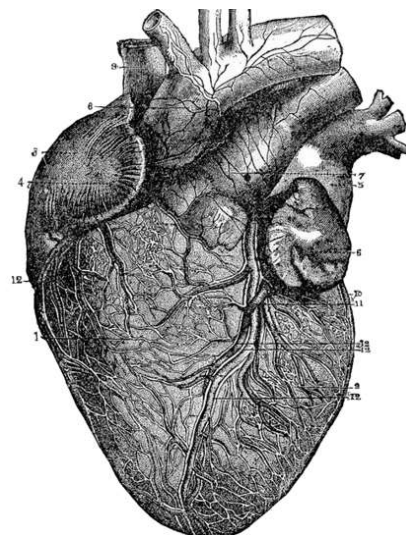




Mémoire de fin d'études :

L'impact de l'imagerie intravasculaire sur le placement des stents coronaires : une réévaluation fondamentale

Comment cette technologie impacte-elle le déploiement du stent et comment son intégration sur le marché influence le secteur de la cardiologie, jonglant entre avancées techniques et défis d'adoption ?

*Master 2 Ingénierie de la Santé parcours Healthcare Business &
Recherche Clinique, spécialité Healthcare Business*

Date de soutenance : 10 juillet 2024

- Présidente de jury : Gloria DOSSOU, Maître de conférences et responsable du master Healthcare Business et Recherche Clinique
- Directeur de mémoire : Alexandre WALLARD, Maître de conférences
- 3e membre de jury : Shihad SABAHI, Chef de produit

Remerciements

Ce mémoire marque la fin de mes cinq années d'études à la Faculté d'Ingénierie et de Management de la Santé, clôturant mon parcours académique et marquant le début d'un nouveau chapitre.

Je souhaite tout particulièrement remercier mon directeur de mémoire, Monsieur Alexandre WALLARD, pour sa disponibilité et surtout ses précieux conseils, qui ont permis d'alimenter ma réflexion tout au long de la rédaction de ce mémoire. Sa supervision attentive et sa réactivité ont été d'une grande valeur.

Merci également à Madame Gloria DOSSOU, maître de conférences en Sciences de Gestion, responsable du Master Healthcare Business. Ses cours de qualité et son encadrement ont grandement contribué à mon parcours universitaire. Je lui suis reconnaissante pour le partage de ses connaissances et son expertise.

Je souhaite également exprimer ma gratitude envers Shihad SABAHI, pour son soutien et ses précieux conseils dans la rédaction de mon mémoire.

Mes remerciements s'adressent également à tous les cardiologues interventionnels qui ont contribué à la réalisation de ce mémoire en prenant le temps de répondre à mon questionnaire, de le partager et de participer aux entretiens. Leurs contributions, basées sur leur expérience et leurs ressentis, ont apporté une valeur ajoutée considérable à mon travail.

Je n'oublie pas de remercier chaleureusement mes proches qui m'ont constamment soutenu dans l'élaboration de mon projet professionnel et ont été un véritable soutien.

Enfin, je souhaite exprimer ma gratitude à ma mère et ma grand-mère pour leur soutien inébranlable tout au long de mes études supérieures. C'est à elles que je dois ma réussite.

Table des matières

Remerciements.....	1
Table des matières.....	2
Liste des figures.....	4
Liste des tableaux.....	4
Liste des abréviations.....	5
Introduction.....	6
Partie 1 - Revue de la littérature.....	8
I. La maladie coronarienne.....	8
A. Anatomie du coeur.....	8
B. L'athérosclérose.....	10
1. Epidémiologie.....	10
2. Définition.....	11
3. Prise en charge.....	12
II. La cardiologie interventionnelle.....	12
A. PCI : comment la norme a été établie.....	12
B. L'histoire des stents.....	15
III. L'imagerie intravasculaire.....	17
A. Principes et types d'imagerie intravasculaire.....	18
B. Application clinique.....	21
C. Avantages et limitations.....	25
D. La légitimité des actes d'imagerie intravasculaire.....	28
Partie 2 - Contexte et méthodologie.....	30
A. Contexte et objet de l'étude.....	30
B. Choix de la méthodologie.....	30
C. Description de la population étudiée.....	31
Partie 3 - Analyse des résultats.....	33
I. L'utilisation de l'IVUS et de l'OCT dans la pratique clinique - Un aperçu des pratiques actuelles.....	33
A. Profil des cardiologues interrogés.....	33
B. L'intégration de l'IVUS et de l'OCT dans les procédures PCI.....	34
C. La formation des techniques d'imagerie intravasculaire.....	39
II. Les avantages et les défis de l'imagerie intravasculaire - Un équilibre entre précision et contraintes.....	42
A. Avantages perçus des technologies IVUS et OCT.....	42
B. Obstacles à l'adoption des technologies d'imagerie intravasculaire.....	45
C. L'impact des technologies sur les résultats cliniques.....	47
III. Perceptions des cardiologues envers l'imagerie intravasculaire.....	50

A. L'avenir de l'imagerie intravasculaire.....	50
Partie 4 - Recommandations.....	53
I. Recommandations cliniques.....	53
A. Légitimer la pratique par les études et la communication.....	53
B. Suivi des résultats cliniques et retour d'expérience.....	54
II. Recommandations économiques.....	55
A. Amélioration du système de remboursement.....	55
B. Support de l'industrie.....	56
III. Recommandations pour la formation et l'éducation.....	58
A. Programmes de formation initiale et continue.....	58
B. Congrès et ateliers.....	59
Conclusion.....	60

Liste des figures

<u>Figure 1</u> : Anatomie des artères coronaires.....	12
<u>Figure 2</u> : Structure d'une artère [7].....	13
<u>Figure 3</u> : Evolution de l'athérosclérose [9].....	14
<u>Figure 4</u> : Étapes de l'angioplastie coronaire [14].....	17
<u>Figure 5</u> : Angiographie coronaire lors d'une procédure PCI A. Occlusion totale de l'artère coronaire droite. B. Introduction du fil guide qui rétablit partiellement le flux sanguin. C. Dilatation par ballonnet et déploiement du stent. D. Etablissement du stent et flux sanguin restauré [33].....	22
<u>Figure 6</u> : Image IVUS d'une artère saine, en coupe axiale (A) et longitudinale (B) [35].....	22
<u>Figure 7</u> : image OCT d'une artère saine [37].....	23
<u>Figure 8</u> : Morphologie de différentes lésions par imagerie intravasculaire [38].....	25
<u>Figure 9</u> : Approches de dimensionnement des stents basées sur IVUS et OCT [41].....	26
<u>Figure 10</u> : Malapposition de stent [55].....	27
<u>Figure 11</u> : Critères d'optimisation du stent [41].....	28
<u>Figure 12</u> : thèmes des interventions PCI guidée par imagerie intravasculaire.....	47

Liste des tableaux

<u>Tableau 1</u> : Facteurs de risque [8].....	12
<u>Tableau 2</u> : Différence de coût entre les actes de radiologie interventionnelle et d'imagerie intravasculaire [54, 55].....	30
<u>Tableau 3</u> : Les entretiens réalisés.....	34

Liste des abréviations

BMS : Bare Metal Stent

BRS : Biorésorbables Stent

CAD : Coronary Artery Disease

CV : Maladies Cardiovasculaires

DES : Drug Eluting Stent

EEL : External Elastic Lamina

FDA : Food and Drug Administration

IEL : Internal Elastic Lamina

IVUS : Échographie Intravasculaire

MLA : Minimal Lumen Area

MSA : Minimal Stent Area

OCT : tomographie par cohérence optique

PCI : intervention coronaire percutanée

Introduction

Au fil des dernières décennies, le domaine de la cardiologie interventionnelle a bénéficié d'avancées marquantes qui ont profondément révolutionné l'approche du traitement de la maladie coronarienne, coronary artery disease (CAD) en anglais. Le principal progrès a été l'introduction de l'implantation de stents coronaires, ayant un impact significatif en cardiologie interventionnelle. L'introduction du premier stent coronaire utilisant l'intervention coronaire percutanée (PCI), aussi appelé angioplastie, s'est révélé être une méthode fondamentale dans la prise en charge de la CAD, améliorant les résultats à court et à long terme. [1,2]

L'introduction de l'imagerie intravasculaire a apporté une dimension supplémentaire à la précision et à l'efficacité de cette procédure. Des techniques telles que l'échographie intravasculaire (IVUS) et la tomographie par cohérence optique (OCT) permettent désormais une évaluation en temps réel et très précise de la morphologie des artères coronaires, facilitant le choix du stent approprié et optimisant son placement [3]. Ces avancées ont non seulement amélioré les résultats cliniques [4] mais ont également posé de nouveaux défis, notamment en termes d'adoption par les praticiens et d'intégration dans les protocoles standards de soins [5].

Cependant, malgré leur efficacité prouvée, l'utilisation généralisée de ces technologies intravasculaires reste inégale, soulevant des questions sur les obstacles à leur adoption et l'impact de leur intégration sur la pratique de la cardiologie. Par ailleurs, avec une augmentation constante du nombre de procédures PCI depuis les deux dernières décennies [6], il devient essentiel de non seulement maximiser l'efficacité et la sécurité de l'intervention mais également de minimiser le risque de resténoses. Ainsi, l'utilisation de l'imagerie intravasculaire est fondamentale et nécessite une réévaluation approfondie pour garantir les meilleurs résultats possibles pour chaque patient.

Face à ces constats, ce mémoire se propose d'explorer l'impact de l'imagerie intravasculaire sur le placement des stents coronaires et de réévaluer son rôle dans la transformation des pratiques en cardiologie. Ainsi, la problématique suivante se pose :

Comment l'imagerie intravasculaire impacte-elle le déploiement du stent et comment son intégration sur le marché influence le secteur de la cardiologie, jonglant entre avancées techniques et défis d'adoption ?

Pour répondre à cette problématique, notre démarche se décompose en plusieurs étapes. Nous commencerons par une revue de la littérature pour retracer l'évolution des maladies coronariennes, du placement des stents et des technologies d'imagerie associées. Ensuite, nous nous pencherons sur les principes, les applications et les avantages de l'imagerie intravasculaire. Par la suite, le contexte et la méthodologie de notre étude seront précisés. Nous procéderons ensuite à une analyse des résultats afin d'évaluer les pratiques actuelles, les avantages, les obstacles majeurs ainsi que les perspectives d'avenir de l'imagerie intravasculaire. Enfin, des recommandations seront formulées à l'intention des cardiologues et des industriels, en vue de favoriser une meilleure intégration de ces technologies dans la pratique courante.

Partie 1 - Revue de la littérature

Depuis leurs premières introductions, les stents coronaires ont révolutionné la cardiologie interventionnelle, offrant des alternatives moins invasives et plus efficaces pour les patients souffrant de maladie coronarienne. En examinant en détail l'athérosclérose et les interventions PCI, notre objectif est de souligner l'influence considérable de l'imagerie intravasculaire sur le placement des stents coronaires.

Avant de nous pencher spécifiquement sur l'impact de l'imagerie intravasculaire dans ce domaine, il est essentiel de comprendre dans un premier temps la maladie coronarienne. Nous explorerons ensuite comment la procédure de PCI est devenue une norme de soin et nous retracerons l'histoire des stents coronaires.

I. La maladie coronarienne

A. Anatomie du cœur

Le cœur est vascularisé par 2 artères coronaires naissant directement de l'aorte :

- **L'artère coronaire droite** : Elle descend le long du côté droit du cœur, tout en bifurquant et en fournissant du sang principalement au côté droit, ainsi qu'à certaines parties de la paroi arrière du cœur.
- **L'artère coronaire gauche**, également appelée **tronc commun** car elle se divise rapidement en deux branches principales :
 - **L'artère interventriculaire antérieure (IVA)** : Aussi connue sous le nom de descendance antérieure (LAD), elle descend le long de la partie avant du cœur, fournissant du sang à l'avant du cœur et à une grande partie du septum interventriculaire.
 - **L'artère circonflexe (LCx)** : Elle contourne le côté gauche du cœur, fournissant du sang à la partie latérale et arrière du cœur.

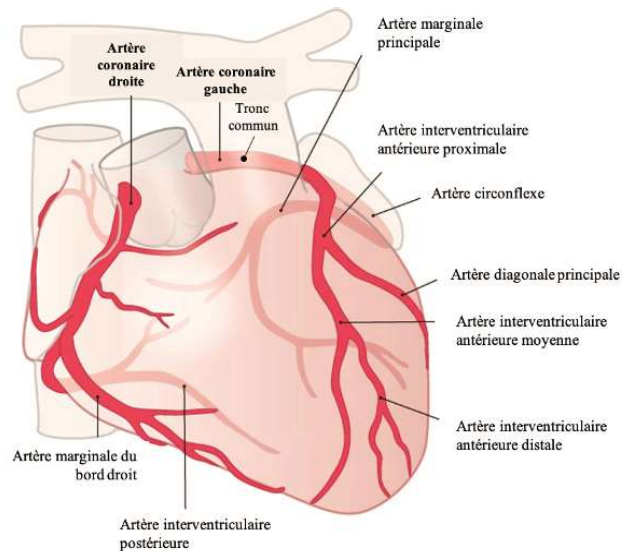


Figure 1 : Anatomie des artères coronaires

Pour bien comprendre la maladie coronarienne, il est essentiel de commencer par une présentation des structures anatomiques des artères. Les artères sont composées de trois couches distinctes qui peuvent être clairement identifiées par l'imagerie intravasculaire [7] :

- Tunica Intima : C'est la couche la plus interne de l'artère. Cette couche est cruciale car elle influence la dynamique du flux sanguin et joue un rôle dans les maladies vasculaires, notamment l'athérosclérose.
- Tunica Media : Cette couche moyenne est principalement composée de cellules musculaires lisses et de fibres élastiques.
- Tunica Adventitia ou Externa : La couche externe de l'artère est composée d'un tissu conjonctif lâche qui contient des nerfs et de petits vaisseaux sanguins, qui nourrissent les parois de l'artère.

Les limites entre les trois couches (intima, média, adventice) sont généralement bien distinctes, il existe une lame ou une membrane élastique interne (IEL) séparant l'intima de la média et une membrane élastique externe (EEL) séparant la média de l'adventice.

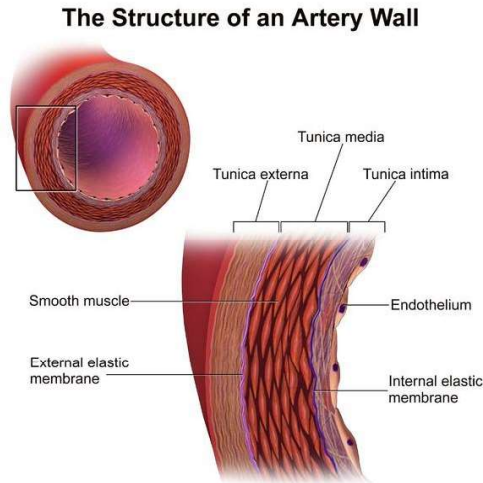


Figure 2 : Structure d'une artère [7]

B. L'athérosclérose

1. Epidémiologie

L'athérosclérose est la principale cause des maladies cardiovasculaires (CV). Elles constituent une préoccupation majeure en matière de santé publique à l'échelle mondiale. Elles représentent la première cause de mortalité à travers le monde et la deuxième en France, juste après le cancer. Ces maladies CV touchent plus souvent les hommes que les femmes, bien que le risque augmente pour ces dernières avec l'âge, surtout après la ménopause [8].

Il existe quatre facteurs de risque majeurs de l'athérosclérose pour les maladies CV. Les facteurs de risques non modifiables ne causent pas directement la maladie, mais servent d'indicateurs dont la présence varie avec la progression de la maladie.

Facteurs de risques principaux	Facteurs de risques non modifiables	Facteurs prédisposants
Tabac Hypercholestérolémie Diabète Hypertension artérielle	Âge Sexe masculin Hérité	Obésité Sédentarité Stress Condition psychosociales

Tableau 1 : Facteurs de risque [8]

2. Définition

L'athérosclérose est une accumulation de lipides, de cellules, de tissu conjonctif et de produits sanguins dans l'intima des artères, accompagnée de modifications de la média, comme la formation de tissu fibreux et de dépôts calcaires [8].

La formation de la plaque d'athérome débute lorsque les LDL (mauvais cholestérol) s'accumulent dans l'intima, la couche intérieure de l'artère. Ils sont oxydés par des radicaux libres, ce qui entraîne l'attraction des monocytes (un type de globules blancs) qui se transforment en macrophages et en cellules spumeuses. Ces cellules absorbent les LDL oxydés via des récepteurs scavengers (éboueurs), tandis que les LDL oxydés et des facteurs externes comme le tabagisme contribuent à endommager l'endothélium, la couche intérieure de l'artère [8].

L'inflammation qui en résulte provoque la migration des cellules musculaires lisses vers l'intima, où elles produisent du collagène et d'autres composants de la matrice extracellulaire. Ce processus forme le centre lipidique de la plaque, qui est finalement recouvert d'une chape fibreuse, stabilisant la plaque d'athérome.

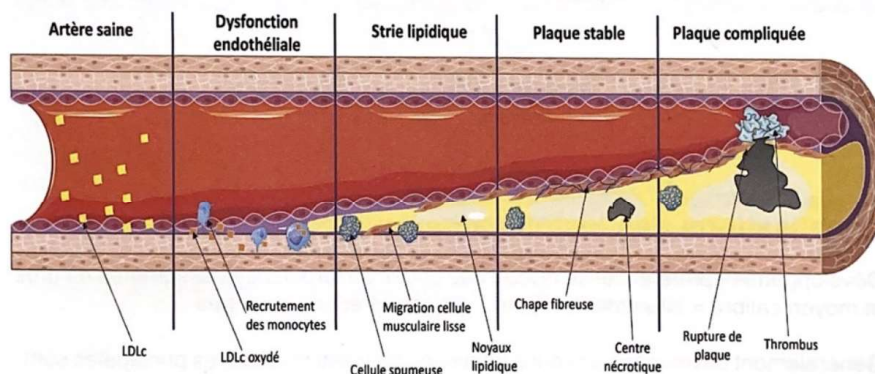


Figure 3 : Evolution de l'athérosclérose [9]

L'athérosclérose est une maladie progressive qui débute dès l'enfance et évolue lentement. Les plaques d'athérome se développent progressivement dans les artères en réduisant la cavité. Une sténose (le rétrécissement de l'artère) est considérée comme significative lorsqu'elle dépasse 50 % pour le tronc commun et 70 % pour les autres artères coronaires avec des symptômes comme l'angor d'effort [8].

