



HAL
open science

Apport du scanner pré-interventionnel dans la prédiction du risque de complications péri-procédurales chez les patients traités par remplacement valvulaire aortique percutané trans fémoral

Ludovic Maxo

► **To cite this version:**

Ludovic Maxo. Apport du scanner pré-interventionnel dans la prédiction du risque de complications péri-procédurales chez les patients traités par remplacement valvulaire aortique percutané trans fémoral. Médecine humaine et pathologie. 2022. dumas-04237919

HAL Id: dumas-04237919

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-04237919>

Submitted on 11 Oct 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

UNIVERSITÉ DES ANTILLES
2021-2022

FACULTÉ DE MÉDECINE
HYACINTHE BASTARAUD
N° 2022ANTI0878

**Apport du scanner pré-interventionnel dans la prédiction du
risque de complications péri-procédurales chez les patients
traités par remplacement valvulaire aortique percutané trans
fémoral.**

THÈSE

Présentée et soutenue publiquement à la Faculté de Médecine Hyacinthe BASTARAUD
des Antilles et de la Guyane
Et examinée par les Enseignants de ladite Faculté

Le 17 Octobre 2022

Pour obtenir le grade de

DOCTEUR EN MÉDECINE

Par

Ludovic MAXO

Examineurs de la thèse :

Président du jury: Professeur Jocelyn INAMO (CHU Fort de France, Martinique)

Juge: Professeur Pierre LANTELME (CHU de la Croix-Rousse, Lyon)

Juge: Docteur Julien FABRE (CHU Fort de France, Martinique)

Directeur: Professeur Brahim HARBAOUI (CHU de la Croix-Rousse, Lyon)

UNIVERSITÉ DES ANTILLES



FACULTÉ DE MÉDECINE HYACINTHE BASTARAUD

Président de l'Université : Michel GEOFFROY
Doyen de la Faculté de Médecine : Suzy DUFLO
Vice-Doyen de la Faculté de Médecine : Christophe DELIGNY

Rémi NEVIÈRE

Physiologie

CHU de MARTINIQUE

Tél :

Pascal BLANCHET

Chirurgie Urologique

CHU de POINTE-À-PITRE/ABYMES

Tél : 05 90 89 13 95 - Tél/Fax 05 90 89 17 87

André-Pierre UZEL

Chirurgie Orthopédique et Traumatologie

CHU de POINTE-A-PITRE/ABYMES

Tél : 05 90 89 14 66 – Fax : 0590 89 17 44

Pierre COUPPIE

Dermatologie

CH de CAYENNE

Tél : 05 94 39 53 39 - Fax : 05 94 39 52 83

Bertrand De TOFFOL

Neurologie

CH de CAYENNE

Suzy DUFLO

ORL – Chirurgie Cervico-Faciale

CHU de POINTE-A-PITRE/ABYMES

Tél : 05 90 93 46 16

Eustase JANKY

Gynécologie-Obstétrique

CHU de POINTE-A-PITRE/ABYMES

Tél 05 90 89 13 89 - Fax 05 90 89 13 88

Michel DE BANDT

Rhumatologie

CHU de MARTINIQUE

Tél : 05 96 55 23 52 - Fax : 05 96 75 84 44

François ROQUES

Chirurgie Thoracique et Cardiovasculaire

CHU de MARTINIQUE

Tél : 05 96 55 22 71 - Fax : 05 96 75 84 38

Jean ROUDIE

Chirurgie Digestive

CHU de MARTINIQUE

Tel : 05 96 55 21 01

Tél : 05 96 55 22 71 - Fax : 05 96 75 84 38

André CABIE	Maladies Infectieuses Et tropicales CHU de MARTINIQUE Tél : 05 96 55 23 01
Philippe CABRE	Neurologie CHU de MARTINIQUE Tél : 05 96 55 22 61
Raymond CESAIRE	Bactériologie-Virologie-Hygiène option virologie CHU de MARTINIQUE Tél : 05 96 55 24 11
Sébastien BREUREC	Bactériologie & Vénérologie Hygiène hospitalière CHU de POINTE- À -PITRE/ABYMES Tél : 05 90 89 12 80
Antoine ADENIS	Epidémiologie, Economie de la Santé et Prévention CH de CAYENNE
Annie LANNUZEL	Neurologie CHU de POINTE- À -PITRE/ABYMES Tél : 05 90 89 14 13
Mathieu NACHER	Epidémiologie CH de CAYENNE Tél : 05 94 93 50 24
Magalie DEMAR-PIERRE	Parasitologie et Infectiologie CH de CAYENNE Tél : 05 94 39 53 09
Jeannie HELENE-PELAGE	Médecine Générale Cabinet libéral au Gosier Tél : 05 90 84 44 40 - Fax : 05 90 84 78 90
DJOSSOU Félix	Maladies Infectieuses Et tropicales CH de CAYENNE Tél :
Christophe DELIGNY	Gériatrie et biologie du vieillissement CHU de MARTINIQUE Tél : 05 96 55 22 55
Narcisse ELENGA	Pédiatrie CH de CAYENNE Tél :
Karim FARID	Médecine Nucléaire CHU de MARTINIQUE Tél : 05 96 55 24 61
Moustapha DRAME	Épidémiologie Économie de la Santé et Prévention CHU de MARTINIQUE
Maturin TABUE TEGUO	Médecine interne: Gériatrie et biologie Du vieillissement CHU de GUADELOUPE Tél :
Nadège CORDEL-WATTIER	Dermato -Vénérologie CHU de GUADELOUPE
Pierre-Marie ROGER	Maladies Infectieuses, Maladies Tropicales

