimates with directly measured radiation dose for patients and operators during complex endovascular procedures. *J Vasc Surg*. 1 avr 2011;53(4):885-894.e1.

191. Ruiz-Cruces R, Vano E, Carrera-Magariño F, Moreno-Rodriguez F, Soler-Cantos MM, Canis-Lopez M, et al. Diagnostic reference levels and complexity indices in interventional radiology: a national programme. *Eur Radiol*. 1 déc 2016;26(12):4268-76.
192. Tuthill E, O’Hora L, O’Donohoe M, Panci S, Gilligan P, Campion D, et al. Investigation of reference levels and radiation dose associated with abdominal EVAR (endovascular aneurysm repair) procedures across several European Centres. *Eur Radiol*. nov 2017;27(11):4846-56.
193. Tzanis E, Ioannou CV, Tsetis D, Lioudaki S, Matthaiou N, Damilakis J. Complexity-based local diagnostic reference levels (DRLs) for standard endovascular aneurysm repair (EVAR) procedures. *Phys Medica Eur J Med Phys*. 1 mai 2020;73:89-94.
194. Greffier J, Etard C, Mares O, Pereira F, Defez D, Duverger C, et al. Patient dose reference levels in surgery: a multicenter study. *Eur Radiol*. 1 févr 2019;29(2):674-81.
195. Motaganahalli R, Martin A, Feliciano B, Murphy MP, Slaven J, Dalsing MC. Estimating the risk of solid organ malignancy in patients undergoing routine computed tomography scans after endovascular aneurysm repair. *J Vasc Surg*. 1 oct 2012;56(4):929-37.
196. Zhou W. Radiation exposure of vascular surgery patients beyond endovascular procedures. *J Vasc Surg*. 1 janv 2011;53(1):39S-43S.
197. Zener R, Johnson P, Wiseman D, Pandey S, Mujoomdar A. Informed Consent for Radiation in Interventional Radiology Procedures: *Can Assoc Radiol J* [Internet]. 1 févr 2018 [cité 21 mai 2020]; Disponible sur: https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1016/j.carj.2017.07.002?url_ver=Z39.88-2003&rfr_id=ori%3Arid%3Acrossref.org&rfr_dat=cr_pub++0pubmed
198. Semelka RC, Armao DM, Jorge Elias J, Picano E. The Information Imperative: Is It Time for an Informed Consent Process Explaining the Risks of Medical Radiation? *Radiology* [Internet]. 1 janv 2012 [cité 21 mai 2020]; Disponible sur: <https://pubs.rsna.org/doi/abs/10.1148/radiol.11110616>
199. Dose-Reference-Card, American College of Radiology.pdf [Internet]. [cité 30 mai 2020]. Disponible sur: <https://www.acr.org/-/media/ACR/Files/Radiology-Safety/Radiation-Safety/Dose-Reference-Card.pdf>
200. Alkadhi H, Leschka S. Radiation dose of cardiac computed tomography – what has been achieved and what needs to be done. *Eur Radiol*. 1 mars 2011;21(3):505-9.
201. RI M, Tc G, Ch M. Radiation Dose in Computed Tomography of the Heart [Internet]. Vol. 107, *Circulation*. *Circulation*; 2003 [cité 11 juin 2020]. Disponible sur: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12591765/>
202. Effet de différentes doses de rayonnements ionisants sur la pathologie anévrismale aortique chez la souris [Internet]. [cité 11 juin 2020]. Disponible sur: https://www.irsn.fr/FR/Larecherche/Formation_recherche/Theses/propositions-theses-2020/Pages/SAN20-13-Effet-doses-rayonnements-ionisants-pathologie-anevrismale-aortique-souris.aspx#.XuFwcUUzaUk

AUTEUR : Nom : MANFREDI

Prénom : Philippe

Date de Soutenance : 03 juillet 2020

Titre de la Thèse : Suivi dosimétrique longitudinal péri-opératoire dans le cadre de la prise en charge chirurgicale des pathologies aortique et iliaque primitive : expérience d'un centre à haut volume

Thèse - Médecine - Lille 2020

Cadre de classement : Chirurgie Vasculaire

DES + spécialité : DES Chirurgie Générale, DESC Chirurgie Vasculaire

Mots-clés : Pathologies aortiques, Irradiation, Rayonnement ionisant, Suivi dosimétrique

Résumé :

INTRODUCTION :

L'objectif était d'analyser la dose efficace cumulée (DE) délivrée aux patients, de l'imagerie diagnostique à 18 mois post-opératoires, lors de la prise charge globale d'une pathologie aorto-iliaque primitive dans un centre à haut volume doté d'un DACS (Dose Archiving and Communication System) multi-modalité.

METHODE :

Les patients présentant un anévrisme aortique, une évolution anévrismale de dissection de type B ou une artériopathie oblitérante aorto-iliaque primitive nécessitant une intervention plus de 24 heures après l'imagerie diagnostique étaient inclus dans une étude rétrospective, observationnelle, descriptive et monocentrique, au sein du CHU de Lille. Le recueil de données a été réalisé à l'aide de la solution DACS DoseWatch® (GE Healthcare Systems, Buc, France) et des dossiers patients informatisés. Le diagnostic, le type d'intervention et les indicateurs dosimétriques dont la DE ont été recueillis. Trois groupes diagnostiques ont été retenus : anévrisme abdominal et iliaque (AAA), anévrisme thoraco-abdominal (ATA) et artériopathie oblitérante aorto-iliaque (AOAI). La médiane, les 1^{er} et 3^{ème} quartiles de l'ensemble des données recueillies ont été calculés.

RESULTATS :

De janvier 2017 à juillet 2018, 314 patients ont bénéficié d'une prise en charge endovasculaire ou à ciel ouvert d'AAA (n : 219, 70%), d'ATA (n : 20, 6%) ou d'AOAI (n : 75, 24%). La DE cumulée globale du groupe AAA était de 44,8 mSv [28,8-76,8], avec une DE cumulée globale de 56,3 mSv [40,2-89,4] pour les AAA traités en endovasculaire et de 19,2 mSv [8,9-30,8] pour ceux traités à ciel ouvert ($p < 0,0001$). La DE cumulée globale du groupe ATA était de 85,1 mSv [70,8-115,5], avec une DE cumulée globale de 102,6 mSv [76,5-131,1] pour les ATA traités en endovasculaire et de 69 mSv [57,5-77,1] pour ceux traités à ciel ouvert ($p = 0,066$). La DE cumulée globale du groupe AOAI était de 14,2 mSv [9,8-26,9], avec une DE cumulée globale de 14 mSv [10-21,8] pour les AAA traités en endovasculaire et de 16,1 mSv [9,8-31,3] pour ceux traités à ciel ouvert ($p = 0,209$).

CONCLUSION :

Un suivi dosimétrique de référence d'un patient vasculaire lors de sa prise en charge globale ainsi que des niveaux de référence diagnostiques (NRD) locaux scanographiques et interventionnels selon les indications cliniques aorto-iliaques ont été établis. Notre centre appliquait les principes de radioprotection et les doses délivrées étaient inférieures aux NRD en vigueur.

Composition du Jury :

Président :

Monsieur le Professeur Jonathan SOBOCINSKI

Assesseurs :

Monsieur le Professeur Jean-Pierre PRUVO

Monsieur le Professeur Jacques CHEVALIER

Monsieur le Docteur François PONTANA

Directeur de Thèse :

Monsieur le Docteur Benjamin LONGERE