Ces plaques peuvent rester stables ou devenir instables. L'instabilité se caractérise par des ruptures ou des érosions qui déclenchent des syndromes coronaires aigus

(SCA). Cette instabilité peut se produire brusquement, souvent déclenchée par une inflammation locale qui conduit à la formation d'un thrombus (caillot sanguin).

La progression des plaques peut aussi inclure la formation de tissus durs et calcifiés, augmentant ainsi la taille de la plaque. Ce phénomène réduit progressivement l'espace dans l'artère, causant un rétrécissement plus prononcé. En réponse, les artères peuvent subir un remodelage pour tenter de maintenir un débit sanguin adéquat en élargissant ou en réduisant leur diamètre. Toutefois, si la plaque se rompt subitement, ce remodelage peut se révéler insuffisant, bloquant complètement l'artère et nécessitant une intervention médicale [8].

3. Prise en charge

Le traitement commence souvent par des changements de mode de vie, tels qu'un régime équilibré, l'exercice régulier, l'arrêt du tabac et le maintien d'un poids santé. Parfois, des médicaments sont nécessaires, incluant des bêtabloquants (après un infarctus du myocarde), des statines pour baisser le taux cholestérol et des antiagrégants plaquettaires pour prévenir les caillots [8].

Le diagnostic débute généralement par un ECG, suivi de tests d'ischémie pour vérifier l'apport sanguin au cœur pendant l'effort. Si la maladie est avancée ou que les médicaments ne suffisent pas, des interventions comme la procédure PCI avec pose de stent ou un pontage aorto-coronarien peuvent être nécessaires pour rétablir la circulation sanguine.

II. La cardiologie interventionnelle

A. PCI : comment la norme a été établie

L'intervention coronarienne percutanée (PCI) est une procédure invasive non chirurgicale qui vise à réduire le rétrécissement ou l'occlusion de l'artère coronaire et à améliorer l'apport sanguin au tissu ischémique [10].

L'histoire de l'intervention coronaire percutanée (PCI) débute en 1963 aux États-Unis, lorsqu'un événement imprévu conduit Charles T. Dotter, le pionnier de l'angioplastie, à ouvrir involontairement une artère iliaque droite sténosée pendant une aortographie abdominale sur un patient souffrant de sténose de l'artère rénale

[11]. Inspiré par cette hasardeuse découverte, Dotter développe en 1964 l'angioplastie transluminale percutanée sur une patiente de 83 ans, évitant ainsi l'amputation de son pied, ce qui révolutionne le traitement des maladies vasculaires. Cette technique révolutionnaire consistait à élargir les artères obstruées en insérant progressivement des cathéters de plus en plus larges, évitant ainsi l'intervention chirurgicale [11]. Cet incident a conduit à la réalisation de la première angioplastie transluminale, qui a ouvert la voie à de futures interventions ciblées sur les artères spécifiques, y compris les artères coronaires.

Un jeune cardiologue allemand du nom d'Andreas Grüntzig, inspiré par les travaux de Dotter, a perfectionné et popularisé cette technique en l'adaptant spécifiquement aux artères coronaires. En 1977, Grüntzig a réalisé la première PCI avec succès, utilisant un cathéter équipé d'un ballon pour dilater une artère coronaire rétrécie [11]. Cette procédure a non seulement démontré la faisabilité et l'efficacité de la méthode dans le traitement de l'athérosclérose coronaire mais a aussi offert une alternative moins invasive que la chirurgie à cœur ouvert. Cette intervention a marqué le début de l'ère moderne de la cardiologie interventionnelle.

Au fil du temps, grâce aux avancées technologiques et à l'introduction de nouveaux matériaux comme les stents, les résultats de la PCI se sont considérablement améliorés, élargissant encore le champ des possibilités thérapeutiques dans la cardiologie interventionnelle.

Aujourd'hui, la procédure complète est composée de deux parties [12]:

- la coronarographie : procédure diagnostique visant à évaluer l'état des artères coronaires
- l'angioplastie coronaire (ou PCI): intervention thérapeutique destinée à traiter les rétrécissements artériels

Elle est réalisée dans un laboratoire de cathétérisme équipé d'un système guidé par imagerie à rayons X que le cardiologue utilise en temps réel durant toute l'intervention. Avant la procédure, un accès vasculaire est établi chez le patient, sous anesthésie locale, soit au niveau de l'artère radiale, soit au niveau de l'artère fémorale.

Dans un premier temps, le cardiologue interventionnel introduit un petit tube, appelé gaine et y insère un cathéter qu'il guide jusqu'au cœur. Une fois le cathéter en place, le liquide de contraste est injecté dans l'artère, la rendant ainsi visible aux rayons X et permettant de localiser les rétrécissements ou occlusions de l'artère.

Dans un second temps, le cardiologue fait passer un fil guide mince à travers le cathéter allant au-delà de la section rétrécie de l'artère. Un second cathéter équipé d'un ballonnet est inséré, le long du fil guide jusqu'à la zone. Lorsque le ballonnet est bien positionné dans la section de l'artère, il est gonflé pour ouvrir l'artère et restaurer le flux sanguin [10, 13]. Dans 80% des cas, lorsque l'angioplastie par ballonnet ne suffit pas, le médecin insère également un stent qui maintient l'artère ouverte [10].

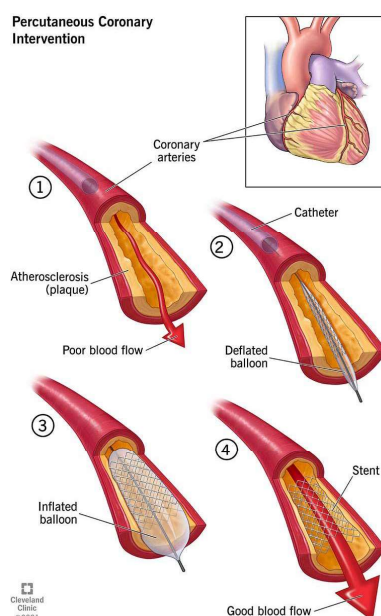


Figure 4 : Étapes de l'angioplastie coronaire [14]

L'angioplastie coronaire est devenue une pierre angulaire dans le traitement de la maladie coronarienne. Grâce à son approche peu invasive, cette procédure a prouvé son efficacité et sa sécurité, minimisant le risque de complications majeures [14]. Cette méthode révolutionnaire a non seulement transformé la prise en charge des patients souffrant de maladies coronariennes, mais elle a également ouvert la voie à l'innovation dans le domaine de la cardiologie interventionnelle. L'histoire des stents coronaires, en particulier, marque un chapitre important dans cette évolution.

B. L'histoire des stents

L'existence des stents coronaires apparaît dans les années 1980, marquant une ère de progrès significatifs dans le traitement de la maladie coronarienne. Les procédures d'angioplastie réalisées à cette période étaient sans déploiement de stent. Cette technique d'angioplastie par ballonnet, développé par A.Grüntzig, présentait des limites, notamment un risque de fermeture soudaine de l'artère et un manque de résultats durables dû au rétrécissement rapide de l'artère et une resténose. Une resténose déclenchée par la lésion due au ballonnet survenait chez 30% à 50% des patients traités par angioplastie classique par ballonnet [15]. Les stents métalliques ont été développés pour surmonter ces limitations.

En 1986, Jacques Puel et Ulrich Sigwart ont déployé le premier stent coronaire, le WALLSTENT (Schneider), empêchant ainsi la fermeture du vaisseau pendant la PCI et réduisant le taux de resténose. Ce premier stent était une structure auto-expansible en maille d'acier inoxydable, mais les défis techniques liés à son système de déploiement ont limité son utilité clinique et il a été retiré du marché en 1991. Par la suite en 1987, Schatz et ses collaborateurs ont développé le stent Palmaz-Schatz (Johnson & Johnson), le premier stent en acier inoxydable expansible par ballonnet, approuvé par la Food and Drug Administration (FDA) aux États-Unis [16].

En 1993 l'étude BENESTENT et STRESS, ont démontré la supériorité des stents métalliques nus (BMS) par rapport à l'angioplastie classique, établissant ainsi l'implantation de stents coronaires comme un standard de soin accepté pour la PCI. L'utilisation des stents coronaires a donc augmenté exponentiellement et, en 1999, les stents étaient utilisés dans près de 85% des procédures de PCI [16].

Ces premiers stents présentaient une incidence élevée de thrombose de stent, étaient volumineux et techniquement difficiles à utiliser, ce qui entraînait souvent des échecs de déploiement et des embolisations [16]. Pour surmonter les limitations des BMS, les stents à élution médicamenteuses (DES) ont été développés au début des années 2000. Contrairement aux BMS, qui sont de simples cadres métalliques, les DES sont recouverts de médicaments qui sont libérés lentement dans l'artère, aidant à prévenir la croissance anormale des cellules bloquant à nouveau le vaisseau [17].

Les stents à élution de médicament (DES) de première génération étaient principalement fabriqués en acier inoxydable. Les médicaments utilisés, le sirolimus et le paclitaxel, réduisaient le taux de resténose en inhibant la prolifération des cellules musculaires lisses. Cependant, les polymères durables des revêtements, bien que efficaces pour libérer les médicaments, pouvaient provoquer des réactions inflammatoires et des complications comme la thrombose du stent [18, 19, 20].

Cliniquement, ces DES ont réduit les taux de resténose de 60% à 80% par rapport aux BMS, améliorant les résultats pour les patients [21]. Toutefois, les risques de thromboses tardives ont conduit au développement de nouvelles générations de DES avec de meilleurs matériaux et revêtements [19].

Ainsi, les DES de deuxième génération ont utilisé des alliages plus avancés tels que le cobalt-chrome, qui offre une meilleure radiopacité et une plus grande finesse par rapport à l'acier inoxydable de la première génération [15]. Cette amélioration a permis de produire des stents plus fins avec des parois plus minces, augmentant la flexibilité et facilitant la mise en place du stent, particulièrement dans les artères sinueuses ou de petit calibre [19]. Les polymères des DES de deuxième génération sont plus biocompatibles et provoquent moins de réactions inflammatoires, libérant les médicaments de manière plus contrôlée pour réduire les risques de thrombose tardive [19, 22].

Des études comme SPIRIT et COMPARE ont systématiquement montré que les DES de deuxième génération surpassaient leurs prédécesseurs en termes de sécurité et d'efficacité, réduisant le risque de thrombose du stent [19].

Les DES de troisième génération utilisent des matériaux composés de polymères biodégradables. Ces polymères, principalement constitués d'acide polylactique, diminuent le risque de complications telles que les inflammations et les thromboses [19, 23, 24]. Par la suite, les stents sans polymère ont été développés pour éliminer les problèmes associés aux polymères utilisés dans les stents de générations antérieures, notamment les réactions inflammatoires [25, 26].

Au début des années 2010, les stents de quatrième génération biorésorbables (BRS) sont arrivés sur le marché. Au lieu d'une plateforme métallique, ces stents utilisent une structure de base en polymère conçue pour se dissoudre une fois le

médicament libéré [19, 24]. Bien que cette innovation soit originale et prometteuse, aucun de ces produits n'a réussi à se maintenir sur le marché en raison de leur faible résistance mécanique [19, 20, 23].

Bien que les DES soient généralement privilégiés pour la plupart des interventions PCI, les BMS restent largement utilisés dans certains pays [27, 28]. Les BMS sont encore utilisés dans environ 20 % des PCI et peuvent également être préférables en cas de lésions des gros vaisseaux, d'infarctus aigu du myocarde, mais aussi pour des raisons de coûts [27, 28, 29].

Les stents font également l'objet de controverses, notamment en ce qui concerne le sur-stenting. L'implantation excessive de stents lors de procédures PCI soulève de sérieuses préoccupations dans la communauté médicale. D'après une étude publiée en 2023 par l'Institut Lown, environ 22% des stents implantés aux États-Unis entre 2019 et 2021 étaient médicalement injustifiés, coûtant plus de 800 millions de dollars par an et mettant en danger la santé des patients [30]. Les stents non nécessaires peuvent entraîner des complications graves, telles que des réactions inflammatoires, des saignements, ou encore des thromboses de stent. Le problème semble provenir du système de rémunération du pays, qui privilégie le nombre d'interventions plutôt que la qualité des soins. Les cardiologues sont moins rémunérés pour discuter des risques et des traitements alternatifs que pour implanter le dispositif [30, 31, 32].

Cette controverse souligne l'importance de la précision dans le choix du stent et dans les techniques d'implantation. Elle met en évidence la nécessité d'une formation approfondie des praticiens et de l'utilisation d'outils d'imagerie intravasculaire comme l'IVUS (échographie intravasculaire) ou l'OCT (tomographie par cohérence optique), qui permettent d'évaluer plus précisément les caractéristiques de l'artère avant l'implantation et de vérifier l'expansion du stent après sa mise en place.

III. L'imagerie intravasculaire

Comme mentionné dans la première partie, les stents coronaires ont constitué une avancée majeure dans la technologie médicale, révolutionnant la pratique de la cardiologie interventionnelle. Cependant, ils ont soulevé de nouveaux défis,

notamment en termes de précision du placement et de surveillance des stents. Pour relever ces défis, l'imagerie intravasculaire a émergé comme un outil, permettant une visualisation précise et en temps réel des artères et des interventions.

Cette partie sera donc dédiée à la présentation de l'imagerie intravasculaire. Nous explorerons d'abord les principes et les différents types, notamment l'échographie intravasculaire (IVUS) et la tomographie en cohérence optique (OCT). Nous aborderons ensuite les applications cliniques, démontrant comment elles améliorent les procédures PCI avec pose de stent en guidant les interventions. Enfin, nous discuterons de l'impact significatif de l'imagerie intravasculaire sur les résultats cliniques, tout en examinant les défis et les limitations dans le contexte actuel de la cardiologie interventionnelle.

A. Principes et types d'imagerie intravasculaire

Aujourd'hui, l'angiographie coronaire est devenue la référence pour diagnostiquer les maladies des artères coronaires et pour guider les procédures PCI. Cependant, cette méthode montre ses limites, car elle tente d'analyser des structures tridimensionnelles avec des images bidimensionnelles. Cela a stimulé le développement d'autres technologies d'imagerie intravasculaire comme l'IVUS et l'OCT qui offrent une meilleure évaluation des sténoses et une description plus précise des plaques d'athérosclérose dans les artères.

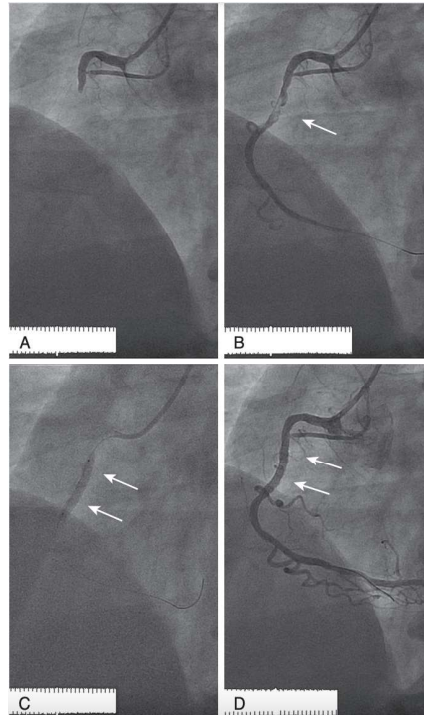


Figure 5 : Angiographie coronaire lors d'une procédure PCI A. Occlusion totale de l'artère coronaire droite. B. Introduction du fil guide qui rétablit partiellement le flux sanguin. C. Dilatation par ballonnet et déploiement du stent. D. Etablissement du stent et flux sanguin restauré [33]

L'IVUS, introduite dans les années 1980 est une modalité d'imagerie basée sur le son, qui utilise un cathéter intravasculaire pour générer des impulsions ultrasonores. Le cathéter est introduit dans l'artère jusqu'à l'endroit de la lésion. À mesure que le cathéter est retiré, il collecte les données des ondes ultrasonores réfléchies, qui sont ensuite converties en une image transversale en niveaux de gris du vaisseau [34].

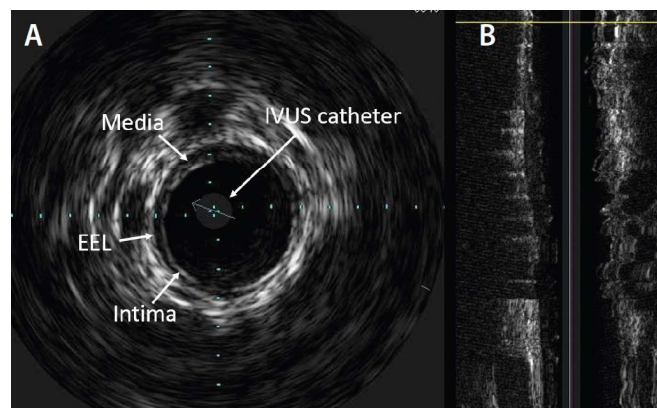


Figure 6 : Image IVUS d'une artère saine, en coupe axiale (A) et longitudinale (B) [35]

Sur la partie A de l'image, qui montre une vue en coupe transversale par échographie intravasculaire (IVUS), nous pouvons observer les différentes couches de la paroi d'une artère :

- Lumière Artérielle (Lumen) : C'est l'espace vide au centre de l'image où le sang circule. Elle apparaît au centre comme un cercle noir, entourée par la paroi de l'artère.
- IVUS cathéter : C'est le cathéter IVUS lui-même, situé au centre de la lumière artérielle, qui émet les ultrasons pour créer l'image.
- Paroi de l'Artère : Elle entoure la lumière et est composée de trois couches distinctes comme vu dans la première partie :
 - Intima : La couche la plus interne de l'artère, directement en contact avec le flux sanguin. Elle apparaît fine et brillante sur l'image.
 - Media : La couche médiane, cette couche réfléchit peu les ultrasons et se voit donc noire sur l'image.
 - Adventice : La couche externe de l'artère qui apparaît plus claire. Elle comprend la lame élastique externe (EEL) qui apparaît comme une ligne brillante sur l'image.