Harold MERLE	CHU de GUADELOUPE Ophthalmologie
Kallel HATEM	CHU de MARTINIQUE Médecine Intensive-Réanimation CHU de CAYENNE
Stéphanie PUGET	Neurochirurgie CHU de MARTINIQUE Épidémiologie, Économie de la santé et prévention CHU de GUADELOUPE
Jacqueline DELOUMEAUX-TYNDAL	Hématologie, Transfusion CHU de POINTE- À -PITRE/ABYMES Tél : 05 90 89 12 77
Véronique BACCINI	Maladies Infectieuses CH de CAYENNE
Loïc EPELBOIN	Cardiologie CHU de MARTINIQUE Tél : 05 96 55 23 72 - Fax : 05 96 75 84 38
Jocelyn INAMO	Gynécologie Obstétrique CHU de GUADELOUPE
Olivier PARANT	Thérapeutique-Médecine de la Douleur CHU de MARTINIQUE
Dabor RESIERE	Radiologie et Imagerie Médicale CH de CAYENNE
Magaly ZAPPA	

Professeurs des Universités Associé – Médecine Générale

Franciane GANE-TROPLENT	Médecine générale Cabinet libéral les Abymes Tél : 05 90 20 39 37
--------------------------------	--

Professeurs des Universités Associé

Papa Ngalgou GUEYE	Médecine D'urgence CHU de MARTINIQUE
Hossein MEHDAOUI	Médecine Intensive-Réanimation CHU de MARTINIQUE
Stéphane PLawecki	Chirurgie Orthopédique CHU de MARTINIQUE
Jean-Marc PUJO	Médecine d'Urgence CH de CAYENNE

Maîtres de Conférences des Universités - Praticiens Hospitaliers

Fritz-Line VELAYOUDOM épouse CEPHISE

Endocrinologie

CHU de GUADELOUPE

Tél : 05 90 89 13 03

Marie-Laure LALANNE-MISTRIH

Nutrition

CHU de GUADELOUPE

Tél : 05 90 89 13 00

Moana GELU-SIMEON

Gastroentérologie

CHU de GUADELOUPE

- Fax : 05 90 75 84 38

Clarisse JOACHIM-CONTARET

Épidémiologie, Économie de la Santé et prévention

CHU de MARTINIQUE

Laurent BRUREAU

Chirurgie Urologique

CHU de GUADELOUPE

Cindy BERAL

Ophthalmologie

CHU de GUADELOUPE

Mathieu SEVERYNS

Chirurgie Orthopédique-Traumatologie

CHU de MARTINIQUE

Maîtres de Conférences Associé

Amélie ROLLE

Anesthésiologie-réanimation

CHU de GUADELOUPE

Maîtres de Conférences des Universités – Médecine Générale

Philippe CARRERE

Médecin généraliste

60 route du camp Jacob

Tél :

Maîtres de Conférences Associé – Médecine Générale

Walé KANGAMBEGA-CHATEAU-
DEGAT

Médecin généraliste

Maison de santé Pluriprof du Lamentin

Franck MASSE

Médecine Générale

Tél : 0596 56 13 23

Chefs de Clinique des Universités - Assistants des Hôpitaux

Malaïka PELAGES

Endocrinologie

CHU DE GUADELOUPE

Tél :

Olivier CORSERI

Pédiatrie

CH de CAYENNE

Tél :

Agathe GOUBAND

Hématologie

CHU de GUADELOUPE

Tél :

Camille OBERT-MARBY

Médecin Générale

CH de l'OUEST GUYANAIS

Tél :

Alexis FREMERY

Accueil et Traitement des Urgences

CH de CAYENNE

Tél :

Jean-Pierre KARAM

Neurologie

CHU de GUADELOUPE

Tél :