Contrairement à l'IVUS, qui utilise des ondes sonores pour créer des images, l'OCT utilise la lumière proche infrarouge, ce qui lui permet de capturer des images avec une résolution beaucoup plus élevée. L'image par OCT peut ainsi montrer des détails beaucoup plus fins de la paroi des artères et des plaques [33, 36].

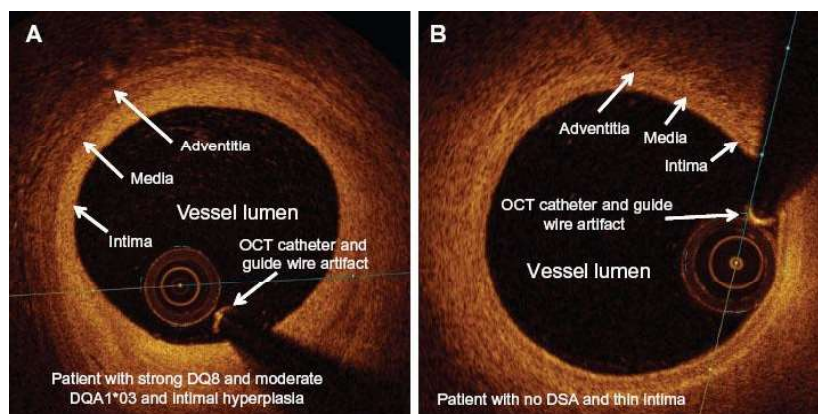


Figure 7 : image OCT d'une artère saine [37]

Les images produites par l'OCT sont générées par une méthode similaire à l'IVUS, à la différence que l'OCT utilise un cathéter muni d'une fibre optique. La lumière infrarouge étant atténuée par les globules rouges, l'OCT nécessite l'injection d'un produit de contraste afin d'éliminer le sang du champ de vision pendant l'acquisition de l'image [38]. Ces images illustrent les sections transversales d'une artère, mettant en évidence les différentes couches de la paroi vasculaire. Au centre de chaque image, la lumière artérielle se distingue comme une zone sombre, entourée par l'intima, la media et l'adventice, chacune ayant une densité optique spécifique qui aide à identifier leur composition et épaisseur. Des artéfacts noirs sur l'image, causés par le cathéter OCT, peuvent aussi être observés.

De nombreuses études montrent que ces outils peuvent répondre à des questions qui surgissent dans la pratique quotidienne tout en améliorant les résultats pour les patients. Cette sténose est-elle significative ? Où se trouve la lésion ? Quelle est la taille et la longueur de stent appropriées ? L'intervention a-t-elle été optimisée ? Pourquoi ce stent a-t-il présenté une resténose ?

B. Application clinique

L'imagerie intravasculaire fournit des images en coupe transversale des artères coronaires, incluant le lumen, la paroi vasculaire, la charge de la plaque, la composition et la distribution de la plaque, et même les structures péri-vasculaires, des informations rarement fournies par l'angiographie [39].

Elles sont utilisées aujourd'hui à différentes étapes des procédures de pose de stent, de l'évaluation pré-interventionnelle au suivi post-interventionnel.

Évaluation pré-interventionnelle

Avant l'intervention, l'imagerie intravasculaire est utilisée pour évaluer l'artère affectée. Cette étape permet de déterminer la structure et la composition de la plaque, d'évaluer la sévérité et l'étendue de la sténose, et de choisir le type et la taille du stent le plus adapté. L'identification de ces zones calcifiées est essentielle pour définir la meilleure stratégie d'intervention PCI, notamment pour la préparation de la lésion et le choix du stent.

Rappelons que l'athérosclérose est une accumulation de dépôts de plaque. Cette plaque peut contenir du calcium ou différents composants qui finissent par bloquer l'artère [8]. Les plaques d'athéroscléroses coronaires peuvent être classées selon 3 types : calcifiées, non calcifiées et mixtes. La calcification est une manifestation tardive de l'athérosclérose. Les stades antérieurs sont caractérisés par des plaques non calcifiées ou de composition mixte contenant des lipides et du tissu fibreux [40].

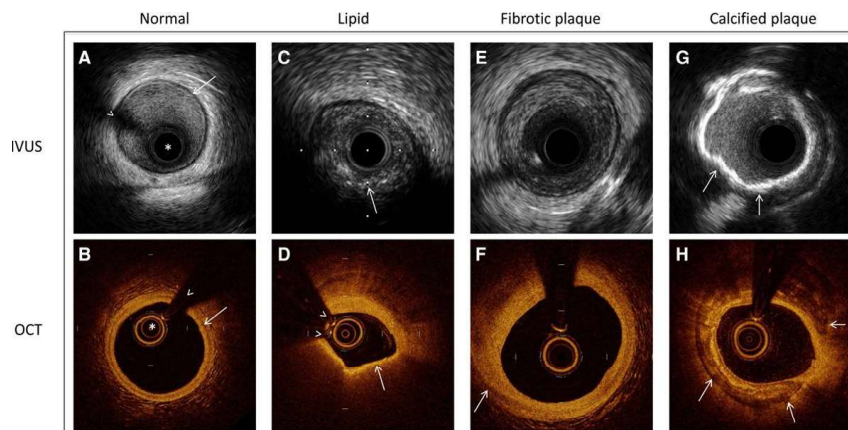


Figure 8 : Morphologie de différentes lésions par imagerie intravasculaire [38]

L'IVUS représente les plaques riches en lipides (C) comme des zones sombres où les ondes sonores ne pénètrent pas, créant des zones noires derrière la plaque. L'OCT, quant à lui, montre ces plaques (D) comme des zones où la lumière s'atténue fortement, mais avec une bande claire au-dessus qui indique la présence d'une fine couche protectrice.

Les plaques fibrotiques, qui sont un peu plus denses, apparaissent sur l'IVUS (E) avec une luminosité moyenne sans créer d'ombre, tandis que sur l'OCT (F), elles semblent uniformes et réfléchissent bien la lumière.

Les plaques calcifiées, qui sont très dures, brillent intensément sur les images IVUS (G) car les ondes sonores se réfléchissent entièrement, tandis que l'OCT (H) peut traverser le calcium et détailler précisément son épaisseur et ses limites.

Il existe plusieurs approches concernant le choix du stent. La première approche est la plus conservatrice et consiste à sélectionner un diamètre de stent basé sur les dimensions les plus petites du lumen de référence de l'artère (MLA). La deuxième méthode alternative prend en compte la moyenne des dimensions du lumen aux extrémités proximales et distales de l'artère pour déterminer le diamètre du stent.

Enfin, une troisième méthode utilise le plus grand diamètre de lumen observé, soit proximal soit distal [41].

Le choix du stent peut également se faire en fonction de la plus petite zone de la membrane élastique externe (EEL) observée et calculée par IVUS ou OCT. Dans ce cas, la référence utilisée est celle du segment distal de l'artère [41].

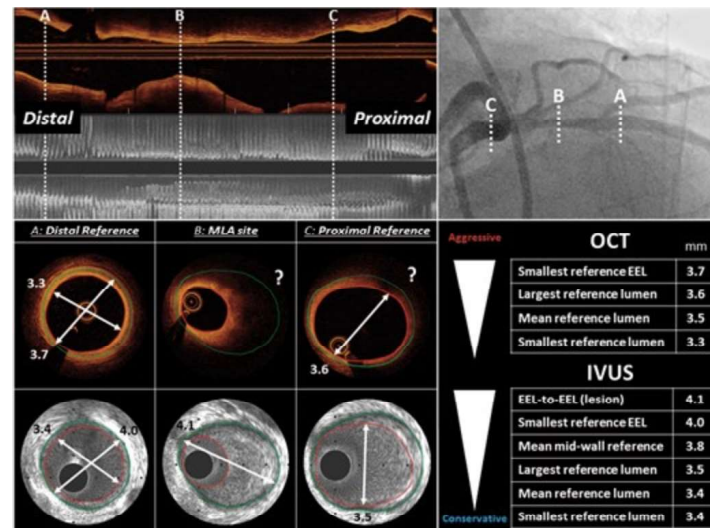


Figure 9 : Approches de dimensionnement des stents basées sur IVUS et OCT [41]

L'utilisation de l'imagerie intravasculaire comme outil de diagnostic s'avère être très utile pour le traitement de cas complexes de maladies coronariennes. En effet, l'angiographie à elle seule suffit quand la lésion est simple et localisée. Cependant dans les cas de bifurcation notamment dans l'artère du tronc commun, les occlusions totales et de lésions diffuses, l'imagerie intravasculaire est recommandée [42].

Suivi post-interventionnel

Le suivi post-interventionnel est une phase cruciale dans les procédures de pose de stent coronarien, car il permet d'évaluer l'efficacité de l'intervention et de prévenir les complications futures. L'imagerie intravasculaire joue un rôle essentiel à cette étape pour optimiser le déploiement du stent et éviter les problèmes tels que la malapposition du stent, notamment la sous-expansion.

La malapposition se produit lorsque le stent ne touche pas complètement la surface intérieure de l'artère. Une cause courante est l'utilisation d'un stent trop petit, par exemple, mettre un stent de 2,5 mm de diamètre dans une artère de 3,5 mm. La

sous-expansion du stent, qui se produit lorsque le stent déployé ne s'élargit pas suffisamment à cause des plaques résistantes ou d'une préparation insuffisante de la lésion, peut aussi mener à une malapposition. La malapposition et la sous-expansion peuvent coexister ou se produire indépendamment [34].

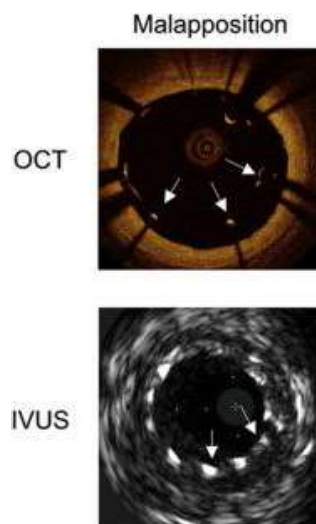


Figure 10 : Malapposition de stent [55]

La sous-expansion du stent se mesure par l'aire minimale du stent (MSA). Plus cette zone est grande, mieux c'est : cela améliore la longévité du stent et diminue le risque de complications. C'est donc un bon moyen de prédire l'efficacité du stent sur le long terme. Elle permet aux cardiologues d'ajuster leur technique pendant la procédure, par exemple en effectuant une post-dilatation (gonflage d'un ballonnet à l'intérieur du stent pour agrandir davantage la zone stentée) si cette mesure est jugée insuffisante. Selon les études faites avec l'IVUS, une aire idéale pour réduire les risques d'incidents après l'implantation du stent, est de 5,5 mm² [41]. Pour optimiser le stent, les critères incluent la MSA ainsi qu'une expansion de plus de 80% ou 90% de la surface de référence moyenne, combinant la zone proximale et distale.

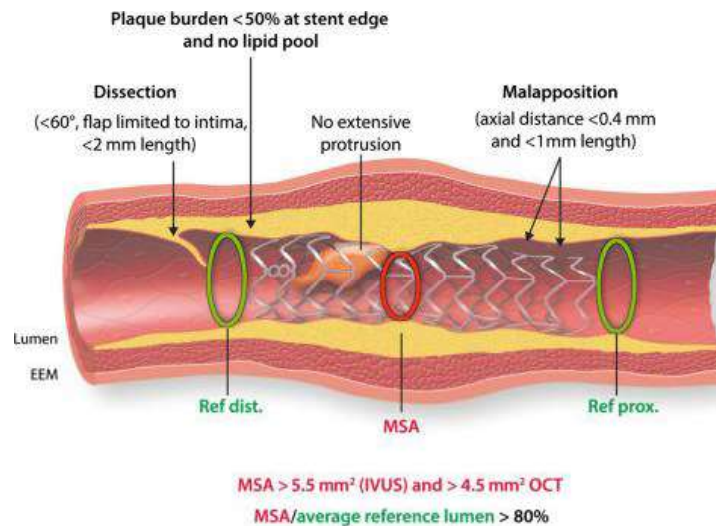


Figure 11 : Critères d'optimisation du stent [41]

C. Avantages et limitations

Une comparaison entre l'IVUS et l'OCT est souvent faite et les cliniciens peuvent préférer une modalité d'imagerie à l'autre. L'OCT et l'IVUS utilisent des technologies différentes pour produire des images intracoronaires et chaque modalité a ses propres avantages et inconvénients [41].

L'IVUS permet de visualiser la paroi du vaisseau sur toute son épaisseur, ce qui permet d'évaluer avant l'intervention PCI la charge de la plaque, l'étendue de la calcification, la longueur de la lésion et le diamètre de la lamelle élastique externe pour le dimensionnement du stent et, après PCI, la surface minimale du stent, la malapposition, la sous-expansion [42].

L'OCT présente des avantages particuliers dans l'évaluation de l'épaisseur du calcium, des lipides, des thrombus, de la rupture de la plaque, ainsi que de l'épaisseur et de l'apposition du stent. Cependant, l'OCT a une profondeur d'imagerie plus limitée et nécessite également un nettoyage sanguin par injection de produit de contraste [42].

Compte tenu de ces forces et faiblesses relatives, les deux modalités ont été comparées dans des études cliniques antérieures. Le tableau 1 résume les caractéristiques de chaque technique [43] ((+++)) indique une excellente performance

de la modalité ; (++) une performance modérée de la modalité ; (+) une performance médiocre de la modalité).

	IVUS	OCT
Résolution	120-200 µm	10-20 µm
Pénétration du tissu	8 mm	1-2 mm
Élimination du sang	Non	Oui
Dimension du lumen	+++	+++
Calcium	+	+++
Composants lipidiques	++	++

Tableau 1 : Caractéristiques de chaque technique

Les essais ILUMIEN (I, II, III, IV) démontrent que même si l'OCT ne surpasse pas toujours l'IVUS en termes de bénéfices cliniques, elle permet une meilleure visualisation des détails intravasculaires [41]. Cela favorise la précision lors de l'implantation du stent, grâce à une meilleure observation des plaques et des malappositions potentielles. Ainsi, l'OCT permet une meilleure expansion du stent et diminue les complications procédurales. De plus, les résultats de l'essai OCTOBER confirment que l'OCT améliore les résultats chez les patients présentant des lésions de bifurcation coronarienne, réduisant les incidents majeurs à deux ans comparé à l'angiographie [44].

D'autre part, les résultats de l'essai ULTIMATE illustrent que l'IVUS améliore les résultats cliniques en réduisant la resténose et en prolongeant la durée de vie du stent par rapport à l'angiographie [45]. D'autres études démontrent que comparé à l'angiographie, l'imagerie intravasculaire améliore la sécurité et l'efficacité des interventions PCI, réduisant ainsi le risque de complications telles que le décès, l'infarctus du myocarde, les revascularisations répétées et les thromboses de stent [46, 47, 48].

De récentes études ont évalué l'aspect financier de l'imagerie intravasculaire par rapport à l'angiographie. L'essai RENOVATE-COMPLEX-PCI en Corée, mené de 2018 à 2021, a comparé la rentabilité de la PCI guidée par imagerie intravasculaire à

celle guidée par angiographie pour les lésions coronaires complexes [49]. Cette analyse coût-efficacité s'intéressait à la durée de vie des patients pendant 3 ans, avec un seuil de rentabilité fixé à 35 000 dollars par QALY. Les résultats à court terme montraient un coût supplémentaire de 57 040 dollars par QALY, mais à long terme, l'imagerie se montre être plus économique. Bien que les études menées à l'étranger apportent des preuves importantes, les études européennes restent plus pertinentes pour les pratiques locales.

Au Royaume-Uni, une étude a montré que l'intervention PCI guidée par IVUS est plus économique que l'angiographie seule, diminuant la mortalité, les infarctus du myocarde et les réinterventions [50]. À long terme, cette méthode s'avère très rentable pour le système de santé britannique, ce qui justifie son coût initial plus élevé et favorise son adoption plus large. Bien que le système de santé britannique diffère des pays européens, cette étude pourrait inspirer des recherches similaires en Europe centrale.

L'imagerie intravasculaire améliore indéniablement les interventions PCI, mais reste malgré tout peu utilisée et adoptée par la communauté cardiologique. En France 3% des procédures PCI sont guidées par imagerie intravasculaire [51]. Plusieurs facteurs expliquent cette faible adoption, notamment le manque d'expérience des cardiologues, les contraintes de temps et de coût, ainsi que le manque de ressources disponibles [40, 52].

Une étude internationale a mis en lumière ces défis, montrant que le coût élevé des équipements et des consommables est le principal frein, cité par 65,9% des participants [53]. Ce coût est ressenti différemment en Europe (77,9 %) par rapport au Japon (57,1 %), en partie parce que l'imagerie n'est pas remboursée en Europe. D'autres difficultés incluent la durée de la procédure, surtout en Europe (52,6 %), et les problèmes liés au remboursement (29,3%). En Europe, le manque de formation et la complexité d'interprétation des images sont aussi des barrières importantes. Malgré ces défis, l'imagerie intravasculaire est souvent utilisée pour optimiser le placement des stents dans des situations spécifiques, guider les décisions cliniques et planifier les procédures de manière plus précise.

D. La légitimité des actes d'imagerie intravasculaire

La rapidité d'innovation et d'évolution de certaines techniques d'imagerie médicale nécessite leur inclusion dans la nomenclature des tarifs. En effet, cela entraîne un coût immédiat pour la structure hospitalière, mais permet d'obtenir des informations plus fiables et précises, qui à long terme, sont susceptibles de diminuer le coût d'une prise en charge.

A cet égard, l'imagerie intravasculaire n'a pas encore le statut et la reconnaissance complète en termes thérapeutiques et en termes médico-économiques qu'elle mériterait. Comme énoncé dans la sous-partie précédente, l'outil d'imagerie intravasculaire n'est pas remboursé. En effet, pour être rémunéré par l'Assurance Maladie et les complémentaires santé, les professionnels de santé conventionnés en France utilisent la classification commune des actes médicaux (CCAM) pour coder et facturer les actes qu'ils effectuent.

A présent, il semble pertinent de comparer le coût d'une coronarographie et d'une angioplastie (PCI), à celui d'un acte guidé par imagerie intravasculaire.

	Acte de radiologie interventionnelle	Cathéter d'imagerie intravasculaire (IVUS/OCT)
Coronarographie	Prix : 172,8 € Remboursement : oui	Prix : 1 500 - 4 000 € Remboursement : non
Angioplastie	Prix : 526,49 € Remboursement : oui	

Tableau 2 : Différence de coût entre les actes de radiologie interventionnelle et d'imagerie intravasculaire [54, 55]

Le tableau comparatif des coûts entre les actes de radiologie interventionnelle et l'imagerie intravasculaire met en avant plusieurs défis économiques. Bien que les actes de radiologie interventionnelle soient couverts par l'Assurance Maladie, ceux-ci sont peu rémunérés. A cela s'ajoute, le coût des sondes IVUS et OCT, qui est très élevé et représente une perte sèche pour les hôpitaux. Même si une même sonde peut être utilisée avant et après la pose de stents, cela ne permet pas de réduire le coût de l'équipement. Ainsi, une reconnaissance tarifaire contribuerait à améliorer la rentabilité tout en accélérant l'adoption de cette technologie.

Conclusion intermédiaire

La prévalence des maladies cardiovasculaires est un problème majeur de santé publique. L'athérosclérose en est l'une des principales causes et cette maladie progressive peut rapidement donner lieu à un syndrome coronarien aigu.

En 40 ans, l'intervention PCI est devenue une procédure de routine dans le traitement de l'athérosclérose. Parmi les progrès techniques liés à cette méthode, l'imagerie intravasculaire se démarque en accordant une vision approfondie de la structure des plaques et de l'état des vaisseaux, ce qui est crucial pour optimiser la mise en place des stents et diminuer les risques de complications. L'utilisation de cette technologie a été reconnue et recommandée lors d'interventions complexes. Cependant, malgré ces avantages, l'adoption de l'imagerie intravasculaire en Europe reste limitée, principalement en raison des coûts élevés, du remboursement, et de la difficulté d'interprétation des images.

Pour mieux comprendre les limites et proposer des mesures d'adoption de cette technique, il est essentiel de recueillir des données pour répondre aux questions suivantes :

1. Dans quelle mesure l'imagerie intravasculaire comme l'IVUS et l'OCT améliore-t-elle la précision du placement des stents par rapport aux techniques traditionnelles basées sur l'angiographie seule ?
2. Quel est l'impact de l'imagerie intravasculaire sur la réduction des complications telles que les resténoses et les thromboses de stent ?
3. Quels sont les obstacles à l'adoption généralisée de l'imagerie intravasculaire dans la pratique clinique quotidienne ?
4. Comment les facteurs économiques, tels que le coût des technologies et la rémunération des procédures, influencent-ils l'utilisation de l'imagerie intravasculaire ?

En considérant ces différents aspects, la problématique émergente est la suivante :

Comment l'imagerie intravasculaire impacte-elle le déploiement du stent et comment son intégration sur le marché influence le secteur de la cardiologie, jonglant entre avancées techniques et défis d'adoption ?

Partie 2 - Contexte et méthodologie

A. Contexte et objet de l'étude

En tant qu'alternante chez General Electric Healthcare en cardiologie, j'ai pu observer de nombreuses interventions PCI. Ces expériences, enrichies par les échanges avec mon tuteur Ruben De Bock et d'autres collègues, ainsi qu'avec les équipes médicales, m'ont poussée à m'intéresser à l'imagerie intravasculaire et à son impact sur la pose de stent. Avant mon arrivée chez GE, je ne connaissais pas cette technologie, mais j'ai vite compris son intérêt lors des interventions.

B. Choix de la méthodologie

Pour aborder la problématique de ce mémoire, nous avons opté pour une approche méthodologique mixte, intégrant à la fois une étude quantitative et une étude qualitative. Cette stratégie nous permettra de comprendre de manière approfondie l'impact de l'imagerie intravasculaire sur le positionnement des stents.

L'étude quantitative, s'appuyant sur un questionnaire en ligne de 16 questions ([Annexe 1](#)), nous permettra de mesurer l'utilisation de l'imagerie intravasculaire en collectant des données chiffrées sur sa prévalence dans cette population. Cela nous permettra d'évaluer l'importance de son utilisation chez les cardiologues interventionnels, en identifiant les taux d'utilisation, le type d'imagerie utilisé et les facteurs limitants. Cette approche quantitative nous fournira une vue d'ensemble et nous aidera à tirer des conclusions générales sur l'ampleur du problème.

Un aperçu des premiers résultats de l'étude quantitative permettra d'identifier les aspects spécifiques nécessitant une exploration approfondie via une étude qualitative. Cette seconde phase de notre étude terrain consistera en des entretiens semi-directifs. Cette méthode permettra d'explorer certains aspects émergents des réponses au questionnaire, en explorant de manière détaillée les ressentis, les expériences et les perceptions des cardiologues interventionnels face à l'imagerie intravasculaire. Nous pourrons ainsi recueillir des informations détaillées sur les limitations de l'imagerie intravasculaire sur la pratique professionnelle, leur adoption et le futur de ces technologies formulées par les cardiologues eux-mêmes.

Le guide d'entretien a été construit sur 3 axes ([Annexe 2](#)) : L'imagerie intravasculaire dans la pratique clinique, les réglementations et meilleures pratiques, et les perceptions et perspectives futures.

En combinant ces approches quantitatives et qualitatives, l'impact de l'imagerie intravasculaire en cardiologie pourra être quantifié. Cette méthode mixte, permet de fournir des données à la fois générales et spécifiques, donnant ainsi une vision globale sur l'adoption de l'imagerie intravasculaire dans cette population. Cela permettra également d'identifier certaines mesures d'adoption, en accord avec les besoins et les attentes exprimés par les cardiologues.

C. Description de la population étudiée

Dans cette étude, l'échantillon est composé de cardiologues interventionnels, tous réalisant des procédures PCI afin de traiter l'athérosclérose. Ces cardiologues ont différents profils en termes d'âge et d'expériences, utilisant ou non l'imagerie intravasculaire, ce qui est à mon sens essentiel pour collecter des points de vue variés.

Le cardiologue interventionnel est un maître des interventions PCI, il est donc intéressant d'interroger ces spécialistes afin de connaître leurs avis, d'avoir des éléments de réponses aux questions que nous nous posons et surtout, afin de rendre cette étude pertinente.

La population étudiée est composée de 4 cardiologues interventionnels de structures différentes. Ces cardiologues sont tous impliqués dans l'encouragement de la pratique de l'imagerie intravasculaire dans les interventions PCI complexes. Le partage de leurs expériences permettra d'en savoir davantage sur la façon dont est perçue l'IVUS et l'OCT au sein de la communauté médicale, et notamment par les cardiologues.

Le tableau ci-dessous renseigne quelques informations concernant les cardiologues interviewés. Les entretiens ont été réalisés en visioconférence et ont une durée moyenne de 35 minutes.

Nom	Description	Date/heure
Cardiologue interventionnel A	20 ans d'expérience en cardiologie interventionnelle, réalisant 8 PCI par semaine et adepte de l'imagerie intravasculaire depuis le début de sa carrière	29/05/24 40mn
Cardiologue interventionnel B	12 ans d'expérience en cardiologie interventionnelle, réalisant 250 à 300 PCI par an et utilise l'imagerie intravasculaire	06/05/24 45mn
Cardiologue interventionnel C	15 ans d'expérience en cardiologie interventionnelle, réalisant 200 PCI par an et utilise l'imagerie intravasculaire	15/05/24 30mn
Cardiologue interventionnel D	5 ans d'expérience en cardiologie interventionnelle, réalisant 950 PCI par an et utilise l'imagerie intravasculaire notamment l'OCT	10/05/24 30mn

Tableau 3 : Les entretiens réalisés

Pour mener les entretiens dans les meilleures conditions, un guide d'entretien a été élaboré ([Annexe 2](#)), ainsi que le codage des entretiens permettant de relever les thématiques principales ([Annexe 3](#)). Nous avons abordé l'importance de l'imagerie intravasculaire dans le domaine de la cardiologie, ainsi que ses apports lors des interventions PCI, des perspectives futures et des réglementations.

Partie 3 - Analyse des résultats

Au cours de l'enquête terrain, 4 entretiens semi-directifs ont été réalisés. Cette enquête terrain a permis de mettre en évidence plusieurs similitudes relevées par les cardiologues interventionnels, mais également des avis divergents sur d'autres sujets.

La présentation des résultats de l'étude est divisée selon trois thématiques :

- L'aperçu des pratiques actuelles ;
- Les avantages et les obstacles majeurs dans l'adoption ;
- Les limitations et l'avenir de l'imagerie intravasculaire.

Afin de présenter les résultats de façon explicite, l'analyse est appuyée par des extraits d'interviews.

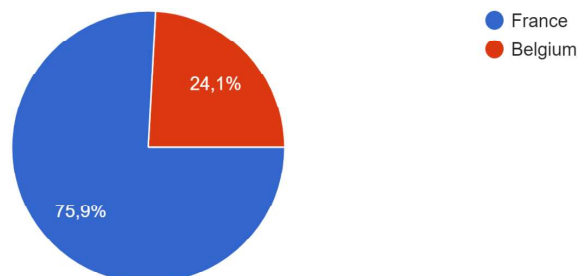
I. L'utilisation de l'IVUS et de l'OCT dans la pratique clinique

- Un aperçu des pratiques actuelles

A. Profil des cardiologues interrogés

L'analyse des données recueillies auprès des cardiologues interventionnels révèle des caractéristiques individuelles intéressantes. Un constat important est la prédominance de cardiologues français parmi les répondants, représentant **75,9%** de l'échantillon.

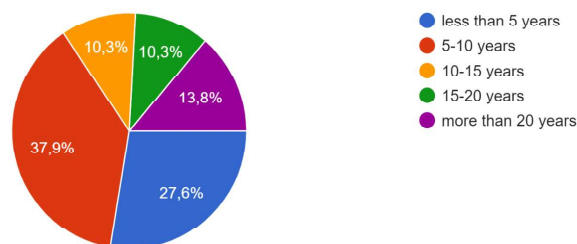
In which country do you primarily practice?
29 réponses



En ce qui concerne les années d'expérience, les résultats révèlent que **37,9%** des répondants ont entre 5 à 10 ans d'expériences, tandis que **27,6%** ont moins de 5 ans d'expérience et **13,8%** ont plus de 20 ans d'expériences. Il est intéressant de noter la

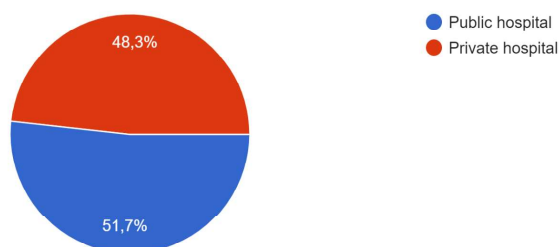
prévalence des jeunes cardiologues. Les différences d'expériences des cardiologues interrogés permettent de recueillir des points de vue variés sur l'utilisation de l'imagerie intravasculaire. L'analyse des réponses selon les années de pratique est importante pour comprendre les niveaux d'acceptation et d'utilisation des technologies d'imagerie intravasculaire dans la cardiologie interventionnelle.

How many years have you been practicing as an interventional cardiologist?
29 réponses



Concernant le lieu d'exercice, le rapport est de moitié. Un peu plus de la moitié des cardiologues (**51,7%**) exercent dans une structure publique, tandis que **48,3%** des répondants travaillent en hôpitaux privés.

Where do you practice?
29 réponses



B. L'intégration de l'IVUS et de l'OCT dans les procédures PCI

Comme mentionné dans la littérature, l'utilisation de l'imagerie intravasculaire en France représente seulement 3% des interventions.

“Encore une fois des données américaines, qui montrent que l'adoption de l'imagerie pour optimiser la PCI est d'environ 10%, ce qui est peu. Il ne s'agit pas d'un phénomène propre aux États-Unis. En France, seulement 3 % des procédures PCI sont guidées par l'imagerie intravasculaire et il y a un certain nombre de facteurs dû à cela.”

(Dr. C)

“Quand on regarde les chiffres qui sont communiqués de manière annuelle, je crois que le taux d'angioplastie guidé par l'imagerie intravasculaire était de l'ordre de 5% l'année dernière.”

(Dr. B)

Ces déclarations montrent que l'intégration de l'imagerie intravasculaire dans les pratiques des cardiologues reste un défi. Malgré les avantages que l'imagerie intravasculaire pourrait apporter en termes de précision et de résultats, elle peine encore à être adoptée largement. Cette analyse entre les États-Unis et la France démontre que ce problème est international et demande des efforts plus importants pour sensibiliser les cardiologues interventionnels.

“A l'époque il y a 10 ans, quand j'ai commencé, ce n'était pas super utilisé. Les gens les plus expérimentés que moi, qui m'ont formé, m'ont évidemment appris ce qu'ils savaient. Mais comme toujours dans le domaine, il faut aussi alimenter sa formation régulièrement en se formant tout seul. Donc j'ai fait les deux. Mais j'ai eu une formation initiale sur ces 10 ans par mes prédécesseurs.”

(Dr. B)

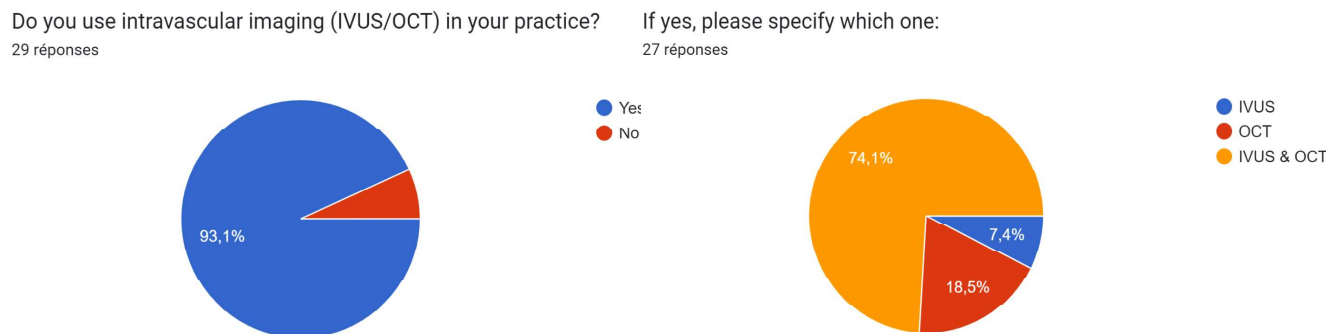
Le Dr. B souligne que le fait d'acquérir des compétences en imagerie intravasculaire demande un réel engagement personnel. Cette technique n'étant pas encore largement adoptée en cardiologie, les cardiologues interventionnels qui souhaitent l'utiliser doivent faire preuve d'initiative. Les cardiologues utilisateurs de cette technologie doivent être prêts à investir du temps et de l'énergie pour se former par eux-mêmes.

Le Dr. A appuie cette idée :

“Je pense que j'ai été aussi intéressé par l'utilisation de l'imagerie endocoronaire parce que j'avais, justement, cette formation en biologie vasculaire, assez axée sur les mécanismes pathophysiologiques de la coronaropathie, et que je trouvais que, dans l'imagerie, j'arrivais à avoir ce que j'avais étudié pendant des années in vitro.”

L'adoption de l'imagerie intravasculaire ne se fera seulement si les professionnels de santé s'intéressent à cette pratique.

Cependant, la grande majorité des cardiologues (**93,1%**) ayant répondu au questionnaire utilisent l'imagerie intravasculaire. Cela s'explique par le fait que ces professionnels de santé ont été sollicités lors de congrès et sur LinkedIn, deux plateformes d'échanges où se trouvent principalement des cardiologues souhaitant améliorer leur pratique et intéressés par les nouvelles technologies.



Il est également intéressant de noter que **74,1%** de l'échantillon utilisent l'IVUS et l'OCT, ces deux technologies vont donc de paire.

“L'OCT dont les indications préférentielles sont le tronc coronaire gauche, les angioplasties complexes, les thromboses et les resténose intra-stent, et puis dans le cadre de l'IVUS, beaucoup les CTO (occlusions totales) aussi, les occlusions chroniques, je crois que c'est une bonne indication.”

(Dr. A)

“Alors, dans mon centre, on était principalement utilisateurs d'OCT plus que d'IVUS. On préservait plutôt l'IVUS pour des cas un peu particuliers tels que les lésions ostiales. Puisque dans les ostiomes, il est beaucoup plus difficile, comme vous le savez sûrement, d'avoir une image claire en OCT.”

(Dr. B)

“L'IVUS est exclusivement, quand il y a des lésions ostiales vraiment tout au début de la coronaire. Et l'OCT, vraiment, je dirais que c'est 90% de mes imageries en endocoronaire.”

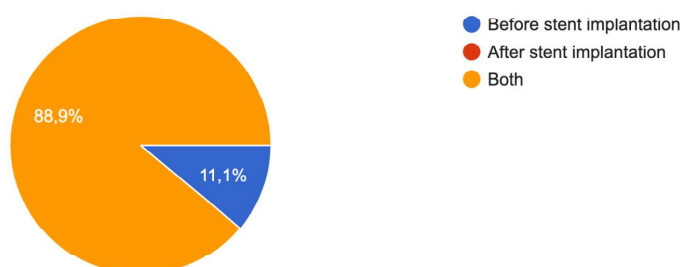
(Dr. D)

Cette approche permet aux cardiologues interventionnels de tirer parti des avantages spécifiques de chaque technologie selon le type de lésion, conduisant à

une meilleure visualisation des artères et donc à de meilleurs résultats pour les patients. La complémentarité de l'IVUS et de l'OCT est devenue une norme largement adoptée parmi les praticiens qui utilisent ces technologies.