Marion GUCKERT

Gynécologie Obstétrique

CHU de GUADELOUPE

Tél :

Frédégonde ABOUT

Maladies Infectieuses

CHU de MARTINIQUE Tél :

Fabienne LOUIS-SIDNEY

Cardiologie

CHU de MARTINIQUE Tél :

Antoine CEVA

ORL

CHU de GUADELOUPE

Tél :

Florian NEGRELLO

Médecine d'Urgence

CHU de MARTINIQUE

Tél :

Hugo HERTAULT

Chirurgie Générale

CHU de MARTINIQUE

Tel :

Carl LAMOUREUX

Dermatologie

CHU de CAYENNE

Tél :

**Mickaël REJAUDRY-
LACAVALERIE**

Cardio/Labo Ea 7526

CHU de MARTINIQUE

Tél :

Pierre JEANTET

Cardiologie

CHU de MARTINIQUE

Tél :

Cécile BLEAS

Gynécologie

Obstétrique

Yvonne SADREUX

Véronica Adela BODESCU

Mélina BAALA

Benoît SUZON

Kève-Yann LARA

Larissa VAINQUEUR

Gautier STEMPFER

Eugénie THEVENET

CHU de GUADELOUPE

Tél :

Urologie

CHU de GUADELOUPE

Tél :

Psychiatrie

CHU de MARTINIQUE

Tél :

Médecine Générale

Cabinet du Dr BUCHER

Tél :

Médecine Interne

CHU de MARTINIQUE

Tél :

Médecine Générale

Maison Médicale de la Rotonde

Tél :

Médecine Interne Gériatrie

CHU de GUADELOUPE

Tél :

Urologie

CHU GUADELOUPE

Tél :

Cardiologie

CHU MARTINIQUE

Tél :

TABLE DES MATIÈRES

TABLE DES TABLEAUX ET FIGURES	13
TABLE DES ABRÉVIATIONS	14
RÉSUMÉ	15
ABSTRACT	16
REVUE BIBLIOGRAPHIQUE	17
1. Évolutions techniques et procédurales	17
1.1. Ponction fémorale écho-guidée	18
1.2. Système de fermeture vasculaire de nouvelle génération	18
1.3. Voie d'abord secondaire radiale	18
1.4. Direct rapid pacing du ventricule gauche sur guide	18
2. Apport du scanner pré interventionnelle	19
2.1. Études des vaisseaux pelviens	19
2.1.1. Ratio diamètre externe de l'introducteur/plus petit diamètre ilio-fémorale	19
2.1.2. Profondeur de ponction fémorale	19
2.1.3. Calcification et tortuosité ilio-fémorale	19
2.2. Étude de la zone péri-valvulaire	20
2.3. Étude de l'aorte	20
2.3.1. Athérome aortique	20
2.3.2. Tortuosité aortique	20
2.3.2.1. Index de tortuosité aortique	20
2.3.2.2. Angulation aortique	21
INTRODUCTION	22
MATÉRIELS ET MÉTHODES	24
1. Design de l'étude	24
2. Critères d'inclusion	24
3. Recueil des données	24
4. Critères de jugement	24
5. Variables explicatives	25
6. Analyse statistique	28
RÉSULTATS	29
1. Population	29
2. Caractéristiques procédurales	31
3. Prévalence des complications :	32
4. Facteurs de risque de complications	32
4.1. Analyse univariée	32
4.2. Analyse multivariée	33
	11

DISCUSSION	38
Facteurs de risques de complications vasculaires majeures	38
Évaluation des tortuosités et calcifications ilio-fémorales	38
Étude du point de ponction	39
Facteurs de risques de complications hautes et emboliques	39
Évaluation de l'athérome aortique	39
Évaluation de la tortuosité aortique	39
Évaluation des calcifications valvulaires	42
Perspectives de l'étude	42
Limites de l'étude	43
CONCLUSION	44
RÉFÉRENCES	45
ANNEXES	48
SERMENT D'HIPPOCRATE	51
DEMANDE D'IMPRIMATUR	52

TABLE DES TABLEAUX ET FIGURES

Tableau 1 : Caractéristiques de la population

Tableau 2 : Caractéristiques procédurales

Tableau 3 : Complications péri-procédurales

Tableau 4 : Complications vasculaires majeures

Tableau 5 : Complications emboliques

Tableau 6 : Complications hautes

Figure 1 : Coupes transversales au scanner montrant des exemples d'athérome aortique sévère (Score de shaggy ≥ 8)

Figure 2 : Mesure de la profondeur de ponction au scanner.

Figure 3 : Mesures d'intérêt pour le calcul des tortuosité ilio-fémorale et aortique.

Figure 4 : *Flow chart*

Figure 5 : A : Aorte non tortueuse, B : Tortuosité légère, C : Tortuosité importante

Figure 6 : Illustration de la discordance entre la tortuosité visuelle et l'index de tortuosité aortique (rapport ligne centrale/ligne directe). Reclassification par la méthode soustractive (ligne centrale - ligne directe).

TABLE DES ABRÉVIATIONS

AIT: Accident Ischémique Transitoire

AOMI: Artériopathie Oblitérante des Membres Inférieurs.

AVC: Accident Vasculaire Cérébral

DS: Déviation standard, écart type

ECG: électrocardiogramme

FEVG: fraction d'éjection ventriculaire gauche

HTA: hypertension artérielle

IA: Insuffisance Aortique

IC: Intervalle de Confiance

IMC: Indice de Masse Corporelle

IMS: *Iliac Morphology Score*

ITA: Index de Tortuosité Aortique

ITI: Index de Tortuosité Ilio-fémorale

OR: *Odds Ratio*, rapport de cote

RA: Rétrécissement Aortique

RAFI: ratio entre le diamètre externe de l'introducteur et le plus petit diamètre iliofémoral

TAS: Tortuosité Aortique estimée par méthode Soustractive

TAVI: *Transcatheter Aortic Valve Implantation*, remplacement valvulaire aortique percutané.

TDM: tomodensitométrie

VARC: *Valve Academic Research Consortium*

RÉSUMÉ

Contexte: Le remplacement valvulaire aortique percutanée (TAVI) par voie fémorale est le traitement de choix du rétrécissement aortique serré chez les patients à moyen et à haut risque opératoire. L'angio scanner pré-TAVI permet d'évaluer la faisabilité de la procédure et de la planifier. Alors que les indications de TAVI s'élargissent vers les patients à moindre risque, la survenue de complications péri-procédurales continue d'impacter le pronostic. Ces complications pourraient être réduites si elles étaient mieux prédites avant la procédure.

Objectif: Le but de notre étude était d'identifier les facteurs de risques de complications péri-procédurales sur le scanner pré-TAVI.

Méthode: Nous avons réalisé une étude rétrospective mono-centrique aux Hospices Civils de Lyon. Nous avons inclus tous les patients porteurs d'un rétrécissement aortique serré, traités par TAVI par voie fémorale entre Janvier 2011 et Avril 2022, avec un scanner pré-TAVI exploitable. Les paramètres scanographiques étudiés étaient : la profondeur de ponction, le ratio plus petit diamètre ilio-fémorale sur diamètre externe de l'introducteur, la tortuosité ilio-fémorale, l'athérome aortique, la tortuosité aortique, les calcifications valvulaires aortiques. Notre critère de jugement principal était la survenue de complications de la procédure jusqu'à la sortie d'hospitalisation. Les complications étaient classées selon les quatre catégories suivantes: *complications vasculaires majeures*, *complications emboliques*, *complications hautes*, *décès*. Les facteurs prédictifs de complication ont été étudiés par régression logistique binaire uni et multivariée.

Résultats: 598 patients ont été inclus dans notre étude. La tortuosité aortique (TAS) calculée selon une méthode soustractive (longueur ligne centrale - longueur ligne direct) était associée à une augmentation des complications emboliques en analyse continue (OR 1,015; IC95%[1,004-1,026]; p 0,007) et des complications hautes pour une TAS > 95e percentile (OR 3,44; IC95%[1,19-9,97]; p 0,023). Un athérome aortique sévère (Shaggy score ≥ 8) était associé à une augmentation des complications emboliques (OR 9; IC95%[3,47-23,48]; p 0,0001), des complications hautes (OR 3,28; IC95%[1,55-6,94]; p 0,002) et des décès péri procéduraux (OR 4,8; IC95%[1,78-12,94]; p 0,002). Un ratio entre le plus petit diamètre ilio-fémorale et le diamètre externe du désilet inférieur à 1 était associé à une augmentation des complications vasculaires majeures (OR 4,1; IC95%[1,75, 9,7]; p 0,001).

Conclusion: Une aorte hostile (tortuosité et/ou athérome importants) ou des vaisseaux ilio-fémoraux de petits calibres sont prédictifs de complications lors des procédures de TAVI par voie fémorale. La présence de ces anomalies au scanner doit être prise en compte pour guider la stratégie thérapeutique et discuter d'une voie d'abord alternative et/ou d'un dispositif de protection cérébrale.

ABSTRACT

Background: Percutaneous aortic valve replacement (TAVI) via the femoral approach is the treatment of choice for severe aortic stenosis in patients at medium and high operative risk. The pre-TAVI CT angiography is used to assess the feasibility of the procedure and to plan it. While the indications for TAVI are broadening towards patients at lower risk, the occurrence of peri-procedural complications continues to impact prognosis. These complications could be reduced if they were better predicted before the procedure.