En accord avec la conclusion de la revue de littérature, les résultats du questionnaire révèlent, à **88,9%**, que l'imagerie intravasculaire est aussi bien utilisée avant l'implantation du stent, qu'après son implantation.

When do you use intravascular imaging ?
27 réponses



Ces résultats illustrent l'importance de l'utilisation de cette technique dans les deux situations, non seulement pour diagnostiquer les lésions, mais aussi pour évaluer le bon placement du stent.

Les entretiens avec les cardiologues interventionnels A, B, C et D convergent vers cette tendance et expliquent les raisons de cette pratique.

“Oui, je pense qu'il faut vraiment le faire dans les deux situations. Pré-stenting pour bien préparer la lésion et post-procédure où vous êtes capable d'identifier les anomalies de votre stent, et puis de les corriger, c'est primordial”

(Dr. A)

“Si on a l'idée qu'on va, à un moment donné, faire de l'imagerie, autant utiliser le cathéter pré et post-procédure. Le prix est le même qu'on utilise le cathéter une fois ou qu'on fasse trois runs d'IVUS, autant l'utiliser dès le début, pour pouvoir profiter de la technique pour planifier l'angioplastie, et ensuite la contrôler, plutôt que s'en servir uniquement à la fin.”

(Dr. B)

“L'OCT va nous permettre de préparer l'intervention, de bien mesurer les diamètres, les surfaces, les longueurs avant la pose du stent et l'après-dilatation préalable. Ça

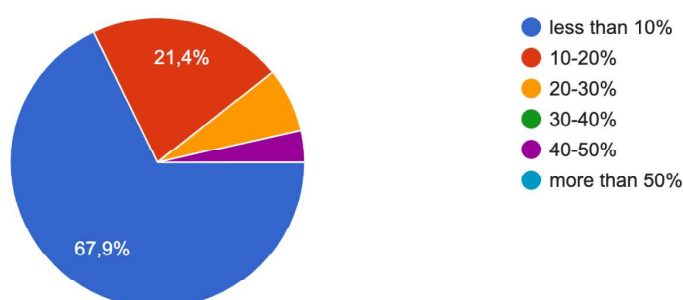
nous permet vraiment de faire un sizing. Et surtout, après la pose du stent, ça nous permet de faire des runs d'OCT post-stenting pour s'assurer que le stent est bien imposé. C'est fondamental.”

(Dr. D)

Tous insistent sur le fait de devoir utiliser cette technique avant et après l'implantation du stent afin de profiter pleinement des bénéfices cliniques. La complémentarité de ces deux phases est nécessaire pour la planification et le succès de la procédure. Utiliser l'imagerie uniquement à l'une de ces deux étapes entraîne une perte d'informations précieuses et un gaspillage de l'équipement. Cette manière de procéder permet de préparer correctement la lésion, d'assurer la pose optimale du stent et de vérifier son bon placement et déploiement, garantissant ainsi des résultats optimaux.

Il est également intéressant de noter que la minorité de cardiologues qui intègre l'imagerie intravasculaire dans leur pratique ne le fait que de manière très limitée. Plus de la moitié de ces professionnels l'utilisent dans moins de **10%** de leurs interventions PCI. Ce manque d'utilisation montre que l'utilisation de l'imagerie intravasculaire n'est pas encore une norme dans les procédures PCI.

What percentage of your PCI procedures with stent placement involve the use of intravascular imaging?
28 réponses



Le Dr. D énonce :

“Moi, je l'utilise en pratique, pas routinière. Maintenant, dans mon algorithme personnel, en tenant compte du fait qu'il faille rationaliser, en théorie, si c'était remboursé, je l'utiliserais peut-être dans 30 à 40 % de mes angioplasties. Malheureusement, ce n'est pas possible.”

Le Dr. A ajoute :

“Pour ma part, mon utilisation représente effectivement 10-12% des procédures je pense, ce qui est beaucoup pour la moyenne française, mais pas beaucoup pour d'autres pays”

L'utilisation de l'imagerie intravasculaire varie d'un praticien à l'autre, en fonction de sa pratique mais également de la structure dans laquelle il exerce. L'un mentionne qu'il l'utilise de manière non routinière, tandis que l'autre l'utilise dans environ 10-12% des cas.

Même si l'imagerie intravasculaire présente des avantages, son utilisation dans la pratique clinique reste restreinte. Cette situation témoigne d'une adoption inégale de cette technologie chez les cardiologues, dû à divers facteurs que nous étudierons par la suite.

C. La formation des techniques d'imagerie intravasculaire

“Il y a aussi une éducation à faire, parce que c'est bien beau de dire qu'on va faire de l'imagerie, mais il faut savoir l'interpréter.”

(Dr. B)

Cette déclaration relève un problème fondamental : le manque de formation à l'imagerie intravasculaire, une technologie pourtant complexe. En effet, les témoignages recueillis lors des entretiens mettent en évidence cette constatation : il y a un déficit général de formation structurée pour les cardiologues interventionnels. Ce manque se fait sentir tant au niveau de l'utilisation pratique que dans l'interprétation des images obtenues. Cette lacune dans la formation pose un véritable défi pour l'adoption et l'utilisation efficace de cette technologie.

Le Dr. A ajoute :

“Il faut faire de l'imagerie dans un but d'appliquer certains protocoles de soins et obtenir certains objectifs. Sortir la sonde d'OCT et dire j'ai fait de l'imagerie et ne pas savoir l'interpréter ou voir des anomalies qu'on ne corrige pas, ce n'est pas, dans mon sens, faire de l'imagerie.”

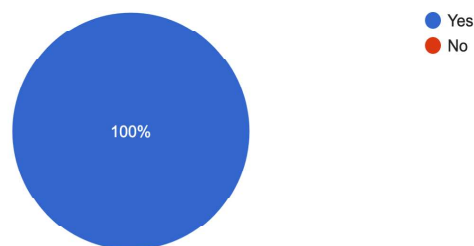
Cela souligne un déficit majeur dans l'éducation et la préparation des cardiologues à cette technologie. Les témoignages des cardiologues interventionnels lors des entretiens vont dans ce sens. Comme l'indique le Dr. D :

“A l'heure d'aujourd'hui, il n'y a pas de diplôme à proprement parler qui donne le titre, enfin une certification officielle à l'IVUS ou l'OCT. Souvent, ce sont des workshops qui sont organisés par des labos, ou il y a des congrès. Et c'est des rencontres où on vient présenter nos cas, on échange et on apprend. Donc l'apprentissage, s'est fait essentiellement par des échanges et des congrès sur des cas complexes.”

Celui-ci soutient cette idée en expliquant qu'il n'y a pas de diplôme ou de certification officielle pour l'IVUS ou l'OCT. La formation actuelle se limite principalement à des ateliers organisés par les laboratoires et des congrès où les professionnels exposent et discutent de cas complexes. Ce type de formation, même bénéfique, ne présente pas un cadre assez structuré pour assurer une maîtrise complète de l'imagerie intravasculaire.

A l'unanimité, les chiffres du questionnaire confirment l'importance d'être formé à l'utilisation de l'imagerie intravasculaire.

Do you think it's important to be trained on the use of OCT and/or IVUS?
26 réponses



En accord avec les résultats du questionnaire, le Dr. C partage également son avis en soulignant le manque de formation initiale :

“Je suis convaincu que l'imagerie intravasculaire devrait faire partie du programme de base de la formation interventionnelle. Je pense également qu'il devrait s'agir d'une compétence de base pour un jeune cardiologue interventionnel avant l'obtention de son diplôme.”

Le Dr. A ajoute :

“Déjà je pense que le niveau de formation n’est pas assez bon. Je pense que les cours théoriques ont leurs limites, sont bien, sont importants, il faut que les gens aient des bases théoriques, mais il faut qu’il y ait une pratique.

(...) Je suis intimement persuadé de deux choses. Un, que si on ne forme pas les équipes paramédicales, ça ne marche pas. Donc, il faut former et les équipes médicales et les équipes paramédicales, parce que les équipes paramédicales peuvent être un moteur pour développer une activité, ou un frein, au contraire. Et deuxièmement, je crois au retour d'expérience, au partage d'expérience, et je crois aux proctorings sur site.”

Il est intéressant de noter l’avis sur le manque de formation initiale en imagerie intravasculaire. Le Dr. C met l’accent sur le cursus académique actuel qui n’intègre pas ces nouvelles techniques d’imagerie. Bien que les cours théoriques soient importants pour acquérir des connaissances, le Dr. A insiste, quant à lui, sur la nécessité d’une formation pratique afin de maîtriser entièrement cette technologie. Il met également en avant l’importance du retour et du partage d’expérience à travers des proctorings sur site. Ce type d’apprentissage par l’expérience et le mentorat est essentiel pour garantir une utilisation complète de l’imagerie intravasculaire.

Les deux cardiologues mettent l’accent sur le fait de développer des programmes de formation complets qui incluent à la fois des aspects théoriques et pratiques, et qui impliquent à la fois les équipes paramédicales et les cardiologues interventionnels.

Le Dr. A souligne également l’importance de former les équipes paramédicales à l’utilisation de cette technologie. En effet, le développement de l’activité clinique est influencé par les équipes paramédicales qui peuvent encourager, ou au contraire entraver l’adoption de nouvelles pratiques. Sans cette formation, il est impossible d’atteindre une utilisation complète de l’imagerie intravasculaire.

La plupart des cardiologues interventionnels ont été formé par leurs prédécesseurs comme l’explique le cardiologue A et B :

“Alors, pour l’IVUS, j’ai eu la chance quand même de travailler pendant des années aux côtés d’un grand spécialiste français, qui est toujours un grand spécialiste français, donc qui m’a appris. En ce qui concerne l’OCT, j’ai eu des formations théoriques, puis on s’est servi de notre bagage, de ce qu’on connaissait en IVUS,

pour faire de l'OCT. J'ai plus été un formateur qu'un formé, j'ai commencé à faire des workshops et a assuré des formations pour les autres médecins en 2013. On a été parmi les pionniers en France des formations d'OCT et d'IVUS. (...) Et j'ai eu la chance de côtoyer des équipes des médecins étrangers, qui étaient issus d'équipes beaucoup plus avancées, et avec qui j'ai beaucoup échangé, beaucoup appris.”

(Dr. A)

“A l'époque il y a 10 ans, quand j'ai commencé, ce n'était pas super utilisé. Les gens les plus expérimentés que moi, qui m'ont formé, m'ont évidemment appris ce qu'ils savaient. Mais comme toujours dans le domaine, il faut aussi alimenter sa formation régulièrement en se formant tout seul. Donc j'ai fait les deux.”

(Dr. B)

L'importance de l'éducation pratique et le partage de connaissance par les cardiologues seniors, mais également par des cardiologues étrangers n'est pas à négliger. Elle occupe une place très importante dans le processus de formation. Les cardiologues seniors, tant locaux qu'internationaux, comme le Dr. A, jouent un rôle crucial en devenant formateurs et en diffusant leurs connaissances à travers des workshops et des congrès, aidant à combler les lacunes de formation au sein de la communauté de cardiologie.

Ces témoignages mettent donc en évidence l'importance cruciale de la formation des cardiologues pour assurer une utilisation optimale de l'imagerie intravasculaire : interprétation des images, précision du déploiement du stent et donc amélioration des résultats cliniques.

II. Les avantages et les défis de l'imagerie intravasculaire - Un équilibre entre précision et contraintes

A. Avantages perçus des technologies IVUS et OCT

Lors des entretiens semi-directifs, la totalité des cardiologues interventionnels interviewés ont fait part des avantages de l'imagerie intravasculaire concernant notamment la préparation de la lésion et son impact sur le bon déploiement du stent.

“Les avantages, c'est vraiment d'avoir quelque chose de bien planifié, de bien clair. Par exemple, dans une lésion calcifiée, déterminer une stratégie de préparation du calcium et l'appliquer va éviter les surprises. C'est certain, l'avantage, c'est d'avoir une idée claire de ce qu'on va traiter et de pouvoir préparer un plan et l'appliquer.”

(Dr. A)

“Le contrôle du résultat, notamment dans les topographies critiques telles que le tronc commun, s'assurer que ou les stents sont bien déployés.”

(Dr. B)

“On fait aussi beaucoup d'imagerie après la pose des stents dans la plupart de nos cas et les données obtenues sont très utiles. On peut vérifier si le stent est bien positionné, s'il est bien déployé, s'il y a des complications comme une dissection des bords, etc.”

(Dr. C)

Comme expliqué dans la revue de littérature, l'imagerie intravasculaire représente une vraie plus-value, notamment dans le traitement de lésions complexes comme les lésions calcifiées, les bifurcations, les thromboses ou encore les resténose intra-stent. Cette technologie permet de donner des choix de diagnostic et de traitements aux cardiologues interventionnels et de guider leurs procédures comme l'explique le Dr. A :

“Je pense que la meilleure indication qui existe, c'est le tronc coronaire gauche. L'angioplastie du tronc coronaire gauche est une angioplastie qui est quand même compliquée, parce que c'est une bifurcation, les dimensions du vaisseau sont grandes. Si il y a le moindre problème, s'il y a une thrombose de stent, c'est régulièrement mortelle, et puis les resténoses sont compliquées à traiter dans les troncs coronaire gauche.”

Il est intéressant de voir que le terme “left main”, “retenosis” et “complex” reviennent souvent dans les réponses à la question “sur quel type de patient réalisez-vous l'imagerie intravasculaire ?”.

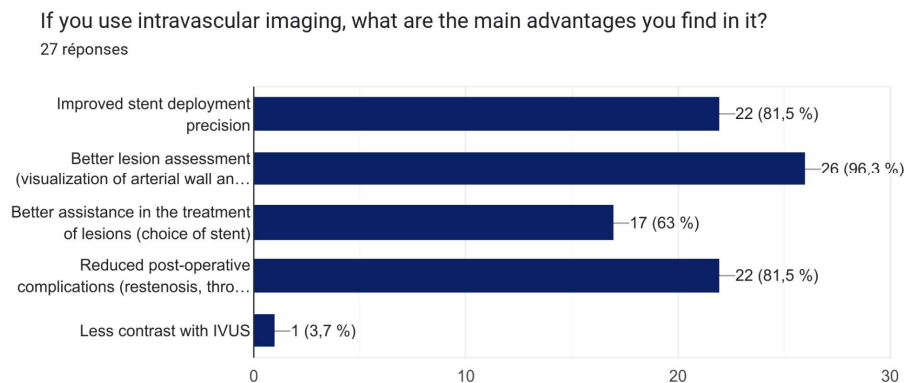


“Il y a aussi une place réservée à l'image endocoronaire pour des diagnostics, notamment des diagnostics complexes. La coronarographie ne fait que voir grossièrement ce qui se passe, mais ce qui se passe réellement à l'intérieur, ça, parfois, seul l'image endocoronaire peut y répondre.”

“Je pense que l'imagerie intravasculaire devrait être un complément essentiel à l'angiographie pour certains types de lésions, notamment le tronc commun, la LAD proximale, la resténose de stent, la thrombose de stent, les artères coronaires calcifiées et les occlusions totales chroniques, ou toute situation où l'angiographie ne permet pas de bien clarifier l'anatomie.”

44

Les résultats du questionnaire confirment les points cités précédemment. Parmi les cardiologues interrogés, **96,3%** estiment que l'avantage principal de l'utilisation de l'imagerie intravasculaire est une meilleure évaluation des lésions. De plus, **81,5%** d'entre eux soulignent l'amélioration sur la précision du placement du stent et la réduction des complications post opératoires.



Le Dr. A fait part de tous ces avantages durant son entretien :

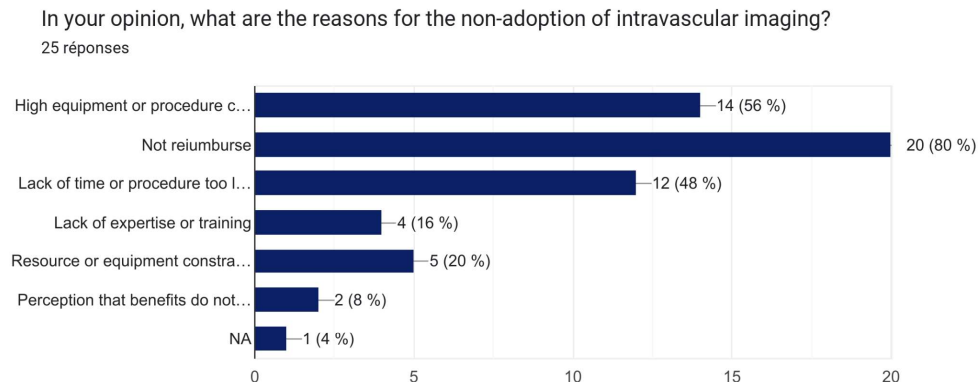
“On a un geste qui est comme beaucoup plus précis et de meilleure qualité. Donc on est capable d'identifier précisément et clairement la taille de l'artère. Donc d'identifier les dimensions du stent qui sont imposées. Et puis surtout on analyse le type de lésion qu'on a, donc ses caractéristiques, notamment le caractère qui va être thrombotique ou calcifié, au contraire, et notamment on est capable d'améliorer la préparation. C'est-à-dire qu'on identifie mieux, plus facilement, les lésions à risque de complications, et on peut leur donner une préparation adéquate.”

L'imagerie intravasculaire offre des avantages significatifs dans les interventions PCI. Elle permet une évaluation précise des lésions, optimise le positionnement des stents et réduit l'incidence des complications post-opératoires. En permettant une visualisation plus détaillée de l'anatomie coronaire, elle contribue à l'amélioration des résultats cliniques.