Objective: The aim of our study was to identify risk factors for peri-procedural complications on the pre-TAVI CT scan.

Method: We carried out a single-center retrospective study at the Hospices Civils de Lyon. We included all patients with a severe aortic stenosis, treated by femoral TAVI between January 2011 and April 2022, with an exploitable pre-TAVI scan. The CT parameters studied were: puncture depth, ratio of the smallest iliofemoral diameter to the external diameter of the introducer, iliofemoral tortuosity, aortic atheroma, aortic tortuosity, and aortic valve calcification. Our end point was the occurrence of complications from the procedure to hospital discharge. Complications were classified into the following four categories: major vascular complications, embolic complications, high complications, and death. Predictive factors for complications were studied by uni and multivariate binary logistic regression.

Results: 598 patients were included in our study. Aortic tortuosity (TAS) calculated using a subtractive method (central line length - direct line length) was associated with an increase in embolic complications in continuous analysis (OR 1.015; 95% CI [1.004-1.026]; p 0.007) and high complications for TAS >95th percentile (OR 3.44; 95% CI [1.19-9.97]; p 0.023). Severe aortic atheroma (Shaggy score ≥ 8) was associated with an increase in embolic complications (OR 9; 95% CI [3.47-23.48]; p 0.0001), high complications (OR 3.28; 95% CI [1.55- 6.94]; p 0.002) and periprocedural deaths (OR 4.8; 95% CI [1.78-12.94]; p 0.002). A ratio between the smallest ilio-femoral diameter and the external diameter of the desilet of less than 1 was associated with an increase in major vascular complications (OR 4.1; 95% CI [1.75, 9.7]; p 0.001).

Conclusion: A hostile aorta (important tortuosity and/or atheroma) or small iliofemoral vessels are predictive of complications in femoral TAVI procedures. The presence of these abnormalities on CT should be taken into account to guide the therapeutic strategy, discuss an alternative approach and/or a cerebral protection device.

REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

Ces dernières années, nous avons assisté à une véritable révolution dans le traitement du rétrécissement aortique avec l'émergence de l'implantation percutanée de prothèses valvulaires aortiques (TAVI). Une meilleure sélection des patients, des opérateurs plus expérimentés et les évolutions techniques ont permis d'améliorer l'efficacité et la sécurité de la technique.

Aujourd'hui, le TAVI est devenu le traitement de première intention des rétrécissements aortiques serrés symptomatiques chez le sujet âgé de plus de 75 ans et/ou à haut risque opératoire et les indications tendent à s'élargir vers les populations à moindre risque(1).

1. Évolutions techniques et procédurales

Plusieurs avancées majeures ont permis une diminution des complications, comme l'illustre une méta-analyse de 2020, regroupant 68193 patients, ayant bénéficiés de l'implantation de valves d'ancienne et de nouvelle génération, selon les anciennes et les nouvelles pratiques. Ce travail s'intéressait à l'évolution de l'incidence des complications à 30 jours. Il a ainsi été retrouvé une réduction de la mortalité (de 5,41% à 1,47%), des complications vasculaires (de 11,5% à 5,4%), des insuffisances aortiques para valvulaires moyennes à sévères (de 12,4% à 1,8%) et des accidents vasculaires cérébraux (de 2,73% à 2,09%) (2).

Le TAVI semble donc être une technique sûre, efficace et moins invasive comparativement au remplacement valvulaire chirurgical. Cependant, les complications hémorragiques et emboliques restent tout de même fréquentes, malgré l'amélioration des pratiques (2). Les réduire représente donc un enjeu majeur, pour une procédure qui se veut la moins invasive possible et dont les indications tendent à s'élargir vers des patients à bas risque et de plus en plus jeunes.

Sont décrites ci-dessous les principales avancées procédurales qui, associées à l'amélioration du dispositif d'implantation de la valve, ont permis de diminuer progressivement le taux de complications péri procédurales.

1.1. Ponction fémorale écho-guidée

L'utilisation de la ponction échoguidée permettrait de **réduire l'incidence des complications vasculaires** en comparaison au guidage par fluoroscopie (3) (4).

1.2. Système de fermeture vasculaire de nouvelle génération

Dans une étude de registre parue en 2020, *berti et al.* ont montré que l'utilisation d'un **système de fermeture vasculaire de nouvelle génération (PROGLIDE avec pré fermeture)** permettait une **réduction de 20%** de l'incidence d'un critère de jugement composite regroupant la **mortalité cardiovasculaire à 30 jours, les saignements et les complications vasculaires de la voie d'abord** (5). Ce résultat était essentiellement dû à la réduction des complications vasculaires.

1.3. Voie d'abord secondaire radiale

Cette voie d'abord secondaire permet de réaliser des injections de produit de contraste via une sonde « *pigtail* » au niveau de la racine aortique afin de guider la procédure. Dans une récente méta-analyse parue en 2020 sur 5065 patients, il a été montré que pour placer la prothèse, l'utilisation d'une **voie d'abord secondaire radiale** plutôt que fémorale controlatérale permettait une **réduction de 60% des saignements sévères, 52% des complications vasculaires majeures, 41% de la mortalité à 30 jours et 54% des accidents vasculaires cérébraux** (6).

1.4. *Direct rapid pacing* du ventricule gauche sur guide

Cette technique de stimulation **permet d'éviter une ponction veineuse fémorale**. Le pacemaker externe provisoire stimule directement le ventricule gauche via le guide à condition qu'il soit entouré d'un matériel isolant (ce qui est le cas lors de l'implantation de la valve). Lors du déploiement de la prothèse, la **stimulation rapide directe du ventricule gauche sur guide** permet une **réduction du temps procédural**, avec une efficacité et une sécurité similaire à la stimulation du ventricule droit via une sonde d'entraînement électro-systolique implantée par voie veineuse (7) (8) (9).

2. Apport du scanner pré interventionnelle

Le **scanner pré-interventionnel injecté et synchronisé à l'électrocardiogramme** est l'examen incontournable avant toute procédure de TAVI. Il est utilisé pour déterminer la faisabilité de l'intervention, choisir la voie d'abord, la taille de la prothèse et anticiper d'éventuelles difficultés procédurales. Plusieurs facteurs scanographiques prédictifs de complications vasculaires hémorragiques et ischémiques ont pu être décrits dans la littérature.

2.1. Études des vaisseaux pelviens

2.1.1. Ratio diamètre externe de l'introducteur/plus petit diamètre ilio-fémorale

L' **étude des vaisseaux pelviens** a permis d'identifier la présence d'un petit diamètre ilio-fémoral comme étant un élément déterminant. En effet, plusieurs études ont montré qu' un **ratio (diamètre externe de l'introducteur/ plus petit diamètre ilio-fémoral) élevé** était associé à un risque accru de complications vasculaires (10) (11) . Dans le travail de *Langouet et al.*, un ratio supérieur à 0,95 était associé à une incidence accrue de complications vasculaires majeures (11).

2.1.2. Profondeur de ponction fémorale

Dans leurs travaux, *Durand et al.* ont montré qu'une **profondeur importante du point de ponction** était associée à l'utilisation plus fréquente de stent couvert en cas d' hémorragie, même si elle n'était pas directement associée à un surrisque de complications vasculaires majeures (10).

2.1.3. Calcification et tortuosité ilio-fémorale

Plusieurs auteurs ont décrit un score IMS (Iliac Morphology Score) élevé comme prédictif de complications vasculaires (11) (12). Ce score prend en compte la **présence de calcifications** et la **tortuosité ilio-fémorale**. Plus il est élevé, plus les calcifications et/ou la tortuosité sont importantes.

La **tortuosité ilio-fémorale** a été quantifiée selon plusieurs méthodes. *Batchelor et al.* ont retenu la présence d'au moins deux courbures avec une angulation supérieure à 90°(13). *Mach et al.* ont quant à eux calculé l'**index de tortuosité** défini comme suit : [(ligne centrale / ligne droite séparant la bifurcation aorto-iliaque de la fémorale commune) - 1] x 100 (14). Les deux méthodes (angulation et index de tortuosité) étaient associées à un sur-risque de complications vasculaires.

2.2. Étude de la zone péri-valvulaire

L'étude de la **zone péri-valvulaire** a permis de montrer que des **calcifications** importantes étaient associées à un sur-risque de fuite paraprothétique, mais également d'occlusion coronaire par embolie calcaire et de rupture de l'anneau aortique (15).

2.3. Étude de l'aorte

L'**aorte** reste finalement la zone la moins bien explorée.

2.3.1. Athérome aortique

Le TDM permet de quantifier l'athérome, notamment via le **score de Shaggy (Annexe I)**. Ce score prend en compte la localisation, la régularité, l'épaisseur, l'aire et la circonférence du thrombus accolé à la paroi de l'aorte. Il définit ainsi trois niveaux de sévérité de l'atteinte athéromateuse. Plus le score est élevé, plus l'atteinte est sévère.

Chez les patients présentant un **anévrisme de l'aorte thoracique traité par voie endovasculaire**, un score de Shaggy élevé était associé à une incidence plus importante de **complications emboliques post-procédurales** (16).