B. Obstacles à l'adoption des technologies d'imagerie intravasculaire

L'imagerie intravasculaire est une technique connue mais peu adoptée et cela s'explique par plusieurs facteurs. Les principales raisons de la non adoption de

l'imagerie intravasculaire incluent : le manque de remboursement pour les cathéters d'imagerie (**80%**), la durée additionnelle de la procédure (**56%**) et le coût de l'équipement (**48%**).



Les témoignages des cardiologues lors des entretiens confirment ces facteurs :

“S'il y a une contrainte qui a pu peser sur mes choix, parfois, ça peut être la contrainte de temps”

(Dr. B)

“Les principaux obstacles de manière générale : coût et formation. (...) Moi, personnellement, l'aspect coût est ma principale contrainte.”

(Dr. A)

“Les limites de l'imagerie, la plus grosse limite, en tout cas en France, c'est le coût. C'est un dispositif qui n'est pas remboursé malheureusement en France, et pourtant on sait qu'il réduit la mort-bimortalité et que cela est prouvé.”

(Dr. D)

Le manque de remboursement pour les cathéters d'imagerie, la durée prolongée des procédures et le coût élevé de l'équipement sont effectivement perçus comme des obstacles majeurs. Ces facteurs touchent aussi bien les cardiologues qui utilisent cette technique d'imagerie que ceux qui ne l'utilisent pas. Ce sont des facteurs qui freinent l'adoption de l'imagerie intravasculaire comme l'explique le Dr. C :

"Ceux qui ne l'utilisent pas disent que l'imagerie interventionnelle prend trop de temps pour être intégrée à la pratique courante, mais je pense que c'est le contraire une fois qu'on a l'habitude. Cette habitude bien sûr il faut l'acquérir en l'utilisant de

plus en plus. En général, l'acquisition et l'interprétation des données ajoutent environ deux minutes à chaque procédure. Ces deux minutes nous font gagner beaucoup de temps en évitant les erreurs."

(Dr. C)

Il souligne également que certains de ces facteurs ne deviennent plus un frein avec la pratique et que l'adoption progressive de l'imagerie peut améliorer l'efficacité et la précision des interventions, en optimisant le temps de procédure global et en réduisant les complications potentielles.

Un autre aspect important soulevé lors des entretiens et vu précédemment est la nécessité d'une formation continue dans l'utilisation de l'imagerie intravasculaire et qui constitue également un frein à son adoption. Le Dr. A souligne :

"Je pense que quand on est suffisamment entraîné, ça ne dure pas plus longtemps. Parce qu'on va gagner du temps sur d'autres paramètres de la procédure. Et puis, il y a la formation. On a quand même beaucoup d'équipes qui ne sont pas formées, que ce soit les médecins ou les paramédicaux."

(Dr. A)

Les résultats des entretiens révèlent que les principaux obstacles à l'adoption de l'imagerie intravasculaire sont le manque de remboursement, le coût élevé de l'équipement et la durée prolongée des procédures. De plus, l'importance d'une formation continue reste un défi à relever. L'intégration de cette technologie est restreinte par ces facteurs, même si elle présente des avantages cliniques évidents pour améliorer la précision et les résultats des interventions.

C. L'impact des technologies sur les résultats cliniques

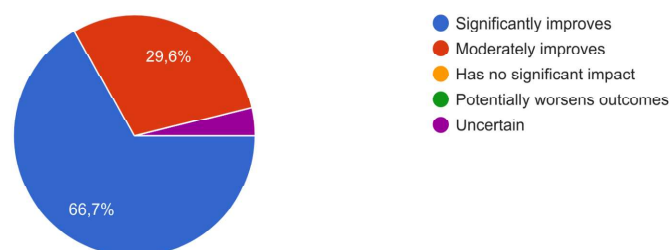
"Si les cardiologues posent des stents sans évaluer la préparation de la lésion ou sans optimiser leurs stents, je pense personnellement que c'est un soin que je ne voudrais pas pour un membre de ma famille."

(Dr. C)

Cette déclaration illustre la conviction parmi les professionnels de santé que l'utilisation de l'imagerie intravasculaire est bénéfique mais également indispensable

pour offrir des soins de haute qualité. En effet, les résultats des questionnaires et les témoignages recueillis lors des entretiens montrent l'importance de cette technologie pour améliorer les résultats cliniques. Plus de la moitié des cardiologues (**66,7%**) sont certains que l'imagerie intravasculaire améliore significativement les résultats cliniques des patients. De plus, **29,6%** d'entre eux pensent qu'elle améliore modérément les résultats. Ensemble, cela signifie que la grande majorité des cardiologues reconnaissent l'impact positif de cette technologie sur les résultats cliniques.

In your opinion, how does the use of intravascular imaging influence outcomes for patients?
27 réponses



Ces données soulignent la conviction parmi les cardiologues que l'imagerie intravasculaire est perçue comme un atout majeur pour optimiser les interventions et améliorer les résultats cliniques, renforçant ainsi son adoption et son utilisation dans la pratique quotidienne.

Les entretiens ont été menés ultérieurement pour approfondir ce point, en recueillant les retours des cardiologues. A l'unanimité, les cardiologues A, C et D affirment les bénéfices de l'utilisation de l'imagerie intravasculaire :

"C'est fondamental. On fait une procédure guidée par OCT, à la fin on est certain que notre stent est bien apposé et bien expansé. On réduit de façon significative les thromboses de stent et même les resténose intrastent."

(Dr. D)

"En utilisant le cathéter d'imagerie et en vérifiant que le stent est bien déployé, les résultats sont très clairs : il y a une réduction significative de ce qu'on appelle l'échec du vaisseau cible. Il y a un bénéfice évident à utiliser cette technologie. Il s'agit d'une opportunité d'améliorer l'expansion du stent et d'améliorer les résultats."

(Dr. C)

“On a plusieurs études qui montrent que l'angioplastie guidée par l'imagerie, que ce soit l'IVUS ou l'OCT, mais c'est surtout vrai avec l'IVUS, améliore le pronostic des patients. (...) Si vous respectez tout le protocole, le pronostic est vraiment énormément amélioré chez les patients.”

(Dr. A)

Les études scientifiques démontrent les avantages de l'imagerie intravasculaire, renforçant la confiance des cardiologues interventionnels dans son utilisation. Ceux qui l'utilisaient au début ont gagné en assurance et en légitimité dans leur pratique, et peuvent désormais justifier à leurs collègues, grâce à des données scientifiques, les bénéfices cliniques de cette technologie. Ces preuves encouragent une utilisation plus fréquente de l'imagerie intravasculaire afin d'optimiser les interventions et améliorer le pronostic des patients.

“Oui, les études ont un impact positif c'est certain. Encore une fois j'étais assez convaincu de base, mais je n'avais pas de gros moyens scientifiques pour convaincre mes collègues autour de moi. (...) Maintenant, c'est plus simple de le prouver par plusieurs études. Notamment les dernières, vous avez Renovate, Complexe, October, etc.”

(Dr. A)

“Alors, sur la précision, elle est certainement augmentée, ça c'est sûr. Sur l'impact clinique, il y a eu une grande étude qui a été communiquée récemment, qui s'appelle l'Illuminen IV, qui a montré qu'il y avait une réduction nichée dans les réductions thromboses de stents.”

(Dr. B)

Le cardiologue B approuve l'impact positif de l'imagerie intravasculaire, en particulier pour les cas complexes, comme cela a été démontré précédemment. Il souligne qu'il est essentiel de considérer l'utilisation ciblée de cette technique, car elle n'est pas nécessaire dans tous les cas. En effet, il explique :

“Les données les plus convaincantes, c'est dans l'angioplastie du tronc commun. Donc là, je pense que c'est vraiment bien d'utiliser. Dans le tout venant, je ne suis pas certain qu'il faille l'utiliser systématiquement”

Il est intéressant de souligner que l'intégration de l'imagerie intravasculaire dans les pratiques ne remplace pas l'imagerie à rayons X, ces deux techniques sont complémentaires l'une de l'autre.

“On a besoin de l'image X angio sur l'écran pour placer son stent. Si vous choisissez le meilleur stent du monde, mais que vous ne savez pas où le placer précisément, vous perdez en précision. Donc, les deux approches sont complémentaires.”

(Dr. A)

Le cardiologue A insiste sur le fait que l'imagerie intravasculaire est complémentaire et qu'elle peut fournir des informations supplémentaires pour aider à la prise de décision, mais elle ne peut pas se substituer au système d'imagerie déjà utilisé.

Les résultats du terrain montrent que l'imagerie intravasculaire a un impact positif sur les résultats cliniques, particulièrement dans les cas complexes, principalement le tronc commun. Les cardiologues reconnaissent la valeur ajoutée de cette technologie pour optimiser les interventions et améliorer les pronostics des patients. Cependant, une minorité estime que son utilisation doit être ciblée et ne doit pas remplacer l'imagerie à rayons X, mais plutôt la compléter. En intégrant ces technologies de manière complémentaire, les interventions peuvent devenir plus précises et efficaces, offrant ainsi des soins de meilleure qualité.

III. Perceptions des cardiologues envers l'imagerie intravasculaire

A. L'avenir de l'imagerie intravasculaire

En ce qui concerne l'avenir de l'imagerie intravasculaire, les cardiologues interventionnels sont plutôt optimistes quant à son adoption plus généralisée dans les années à venir.

“Je pense que déjà, depuis deux ans, ça prend un bon tournant. Déjà, il y a cinq, six ans, je faisais les topos sur l'imagerie endocoronaire, on me prenait pour un illuminé. Et puis là, maintenant, on commence un peu plus au sérieux. (...) que ce soit l'impact des études cliniques, l'augmentation du niveau de recommandation... tout ça fait que maintenant, les gens sont très mûrs. Et on vient de finir Euro PCR, où le focus était

fait sur l'imagerie. On voit vraiment aussi que les lives qui sont faits en France et en Europe, maintenant, se font toujours avec de l'imagerie endocoronaire.”

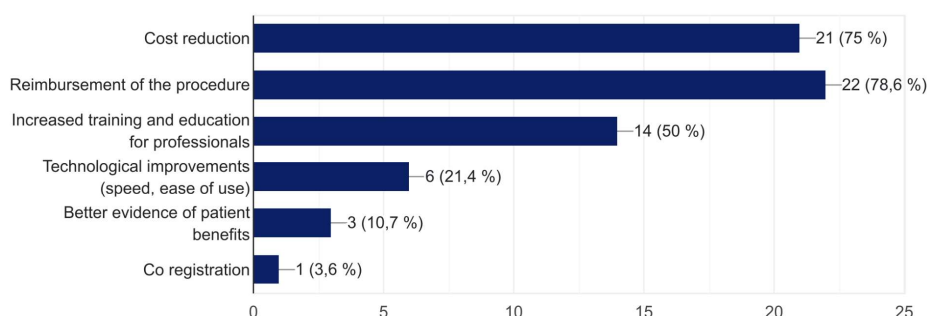
(Dr. A)

Le cardiologue A souligne l'évolution positive de l'imagerie intravasculaire au cours des dernières années. Il rappelle qu'il y a quelques années, cette technologie était perçue avec scepticisme et méfiance mais désormais, grâce à l'impact des études cliniques et à une augmentation des recommandations, elle est devenue beaucoup plus légitime. De même, le Dr. D partage une vision optimiste quant à l'avenir de l'imagerie endocoronaire, affirmant que son efficacité est bien établie depuis une dizaine d'années. Il reconnaît que, bien que cette technologie ne soit peut-être pas encore largement implantée dans la pratique quotidienne, ses avantages cliniques ne sont plus à démontrer :

“Je pense qu'on est déjà dans l'avenir. L'imagerie endocoronaire a fait sa place, déjà depuis une dizaine d'années. Elle n'est peut-être pas implantée en matière de pratique, mais la preuve de son efficacité n'est plus à prouver.”

Ces citations montrent que les cardiologues s'accordent sur les avantages de l'imagerie intravasculaire et anticipent une adoption plus large de cette technologie. Pour encourager cette adoption, divers facteurs sont à prendre en compte. Le graphique montre que le principal facteur à considérer est le remboursement de la procédure (**78,6%**), suivi de la réduction des coûts des cathéters (**75%**), et enfin l'augmentation de la formation des cardiologues interventionnels (**50%**).

What factors could encourage wider use of intravascular imaging in coronary stent placement?
28 réponses



De plus, le cardiologue A souligne l'importance des nouvelles générations de cardiologues interventionnels dans l'adoption de l'imagerie intravasculaire :

“Les études, un remboursement ou des aides financières, ça va aider. Ça sera très important. Et puis, je pense également que le rajeunissement, les changements générationnels au sein de la communauté, font que ça va aider à l'adoption.”

Les cardiologues interventionnels semblent optimistes quant à l'avenir de l'imagerie intravasculaire. Ils soulignent que l'investissement des facteurs économiques, de l'éducation, ainsi que le rajeunissement et les changements générationnels au sein de la communauté de cardiologie faciliteront l'adoption de cette technologie.

Conclusion intermédiaire

Le terrain d'étude met en évidence plusieurs aspects importants de l'utilisation de l'imagerie intravasculaire en cardiologie interventionnelle. Tout d'abord, un aperçu des pratiques actuelles montre que l'usage de cette technologie varie beaucoup. Les cardiologues qui l'utilisent le font systématiquement pour les cas complexes comme les angioplasties du tronc commun, tandis que la majorité des cardiologues ne l'intègre pas du tout dans leur pratique. La formation initiale et continue des cardiologues est essentielle pour adopter l'imagerie intravasculaire, même si des obstacles persistent.

Les avantages de l'imagerie intravasculaire sont clairs : elle permet une évaluation précise des lésions, une meilleure implantation des stents et une réduction des complications après l'intervention. Cependant, son adoption est freinée par plusieurs facteurs. Les principaux obstacles sont le coût élevé, le manque de remboursement des cathéters ainsi que le besoin de formation à l'utilisation de l'équipement et à l'interprétation des images. Ces facteurs limitent l'intégration de l'imagerie intravasculaire dans la pratique quotidienne.

Malgré ses avantages, l'imagerie intravasculaire est encore sous-utilisée à cause de ces obstacles financiers et éducatifs. Pourtant, les cardiologues restent optimistes pour l'avenir. Ils prévoient une adoption plus large grâce à l'augmentation des recommandations cliniques, aux preuves croissantes de son efficacité et à l'arrivée des jeunes générations. L'avenir de l'imagerie intravasculaire semble prometteur, à condition de surmonter les défis actuels et d'assurer une formation continue des cardiologues interventionnels.

Partie 4 - Recommandations

Pour donner suite à l'analyse des résultats, nous pouvons à présent proposer plusieurs recommandations afin de connaître davantage l'imagerie intravasculaire et ses applications à un plus large public permettant de légitimer son utilisation dans le déploiement des stents coronaires. Ainsi, nous retrouvons trois types de recommandations : cliniques, économique et enfin portées sur la formation.

I. Recommandations cliniques

A. Légitimer la pratique par les études et la communication

La majorité des cardiologues interventionnels interviewés au cours de cette étude ont fait part non pas d'un manque de connaissance sur l'imagerie intravasculaire, mais d'un manque d'adoption de cette technique de la part de leurs confrères. Certains cardiologues connaissent la technique d'imagerie intravasculaire mais ne sont pas pleinement convaincus de ses bénéfices envers les patients. Afin de faire connaître les avantages au sein de la communauté de cardiologie, il faut sensibiliser le plus grand nombre de professionnels de santé. Pour cela, les cardiologues interventionnels qui utilisent l'imagerie intravasculaire doivent être plus présents auprès de leurs confrères.

L'une des approches pour remédier à ce manque d'adoption consisterait à encourager la publication régulière d'études cliniques, qui mettent en avant les bénéfices cliniques prouvés de l'imagerie intravasculaire, dans des revues médicales spécialisées. En effet, plus les études cliniques sur l'imagerie intravasculaire augmentent, plus il est important de partager ces résultats afin de toucher un public plus large.

Les publications scientifiques sont la clé pour faire connaître l'efficacité de l'imagerie intravasculaire. Prouver leur efficacité et ainsi faire en sorte que cette technique soit reconnue et recommandée pour le traitement de certaines lésions pour le moment, comme les lésions calcifiées, puis généraliser leur utilisation de manière systématique. Par exemple, dans le cadre des interventions PCI, l'IVUS a reçu une recommandation de classe IIA (qui signifie doit être considéré) dans les lignes directrices 2021 de l'American Heart Association et de 2018 de la Société

européenne de cardiologie. Bien que ce soit un bon début, cette technologie devrait atteindre une recommandation de classe IA (qui signifie doit être recommandé) pour que l'adoption par les cardiologues soit plus répandue.

De plus, l'organisation de réunions inter-hospitalières fréquentes permettrait aux cardiologues d'échanger sur leurs expériences et discuter des cas complexes traités avec l'IVUS et l'OCT. Ces réunions pourraient servir de plateforme pour partager les meilleures pratiques et encourager l'adoption de cette technologie.

Associé à cela, un intranet hospitalier serait mis en place sur lequel les cardiologues pourraient partager leurs interventions et discuter via un chat. Celui-ci permettrait de prolonger les échanges au-delà des réunions physiques, créant ainsi un espace de partage d'informations. L'utilisation de cet outil de communication interne faciliterait l'accès aux dernières avancées technologiques et aux résultats des études cliniques, tout en renforçant la communauté de cardiologie et en favorisant l'adoption plus large de l'IVUS et de l'OCT.

Aujourd'hui, les médias tel qu'internet et les réseaux sociaux représentent une véritable mine d'or en termes de sources d'informations. Il est donc important que les cardiologues interventionnels maîtrisent l'usage de ces médias pour faire connaître l'imagerie intravasculaire. Concernant les réseaux sociaux, le plus intéressant en termes de communication entre spécialistes et professionnels de santé est LinkedIn. Cela permet de toucher un public international et c'est aussi une bonne manière pour les cardiologues de partager une information afin de mettre en valeur la légitimité de l'imagerie intravasculaire.