Des résultats similaires ont été retrouvés chez les patients ayant bénéficié d'une **procédure de de TAVI par voie fémorale**. Ainsi, dans une étude monocentrique publiée en 2021 et regroupant 604 procédures, le taux d'AVC responsables d'invalidité était multiplié par 7 chez les patients avec un score de Shaggy élevé (4,4% vs 0,6%) (17).

2.3.2. Tortuosité aortique

Contrairement à la tortuosité des vaisseaux pelviens, l'influence de la tortuosité aortique est moins bien définie.

2.3.2.1. Index de tortuosité aortique

L'**index de tortuosité aortique (ITA)** le plus communément utilisé dans la littérature se base sur le **ratio (longueur ligne médiane / longueur ligne directe)** entre un point donné de l'aorte ascendante et la bifurcation aorto-iliaque. Dans des populations ciblées, ce score semble être un marqueur de fragilité du tissu aortique.

Ainsi, dans une étude cas témoins, un index de tortuosité élevé était plus souvent retrouvé chez les patients ayant présenté une **dissection aortique de type B** (18).

Dans une population de patients porteurs d'une **bicuspidie aortique**, un index de tortuosité aortique élevé était associé à une survenue plus importante de **dissections aortiques de type A** en analyse univariée. Cette association n'était pas retrouvée après ajustement sur l'âge et la surface corporelle notamment (19).

Dans une population de patients porteurs de **syndrome de Marfan**, un index de tortuosité élevé était associé à la survenue d'un critère composite comprenant la **dissection aortique de type A**, la **nécessité d'un traitement chirurgical d'un anévrisme aortique** et la **mortalité**. Cette association persistait en analyse multivariée (20).

Enfin, l'impact de l'index de tortuosité aortique sur la nécessité de réintervention après le **traitement endovasculaire d'une dissection de type B**, a été étudié. L'étude est revenue négative (21).

Cette méthode d'estimation de la tortuosité de l'aorte n'a jamais été étudiée chez les patients bénéficiant d'une procédure de TAVI par voie fémorale.

2.3.2.2. Angulation aortique

Une étude monocentrique réalisée à Reims a analysé l'impact de la tortuosité de l'aorte abdominale, définie comme la présence d'au moins une **courbure avec un angle supérieur à 45°** (22). L'étude a été menée sur 175 procédures de TAVI par voie fémorale. La tortuosité ainsi définie, était associée à la survenue d'un critère composite comprenant : la mortalité à 30 jours, les AVC, les saignements majeurs et/ou menaçant le pronostic vital, les occlusions coronaires avec nécessité de revascularisation, les complications vasculaires majeures, l'insuffisance rénale aiguë (odds ratio 2.7, 95% IC 1.1–6.6; $p = 0,03$). Le résultat était principalement expliqué par une augmentation des AVC et des complications vasculaires chez les patient avec une tortuosité importante de l'aorte abdominale.

Ces résultats laissent penser que la tortuosité aortique, mesurée à l'aide du scanner pré-TAVI, pourrait être un facteur prédictif de complications péri-procédurales. Les données sur le sujet restent cependant insuffisantes, notamment sur la méthode de mesure la plus adaptée.

INTRODUCTION

La rétrécissement aortique est la valvulopathie la plus fréquemment traitée. Dans les pays développés, l'étiologie principale est la dégénérescence liée à l'âge. On estime la prévalence de la maladie à 1,3% des sujets de plus de 65 ans et 5% des sujets de plus de 75 ans (23). Cette pathologie devrait devenir de plus en plus fréquente avec le vieillissement de la population (24).

L'apparition des symptômes marque un tournant évolutif dans l'histoire de la maladie. On estime classiquement qu'en l'absence de traitement, la médiane de survie est de 5 ans en présence d'un angor d'effort, 3 ans en présence de syncopes et de 1 à 2 ans s'il existe une insuffisance cardiaque (25).

Le seul traitement curatif est le remplacement valvulaire. La chirurgie est longtemps restée la technique de référence. Les patients les plus fragiles par leurs comorbidités et/ou leur âge avancé ont longtemps représenté une impasse thérapeutique. Ils étaient considérés comme non éligible à la chirurgie devant un risque opératoire trop important. La dilatation aortique percutanée au ballon donnait de bons résultats à court terme mais avec un taux de resténose très important (80% à 1 an) (26) (27).

L'implantation percutanée de valve aortique (TAVI) représente une alternative intéressante pour ces patients. La première implantation chez l'homme a eu lieu en France en 2002, par voie transseptale (28).