B. Suivi des résultats cliniques et retour d'expérience

Au-delà de l'idée de mettre en place un intranet inter-hospitalier, la création d'une base de données centralisée à l'échelle nationale serait d'un grand bénéfice. Celle-ci pourrait être mise en place par le gouvernement, serait donc officielle et à destination de tous les professionnels de santé. En prenant exemple sur le site de répertoire des actes de la CCAM, il serait classé par chapitre en fonction de l'anatomie étudiée. Une fois le sujet choisi, il inclurait :

- Données démographiques des patients (âge, sexe, antécédents médicaux, facteurs de risque cardiovasculaire),
- Détails des procédures (type d'intervention, durée et complications éventuelles),
- Résultats cliniques (succès ou non de l'intervention, suivi à court et long terme, amélioration des symptômes, taux de resténose et de thrombose, besoins de réintervention),
- Images et vidéos des procédures (enregistrement des images IVUS et OCT avant, pendant et après l'intervention pour une analyse détaillée).

Ainsi, il permettrait de recueillir et analyser les résultats de diverses interventions. Une des catégories serait dédiée à l'IVUS et l'OCT. Les cardiologues pourraient suivre les dernières interventions complexes et témoigner de l'impact de l'imagerie intravasculaire.

Un des avantages de cette plateforme, comme celle de l'intranet inter-hospitalier, serait d'avoir un retour d'expérience et communiquer sur les différentes interventions afin de démontrer les bénéfices de l'imagerie intravasculaire. Cet espace de discussion serait le moyen de parler des réussites, des défis et des solutions, mais également de demander l'avis de leur confrères lors de cas complexes. Le but serait aussi de renforcer la communauté de cardiologie mais également médicale en partageant les expériences de chacun.

Enfin, il serait intéressant de suivre les résultats de chaque patient pour vraiment témoigner de l'efficacité des techniques utilisées et de certains traitements. Présenter ces résultats lors de congrès permettrait également de sensibiliser un plus grand public et de renforcer la crédibilité de ces technologies, encourageant ainsi leur adoption plus large.

II. Recommandations économiques

A. Amélioration du système de remboursement

Le principal sujet abordé lors des interviews a été le coût et donc inévitablement l'accès au remboursement de l'imagerie intravasculaire. En effet, l'un des principaux obstacles à l'adoption de l'imagerie intravasculaire est le coût élevé des cathéters

IVUS et OCT, qui ne sont actuellement pas remboursés par la sécurité sociale en France et en Belgique. Cette situation crée une barrière financière significative pour de nombreux établissements de santé et patients. L'absence de remboursement empêche l'accès à l'imagerie intravasculaire, limitant ainsi son utilisation aux seuls établissements de santé disposant de ressources suffisantes pour amortir ces coûts. Cela engendre des inégalités dans la qualité des soins offerts aux patients atteints de maladies coronariennes. Il est donc important de faire en sorte que cette technologie soit remboursée par la sécurité sociale pour les rendre accessibles à tous et fournir une meilleure qualité de soins aux patients.

Pour défendre le remboursement de l'IVUS et de l'OCT, il est essentiel de s'appuyer sur des preuves. Cela se traduit par présenter des données cliniques qui prouvent les bénéfices de cette technologie, d'où l'importance de réaliser plus d'études cliniques. Celles-ci doivent démontrer que l'IVUS et l'OCT réduisent significativement les complications post-opératoires, comme les thromboses et les resténoses, et améliorent les résultats à long terme pour les patients. Par exemple, la sous-étude de Renovate Complex a montré qu'au bout de deux ans, une angioplastie guidée par imagerie coûte moins qu'une angioplastie standard, grâce à la diminution des événements secondaires. Ces preuves scientifiques sont cruciales pour convaincre les autorités de santé d'accorder le remboursement de l'imagerie intravasculaire.

Une autre stratégie pour encourager l'adoption de l'IVUS et de l'OCT serait de valoriser l'acte médical. Une angioplastie guidée par imagerie devrait être mieux cotée qu'une angioplastie de base afin de reconnaître et de récompenser l'effort intellectuel et le temps supplémentaire nécessaire à l'utilisation de l'imagerie intravasculaire. En valorisant l'acte, les cardiologues seront incités à adopter cette technique, en compensant le temps et les ressources supplémentaires requis pour les mettre en place. Cela pourrait également attirer plus de cardiologues interventionnels vers l'utilisation de l'imagerie intravasculaire, en démontrant que le surcoût initial est amorti par la réduction des complications et des coûts à long terme.

B. Support de l'industrie

L'industrie joue un rôle crucial dans la promotion des technologies médicales. Le succès économique des entreprises privées du secteur médical repose sur la

collaboration avec les centres de cardiologie. Toutefois, les partenariats entre les entreprises sont souvent sous-estimés alors qu'ils sont essentiels au développement et à l'adoption des différentes avancées technologiques.

Par exemple, GE Healthcare cherche à intégrer son système Allia IGS Pulse dans les laboratoires de cathétérisme en le rendant compatible avec le système IVUS de Boston Scientific. Leur collaboration avec Boston Scientific permet de créer un écosystème innovant et intégré. Cela offre aux cardiologues un contrôle multi-modalités et une expérience de travail fluide et efficace. La technologie de GE Healthcare compatible avec celle de Boston Scientific utilise des cathéters d'imagerie par ultrasons et des algorithmes d'apprentissage automatique pour identifier automatiquement les extrémités et les diamètres des vaisseaux sanguins. Cela facilite ainsi le placement précis et rapide des stents. Ainsi, de telles collaborations peuvent significativement réduire les coûts des dispositifs et rendre ces technologies plus accessibles aux établissements de santé.

L'industrie médicale doit aussi s'engager dans des partenariats stratégiques avec les centres de cardiologie pour faciliter l'accès à l'imagerie intravasculaire. Cela peut inclure des accords pour fournir des technologies à prix réduit pour le lancement d'essais cliniques, permettant aux établissements de santé d'expérimenter et d'adopter cette technologie sans subir de perte financière.

En plus des collaborations, il est important d'encourager le développement des compétences et des connaissances des ingénieurs d'application en radiologie interventionnelle, qui n'ont pas forcément connaissance de ce type de technologies. Les ingénieurs d'application font le lien entre les domaines cliniques et technologiques. Ils jouent un rôle clé dans la promotion et l'intégration de l'imagerie intravasculaire dans les pratiques cliniques. En travaillant étroitement avec les cardiologues interventionnels, ils peuvent assurer une meilleure connaissance et utilisation de l'imagerie intravasculaire et contribuer à l'amélioration des résultats cliniques. Des programmes de formation continue et des ateliers spécialisés doivent être mis en place pour maintenir leurs compétences à jour et leur permettre de maîtriser cette technologie.

III. Recommandations pour la formation et l'éducation

A. Programmes de formation initiale et continue

Aujourd'hui, la formation des cardiologues reste souvent très rudimentaire et basique. Il suffit de jeter un œil aux manuels de médecine pour constater que les nouvelles technologies y sont peu abordées. Il est donc crucial de mettre en place des programmes plus récents, intégrant des modules spécifiques sur l'IVUS et l'OCT dans la formation initiale des futurs cardiologues. De cette manière, les jeunes générations seront au moins informées des dernières avancées et des nouvelles techniques apparues. Cela permettra aux nouveaux cardiologues de se familiariser avec ces technologies dès le début de leur carrière, leur fournissant ainsi une base solide de connaissances pour les utiliser efficacement. Par la suite, lors de leur internat, ils devraient bénéficier d'une approche pratique pour compléter cet apprentissage théorique.

En effet, le fellowship, qui est une période de formation avancée destinée aux praticiens, n'est pas à négliger. Il permet aux professionnels de santé, comme les cardiologues interventionnels, d'acquérir et approfondir une compétence dans leur spécialité. Cette formation continue apporte un aspect pratique et peut transformer leur habitude en intégrant l'imagerie intravasculaire. Par exemple, les cardiologues français peuvent faire un fellowship en Belgique ou aux Pays-Bas, où l'imagerie intravasculaire est plus couramment utilisée, et ainsi élargir leurs connaissances et améliorer leur pratique.

Comme abordé dans l'analyse des résultats, la formation se fait principalement à travers des workshops organisés par les laboratoires, des congrès nationaux où les cardiologues interventionnels présentent et discutent de cas complexes. La formation informelle, basée sur des échanges lors de congrès, ne remplace pas une éducation formelle et structurée. Tous les cardiologues doivent suivre des programmes de formation afin qu'ils puissent non seulement utiliser ces technologies, mais aussi interpréter les images de manière précise et efficace. Les images doivent être interprétées de manière universelle afin de créer un langage commun, permettant ainsi une cohésion dans les interprétations. La création de programmes éducatifs officiels, intégrant l'imagerie intravasculaire dans la formation

classique des cardiologues, est essentielle pour optimiser l'utilisation et l'efficacité de cette technologie dans les interventions PCI. Cela permettra de pallier les lacunes actuelles et d'améliorer les résultats cliniques.

B. Congrès et ateliers

Pour encourager l'utilisation de l'imagerie intravasculaire, il est important de promouvoir la participation des cardiologues interventionnels à des congrès et des conférences, qu'ils soient nationaux ou internationaux. Ces événements sont des lieux d'échanges idéaux pour communiquer sur les meilleures pratiques, découvrir les dernières innovations technologiques et assister à la présentation des nouvelles études cliniques. C'est d'ailleurs lors de ces congrès que les résultats des études cliniques sont publiés. Participer à ces événements renforce les réseaux professionnels et permettent le partage d'expériences, ce qui favorise l'amélioration continue des pratiques cliniques.

Pour compléter cela, la mise en place d'ateliers pratiques lors de ces congrès est indispensable. Ces sessions, organisées par les entreprises de dispositifs médicaux, permettent aux cardiologues de manipuler directement les équipements, d'apprendre des techniques avancées et de discuter avec leurs confrères spécialisés dans le domaine. Utiliser la réalité virtuelle pourrait rendre l'apprentissage de l'imagerie intravasculaire beaucoup plus concret. Par exemple, les cardiologues pourraient porter des casques de réalité virtuelle pour simuler des cas pratiques, permettant de voir en temps réel les bénéfices de l'IVUS et de l'OCT. Ces technologies offrent une expérience immersive qui aide à mieux comprendre et manipuler l'imagerie intravasculaire.

Conclusion

La maladie cardiovasculaire est l'une des principales causes de mortalité dans le monde. Pour traiter cette maladie, les cardiologues interventionnels réalisent des procédures PCI, au cours desquelles un stent est implanté. Pour optimiser la planification de la procédure et améliorer les résultats, certains cardiologues utilisent l'imagerie intravasculaire. Cependant, cette technologie reste peu intégrée dans les pratiques. Il est donc pertinent de se demander comment l'imagerie intravasculaire impacte le déploiement des stents et influence le secteur de la cardiologie.

L'étude réalisée dans le cadre de ce mémoire a montré que l'imagerie intravasculaire améliore le placement des stents et réduit significativement les complications post-opératoires. Toutefois, plusieurs obstacles freinent l'adoption de cette technologie : le manque de remboursement et le coût élevé des cathéters, et la nécessité d'une formation à l'utilisation de cette technologie. Ces défis financiers et éducatifs limitent l'intégration de l'imagerie intravasculaire dans la pratique clinique courante.

Malgré ces obstacles, l'intégration de cette technologie a pris un tout nouveau tournant ces dernières années. Les fervents utilisateurs de l'imagerie intravasculaire restent optimistes quant à son avenir. Les preuves issues des études cliniques suscitent l'intérêt croissant de plus en plus de cardiologues, en particulier des nouvelles générations qui commencent à l'intégrer dans leur pratique. L'industrie de la cardiologie collabore également en proposant des solutions compatibles avec les systèmes d'imagerie à rayons X, soulignant la complémentarité de ces technologies.

Les partenariats entre l'industrie et le secteur médical doivent être renforcés pour exploiter au mieux le potentiel de l'imagerie intravasculaire et la rendre plus accessible. Intégrer l'imagerie intravasculaire dans la formation des jeunes cardiologues serait également un pas important vers une adoption plus large. De plus, pour qu'elle devienne une pratique courante, il est important de surmonter les obstacles actuels par des actions ciblées sur le coût, la formation et le soutien institutionnel. Poursuivre ces efforts contribuera à améliorer les résultats cliniques et à faire progresser le traitement des maladies cardiovasculaires.

1. Abubakar, M., Javed, I., Rasool, H. F., Raza, S., Basavaraju, D., Abdullah, R. M., Ahmed, F., Salim, S. S., Faraz, M. A., Hassan, K. M., & Hajjaj, M. (2023). Advancements in percutaneous coronary intervention techniques: A comprehensive literature review of mixed studies and practice guidelines. *Cureus*. <https://doi.org/10.7759/cureus.41311>
2. Park, S., Park, S.-J., & Park, D.-W. (2023). Percutaneous coronary intervention versus coronary artery bypass grafting for revascularization of left main coronary artery disease. *Korean Circulation Journal*, 53(3), 113. <https://doi.org/10.4070/kcj.2022.0333>
3. Groenland, F. T. W., Neleman, T., Kakar, H., Scoccia, A., Ziedses des Plantes, A. C., Clephas, P. R. D., Chatterjee, S., Zhu, M., den Dekker, W. K., Diletti, R., Zijlstra, F., Mahmoud, K. D., Van Mieghem, N. M., & Daemen, J. (2022). Intravascular ultrasound-guided versus coronary angiography-guided percutaneous coronary intervention in patients with acute myocardial infarction: A systematic review and meta-analysis. *International Journal of Cardiology*, 353, 35–42. <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2022.01.021>
4. European Society of Cardiology. (2023, August 27). Intravascular imaging associated with improved outcomes compared with angiography. oct vs. ivus vs. angiography guidance presented in a hot line session today at esc congress 2023. European Society of Cardiology.
5. Park, D. Y., Vemmou, E., An, S., Nikolakopoulos, I., Regan, C. J., Cambi, B. C., Frampton, J., Vij, A., Brilakis, E., & Nanna, M. G. (2023). Trends and impact of intravascular ultrasound and optical coherence tomography on percutaneous coronary intervention for myocardial infarction. *IJC Heart & Vasculature*, 45, 101186. <https://doi.org/10.1016/j.ijcha.2023.101186>
6. Wang, C., Lindquist, K., Krumholz, H., & Hsia, R. Y. (2023). Trends in the likelihood of receiving percutaneous coronary intervention in a low-volume hospital and disparities by sociodemographic communities. *PLOS ONE*, 18(1). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0279905>
7. Mercadante AA, Raja A. Anatomy, Arteries. [Updated 2023 Mar 6]. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2024 Jan-. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK547743/>
8. Attias, D., Lellouche, N., & Pezel, T. (2021). *Cardiologie Vasculaire*. VG éditions.
9. de Bony de Lavergne, B. de L. M. (2024). *Cardiologie*. Ellipses.

10. Ahmad, M. (2023, June 5). Percutaneous coronary intervention. StatPearls [Internet]. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK556123/>
11. Barton, M., Grüntzig, J., Husmann, M., & Rösch, J. (2014). Balloon angioplasty – the legacy of Andreas Grüntzig, M.D. (1939–1985). *Frontiers in Cardiovascular Medicine*, 1. <https://doi.org/10.3389/fcvm.2014.00015>
12. FÉDÉRATION FRANÇAISE DE CARDIOLOGIE. (2021, May 21). L'angioplastie coronaire. FFC. [https://www.fedecardio.org/je-m-informe/l-angioplastie/#:~:text=L'angioplastie%20coronaire%2C%20%C3%A9galement%20nomm%C3%A9,s\)%20coronaire\(s\)](https://www.fedecardio.org/je-m-informe/l-angioplastie/#:~:text=L'angioplastie%20coronaire%2C%20%C3%A9galement%20nomm%C3%A9,s)%20coronaire(s))
13. Yale Medicine. (2022, August 18). Percutaneous coronary intervention (PCI). <https://ym.care/5x7>
14. professional, C. C. medical. (2021, June 11). Percutaneous coronary intervention (PCI). Cleveland Clinic. <https://my.clevelandclinic.org/health/treatments/22066-percutaneous-coronary-intervention>
15. Schmidt, T., & Abbott, J. (2018). Coronary stents: History, design, and construction. *Journal of Clinical Medicine*, 7(6), 126. <https://doi.org/10.3390/jcm7060126>
16. Iqbal, J., Gunn, J., & Serruys, P. W. (2013). Coronary stents: Historical development, current status and Future Directions. *British Medical Bulletin*, 106(1), 193–211. <https://doi.org/10.1093/bmb/ldt009>
17. Kaplan, J. A., Cronin, B., & Maus, T. (2019a). Chapter 3 - Care of the Patient With Coronary Stents Undergoing Noncardiac Surgery. In *Kaplan's essentials of cardiac anesthesia for Noncardiac Surgery* (pp. 33–70). essay, Elsevier.
18. Bennett, J., & Dubois, C. (2013). Percutaneous coronary intervention, a historical perspective looking to the future. *Journal of thoracic disease*, 5(3), 367–370. <https://doi.org/10.3978/j.issn.2072-1439.2013.04.21>
19. Hassan, S., Ali, M. N., & Ghafoor, B. (2022). Evolutionary perspective of drug eluting stents: From thick polymer to polymer free approach. *Journal of Cardiothoracic Surgery*, 17(1). <https://doi.org/10.1186/s13019-022-01812-y>

20. Patel, S., Patel, K. B., Patel, Z., Konat, A., Patel, A., Doshi, J. S., Chokshi, P., Patel, D., Sharma, K., Amdani, M. M., Shah, D. B., Dholu, U., & Patel, M. (2023). Evolving coronary stent technologies - A glimpse into the future. *Cureus*. <https://doi.org/10.7759/cureus.35651>
21. Ahadi, F., Azadi, M., Biglari, M., Bodaghi, M., & Khaleghian, A. (2023). Evaluation of coronary stents: A review of types, materials, processing techniques, design, and Problems. *Heliyon*, 9(2). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e13575>
22. Condello, F., Spaccarotella, C., Sorrentino, S., Indolfi, C., Stefanini, G. G., & Polimeni, A. (2023). Stent thrombosis and restenosis with contemporary drug-eluting stents: Predictors and current evidence. *Journal of Clinical Medicine*, 12(3), 1238. <https://doi.org/10.3390/jcm12031238>
23. Onuma, Y., Ormiston, J., & Serruys, P. W. (2011). Bioresorbable Scaffold Technologies. *Circulation Journal*, 75(3), 509–520. <https://doi.org/10.1253/circj.cj-10-1135>
24. Alfonso, F. (2013). New drug-eluting stents: Polymer-free, biodegradable polymers or bioabsorbable scaffolds? *Revista Española de Cardiología (English Edition)*, 66(6), 423–426. <https://doi.org/10.1016/j.rec.2013.02.005>
25. Lee, D.-H., & Torre Hernandez, J. M. (2018). The newest generation of drug-eluting stents and beyond. *European Cardiology Review*, 13(1), 54. <https://doi.org/10.15420/ecr.2018:8:2>
26. Tomberli, B., Mattesini, A., Baldereschi, G. I., & Di Mario, C. (2018). A brief history of coronary artery stents. *Revista Española de Cardiología (English Edition)*, 71(5), 312–319. <https://doi.org/10.1016/j.rec.2017.11.022>
27. Hensey, M., Sathananthan, J., Teguh, W. P., & Mulvihill, N. (2018). Is there a role for bare-metal stents in current Stemi Care? *Primary Angioplasty*, 137–150. https://doi.org/10.1007/978-981-13-1114-7_11
28. Costa, F., Brugaletta, S., Pernigotti, A., Flores-Ulmanzor, E., Ortega-Paz, L., Cequier, A., Iniguez, A., Serra, A., Jiménez-Quevedo, P., Mainar, V., Campo, G., Tespili, M., den Heijer, P., Bethencourt, A., Vazquez, N., van Es, G. A., Backx, B., Valgimigli, M., Serruys, P., & Sabaté, M. (2019). Does large vessel size justify use of bare-metal stents in primary percutaneous coronary intervention? *Circulation: Cardiovascular Interventions*, 12(9). <https://doi.org/10.1161/circinterventions.118.007705>

29. Colombo, A., Giannini, F., & Briguori, C. (2017). Should we still have bare-metal stents available in our catheterization laboratory? *Journal of the American College of Cardiology*, 70(5), 607–619. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2017.05.057>
30. Toleos , A. (2023, October 31). Unnecessary coronary stents cost medicare as much as \$800 million per year. *The Lown Institute*.
31. O'CONNOR , A. (2013, August 15). Heart stents still overused, experts say. *The New York Times*.
32. Carroll, A. E. (2018, February 12). Heart stents are useless for most stable patients. they're still widely used. . *The New York Times*.
33. Levine, G. N. (2018). Chapter 13 - Coronary Angiography and Intracoronary Imaging and Physiologic Assessment. In *Cardiology secrets* (pp. 111–121). essay, Elsevier.
34. Truesdell, A. G., Alasnag, M. A., Kaul, P., Rab, S. T., Riley, R. F., Young, M. N., Batchelor, W. B., Maehara, A., Welt, F. G., & Kirtane, A. J. (2023). Intravascular imaging during percutaneous coronary intervention. *Journal of the American College of Cardiology*, 81(6), 590–605. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2022.11.045>
35. Allan, R. B., Delaney, C. L., & Puckridge, P. J. (2022, September). Optimizing technique for success: a guide for the use of ivus in femoropopliteal intervention. *Endovascular Today*.
36. Myat, A., Clarke, S., Curzen, N., Windecker, S., & Gurbel, P. A. (2018). *The Interventional Cardiology Training Manual*. Springer.
37. Optical Coherence Tomography (OCT). CathLab.com. (2019, November 16). <https://cathlab.com/product-educations/optical-coherence-tomography-oct/>
38. Shlofmitz, E., Ali, Z. A., Maehara, A., Mintz, G. S., Shlofmitz, R., & Jeremias, A. (2020). Intravascular Imaging-guided percutaneous coronary intervention. *Circulation: Cardiovascular Interventions*, 13(12). <https://doi.org/10.1161/circinterventions.120.008686>
39. Mintz, G. S., Matsumura, M., Ali, Z., & Maehara, A. (2022). Clinical utility of intravascular imaging. *JACC: Cardiovascular Imaging*, 15(10), 1799–1820. <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2022.04.026>
40. Kral, B. G., Becker, L. C., Vaidya, D., Yanek, L. R., Qayyum, R., Zimmerman, S. L., Dey, D., Berman, D. S., Moy, T. F., Fishman, E. K., & Becker, D. M. (2014). Noncalcified coronary

plaque volumes in healthy people with a family history of early onset coronary artery disease. *Circulation: Cardiovascular Imaging*, 7(3), 446–453.
<https://doi.org/10.1161/circimaging.113.000980>

41. Räber, L., Mintz, G. S., Koskinas, K. C., Johnson, T. W., Holm, N. R., Onuma, Y., Radu, M. D., Joner, M., Yu, B., Jia, H., Meneveau, N., de la Torre Hernandez, J. M., Escaned, J., Hill, J., Prati, F., Colombo, A., di Mario, C., Regar, E., Capodanno, D., ... Carter, R. (2018). Clinical use of intracoronary imaging. part 1: Guidance and optimization of coronary interventions. an expert consensus document of the European Association of Percutaneous Cardiovascular Interventions. *European Heart Journal*, 39(35), 3281–3300.
<https://doi.org/10.1093/eurhearti/ehy285>

42. Lawton, J. S., Tamis-Holland, J. E., Bangalore, S., Bates, E. R., Beckie, T. M., Bischoff, J. M., Bittl, J. A., Cohen, M. G., DiMaio, J. M., Don, C. W., Fremes, S. E., Gaudino, M. F., Goldberger, Z. D., Grant, M. C., Jaswal, J. B., Kurlansky, P. A., Mehran, R., Metkus, T. S., Nnacheta, L. C., ... Zwischenberger, B. A. (2022). 2021 ACC/AHA/SCAI guideline for Coronary artery revascularization: A report of the american college of cardiology/american heart association joint committee on clinical practice guidelines. *Circulation*, 145(3).
<https://doi.org/10.1161/cir.0000000000001038>

43. Yonetsu, T., & Jang, I.-K. (2024). Cardiac Optical Coherence Tomography. *JACC: Asia*, 4(2), 89–107. <https://doi.org/10.1016/j.jacasi.2023.10.001>

44. Holm, N. R., Andreasen, L. N., Neghabat, O., Laanmets, P., Kumsars, I., Bennett, J., Olsen, N. T., Odenstedt, J., Hoffmann, P., Dens, J., Chowdhary, S., O’Kane, P., Bülow Rasmussen, S.-H., Heigert, M., Havndrup, O., Van Kuijk, J. P., Biscaglia, S., Mogensen, L. J. H., Henareh, L., ... Christiansen, E. H. (2023). OCT or angiography guidance for PCI in complex bifurcation lesions. *New England Journal of Medicine*, 389(16), 1477–1487.
<https://doi.org/10.1056/nejmoa2307770>

45. Zhang, J., Gao, X., Kan, J., Ge, Z., Han, L., Lu, S., Tian, N., Lin, S., Lu, Q., Wu, X., Li, Q., Liu, Z., Chen, Y., Qian, X., Wang, J., Chai, D., Chen, C., Li, X., Gogas, B. D., ... Chen, S.-L. (2018). Intravascular ultrasound versus angiography-guided drug-eluting stent implantation. *Journal of the American College of Cardiology*, 72(24), 3126–3137.
<https://doi.org/10.1016/j.jacc.2018.09.013>

46. Stone, G. W., Christiansen, E. H., Ali, Z. A., Andreasen, L. N., Maehara, A., Ahmad, Y., Landmesser, U., & Holm, N. R. (2024). Intravascular Imaging-guided coronary drug-eluting

stent implantation: An updated network meta-analysis. *The Lancet*, 403(10429), 824–837.
[https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(23\)02454-6](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(23)02454-6)

47. Buccheri, S., Franchina, G., Romano, S., Puglisi, S., Venuti, G., D'Arrigo, P., Francaviglia, B., Scalia, M., Condorelli, A., Barbanti, M., Capranzano, P., Tamburino, C., & Capodanno, D. (2017). Clinical outcomes following intravascular imaging-guided versus coronary angiography-guided percutaneous coronary intervention with stent implantation. *JACC: Cardiovascular Interventions*, 10(24), 2488–2498.
<https://doi.org/10.1016/j.jcin.2017.08.051>

48. Khan, S. U., Agarwal, S., Arshad, H. B., Akbar, U. A., Mamas, M. A., Arora, S., Baber, U., Goel, S. S., Kleiman, N. S., & Shah, A. R. (2023). Intravascular imaging guided versus coronary angiography guided percutaneous coronary intervention: Systematic review and meta-analysis. *BMJ*. <https://doi.org/10.1136/bmj-2023-077848>

49. Hong, D., Lee, J., Lee, H., Cho, J., Guallar, E., Choi, K. H., Lee, S. H., Shin, D., Lee, J.-Y., Lee, S.-J., Lee, S. Y., Kim, S. M., Yun, K. H., Cho, J. Y., Kim, C. J., Ahn, H.-S., Nam, C.-W., Yoon, H.-J., Park, Y. H., ... Lee, J. M. (2024). Cost-effectiveness of intravascular imaging-guided complex PCI: Prespecified analysis of renovate-complex-PCI trial. *Circulation: Cardiovascular Quality and Outcomes*, 17(3).
<https://doi.org/10.1161/circoutcomes.123.010230>

50. Sharp, A. S., Kinnaird, T., Curzen, N., Ayyub, R., Alfonso, J. E., Mamas, M. A., & Vanden Bavière, H. (2023). Cost-effectiveness of intravascular ultrasound-guided percutaneous intervention in patients with acute coronary syndromes: A UK perspective. *European Heart Journal - Quality of Care and Clinical Outcomes*. <https://doi.org/10.1093/ehjqcco/qcad073>

51. Blanchard, D. (2023). Activité coronaire. In *Hightech cardio 2023*.

52. Collet, C. (2024). 3DStent A New Era in Stent Enhancement For Percutaneous Coronary Intervention.

53. Koskinas, K. C., Nakamura, M., Räber, L., Colleran, R., Kadota, K., Capodanno, D., Wijns, W., Akasaka, T., Valgimigli, M., Guagliumi, G., Windecker, S., & Byrne, R. A. (2018). Current use of intracoronary imaging in interventional practice – results of a european association of percutaneous cardiovascular interventions (EAPCI) and Japanese Association of Cardiovascular Interventions and Therapeutics (CVIT) clinical practice survey. *EuroIntervention*, 14(4). https://doi.org/10.4244/eijy18m03_01

54. CCAM. (2022, April 1). CCAM en Ligne - CCAM. CCAM trouver un acte.
<http://www.ameli.fr/accueil-de-la-ccam/index.php>

55. CCAM. (2022, April 1). CCAM en Ligne - CCAM. CCAM trouver un acte.
<https://www.ameli.fr/accueil-de-la-ccam/trouver-un-acte/fiche-abregee.php>

Liste des annexes

Annexe I : Questionnaire en ligne.....	69
Annexe II : Guide d’entretien.....	72
Annexe III : Codage des entretiens.....	74

Annexe I : Questionnaire en ligne

How many years have you been practicing as an interventional cardiologist?

- Less than 5 years
- 5-10 years
- 10-15 years
- 15-20a
- more than 20y

In which country do you mainly practice?

- France
- Belgium

In which type of establishment do you practice?

- public hospital
- private hospital

Use of intravascular imaging

Do you use intravascular imaging (IVUS/OCT) in your practice? Yes/No

If yes, please specify which one:

- IVUS,
- OCT,
- both.

When do you use intravascular imaging

- before stent implantation
- after implantation
- both

What percentage of your PCI procedures with stent placement involve the use of intravascular imaging?

- less than 10%
- 10-20%
- 20-30%
- 30-40%
- 40-50%
- more than 50%

How would you rate the improved accuracy of stent placement thanks to intravascular imaging?

- Significantly improved

- Moderately improved
- Has no significant impact
- Potentially detrimental to results
- Uncertain

For what type of patient do you perform intravascular imaging?
In which case would you avoid using intravascular imaging ?

Reasons for using or not using intravascular imaging

If you use intravascular imaging, what are the main benefits you see?

- Improved accuracy of stent deployment
- Reduced post-operative complications
- Better lesion assessment
- Other reasons

In your opinion, what are the reasons for the non-adoption of intravascular imaging?

- High cost of equipment or procedures
- Not reimbursed
- Lack of time or procedure too long
- Lack of expertise or training
- Resource or equipment constraints in the facility
- Perception that benefits do not justify costs or effort
- Other reasons

Impact on Patient Care

In your opinion, how does the use of intravascular imaging influence patient outcomes?

- Significantly improved
- Moderately improved
- Has no significant impact
- Potentially detrimental to outcomes
- Uncertain

Perspectives on Intravascular Imaging Adoption

Do you think it's important to be trained on the use of OCT and/or IVUS? Yes/No

What factors could encourage wider use of intravascular imaging in coronary stent placement?

- Cost reduction
- Reimbursement of the procedure
- Increased training and education for professionals
- Technological improvements (speed, ease of use)
- Better evidence of benefits for patients
- Other

Annexe II : Guide d'entretien

Phase 1 : Informations Générales

1. Pouvez-vous vous présenter brièvement et décrire votre parcours professionnel en cardiologie interventionnelle ?
2. Pouvez-vous me parler de l'activité interventionnelle au sein de votre établissement ? Combien de procédures PCI réalisez-vous par semaine/an ?

Phase 2 : Expérience avec l'Imagerie Intravasculaire

1. Utilisez-vous les technologies IVUS et OCT dans vos procédures PCI ?
 - a. Si oui, depuis combien de temps et à quelle fréquence ?
 - b. Si non, pourquoi ?

Phase 3 : Formation et Éducation

1. Avez-vous reçu une formation spécifique pour l'utilisation de l'IVUS et de l'OCT ?
2. Que recommanderiez-vous pour améliorer la formation et l'éducation continue des cardiologues concernant ces technologies ?

Phase 4 : Avantages et Utilisation

1. Quels sont les principaux avantages de l'utilisation de l'IVUS et de l'OCT par rapport à l'angiographie standard dans le déploiement des stents ?
2. Dans quelles situations spécifiques trouvez-vous l'IVUS et l'OCT particulièrement utiles ?
3. Quels facteurs influencent votre choix d'utiliser ou non l'imagerie intravasculaire ?
 - a. Est-ce que les études cliniques influencent vos décisions concernant l'emploi de l'IVUS et de l'OCT ?
4. Comment ces technologies impactent-elles la précision du placement des stents ?
5. Quel est leur impact sur la réduction des complications telles que la resténose et la thrombose de stent ?

Phase 5 : Obstacles et Défis

1. Quels sont les principaux obstacles à l'utilisation de l'IVUS et de l'OCT (coût, temps, complexité, remboursement) ?
2. Comment le système de remboursement affecte-t-il votre utilisation de l'imagerie intravasculaire ?
3. Que faudrait-il mettre en place pour que l'adoption de ces technologies soit plus large ?

Phase 6 : Perceptions et Attitudes

1. Selon vous, l'imagerie intravasculaire est-elle bien intégrée au sein de la communauté de cardiologie dans les procédures de pose de stent ?
 - a. Si non, quels facteurs pourraient encourager une adoption plus large de l'imagerie intravasculaire ? Comment faire la promotion de cette technique ?
2. Pensez-vous que ces technologies devraient devenir une norme standard dans les procédures PCI ? Pour quelles raisons ?

Phase 7 : Perspectives Futures

1. Comment voyez-vous l'évolution de l'utilisation de l'IVUS et de l'OCT dans les prochaines années ?
2. Quelles améliorations ou innovations souhaiteriez-vous voir dans ces technologies pour faciliter leur adoption ?
3. Pensez-vous que l'industrie peut jouer un rôle favorable dans l'adoption de ces technologies ?

Conclusion :

1. Y a-t-il autre chose que vous aimeriez ajouter ou partager concernant l'imagerie intravasculaire et son impact sur votre pratique ?

Annexe III : Codage des entretiens

		Cardiologue interventionnel A	Cardiologue interventionnel B	Cardiologue interventionnel C	Cardiologue interventionnel D	Apparition totale
Avantages de l'imagerie intravasculaire	Meilleure visualisation	3	2	2	3	10
	Précision du placement du stent	2	2	2	4	10
	Réduction des complications (thrombose, resténose)	2	2	2	4	10
	Planification des interventions	1	2	2	2	7
	Amélioration de la sécurité	1	2	2	3	8
Défis et obstacles à l'adoption	Coût élevé	4	5	4	5	18
	Manque de remboursement	3	3	3	4	13
	Formation nécessaire	2	3	2	3	10
	Durée de la procédure	2	3	2	2	9
	Complexité technique	2	3	2	2	9
Impact sur les Procédures et Résultats	Amélioration des résultats cliniques	2	2	2	3	9
	Optimisation de la technique PCI	1	2	2	2	7
	Réduction des réinterventions	1	2	2	3	8
	Suivi post-procédure	1	2	2	2	7
Acceptation et Attitudes des Professionnels	Résistance initiale des confrères	2	3	2	2	9
	Enthousiasme pour la technologie	2	3	2	2	9
	Adoption par les jeunes cardiologues	1	2	1	2	6
	Influence des pairs	1	2	1	1	5
	Formation continue	2	3	2	3	10
Influence sur le Marché de la Cardiologie	Changement des pratiques	2	2	2	2	8
	Partage d'expérience	3	2	2	2	9
	Adoption à l'échelle nationale	1	1	1	1	4
	Impact sur les coûts globaux de la santé	2	2	1	2	7
	Incitations économiques pour les hôpitaux	1	1	1	1	4
	Collaboration avec l'industrie	1	2	1	2	6
Améliorations Technologiques Souhaitées	Intégration des outils d'imagerie dans le cathlab	1	1	1	1	4
	Interfaces faciles d'utilisation	1	1	1	1	4
	Miniaturisation des équipements	1	1	0	0	2
	Cathéters plus maniables	1	1	0	0	2