En 2010, l'essai clinique PARTNER 1 réalisé chez des patients non opérables (haut risque), a prouvé que le TAVI permettait une réduction importante de la mortalité par rapport au traitement conventionnel (hazard ratio (HR), 0.46; 95% CI, 0.35 to 0.59; $P < 0.001$) (29).

En 2016, l'essai PARTNER 2 a comparé les résultats du TAVI et de la chirurgie en termes de mortalité et d'accidents vasculaires cérébraux graves, chez des patients à risque opératoire intermédiaire. Cette étude a ainsi montré la non infériorité du TAVI toutes voies d'abord confondues. Elle a également montré une supériorité dans le sous groupe voie d'abord fémorale (HR 0.79; 95% CI, 0.62 to 1.00; $P = 0.05$). On notait cependant une incidence plus importante des complications vasculaires avec cette technique (30).

Selon les nouvelles recommandations de l'*European Society of Cardiology* de 2021, le TAVI fémoral est le traitement de choix pour les patients présentant un rétrécissement aortique serré symptomatique, de plus de 75 ans et/ou à haut risque opératoire (STS-pro ou euroSCORE II $> 8\%$) (1).

L'efficacité et la sécurité du TAVI se sont améliorées avec les évolutions techniques. La ponction fémorale échoguidée (3) (4), la réduction de la taille des introducteurs, la levée des sténoses ilio-fémorales calcifiées par lithotripsie (31), l'amélioration des systèmes de fermeture vasculaire (5),

l'utilisation d'une voie artérielle secondaire radiale (6), ont permis une diminution des complications vasculaires. L'avènement des prothèses de nouvelle génération a également permis une réduction de la mortalité, des complications vasculaires, des AVC et des fuites para-prothétiques (2).

En 2019, PARTNER 3 a comparé les performances du TAVI transfémoral et de la chirurgie chez des patients à bas risque opératoire. Le critère de jugement principal se composait de la mortalité, des AVC et des réhospitalisations à 1 an. PARTNER 3 a montré la supériorité du TAVI (HR 0,54, 95% CI, 0.37 to 0.79; P=0.001) (32).

Ces résultats font espérer une extension des indications vers des populations à faible risque opératoire. La réduction des complications péri-procédurales représente donc un enjeu majeur.

Le scanner injecté et synchronisé à l'ECG est utilisé pour le choix de la prothèse et l'anticipation des difficultés procédurales. Certains paramètres ont été identifiés comme facteurs de risques de complications péri-procédurales :

- à l'étage ilio-fémoral, des calcifications (11) (12), une tortuosité importante (13) (14), un ratio (diamètre externe du désilet / plus petit diamètre ilio-fémoral) élevé (10) (11) sont associés à la survenue de complications vasculaires.
- la profondeur du point de ponction est également associée à un recours plus important au stent couvert en cas de complications hémorragiques (10).
- à l'étage valvulaire, la présence de calcifications est associée à un risque plus important de fuite péri-prothétique, d'embolie calcaire et de rupture de l'anneau aortique (15).

L'aorte reste la zone la moins bien explorée, alors qu'elle représente la plus grande partie du trajet lors de l'acheminement de la prothèse par voie fémorale. La présence d'un athérome aortique endoluminal important, est associée à un sur-risque d'accident thrombo-embolique (17).

Comme le rétrécissement aortique, la tortuosité est corrélée à l'âge (33) (34). Dans des populations ciblées (Marfan, bicuspidie, dissection aortique) elle a été identifiée comme un marqueur de fragilité du tissu aortique, avec une incidence plus importante de dissection (18) (19) (20). Elle avait été estimée au scanner par un index se basant sur le ratio (longueur ligne médiane / longueur ligne directe) entre un point donné de l'aorte ascendante et la bifurcation iliaque. Dans le TAVI, une équipe française a montré que la présence d'angulations importantes de l'aorte abdominale était associée à un sur-risque d'AVC et de complications vasculaires (22).

Le but de notre étude était d'identifier à l'aide du scanner, les facteurs de risques de complications péri-procédurales, lors de l'implantation d'un TAVI par voie fémorale.

MATÉRIELS ET MÉTHODES

1. Design de l'étude

Nous avons réalisé une étude de cohorte rétrospective monocentrique de patients traités par TAVI par l'équipe de cardiologie de l'hôpital de la Croix-Rousse aux Hospices Civils de Lyon. Les données cliniques et scanographiques ont été recueillies dans la base de données CALCITAVI.

2. Critères d'inclusion

Les patients de notre étude ont été extraits de la cohorte CALCI-TAVI, qui regroupe l'ensemble des procédures de TAVI réalisées par l'équipe de cardiologie interventionnelle de l'hôpital Croix-Rousse (Hospices civils de Lyon), entre Janvier 2011 et Avril 2022.

Nous avons inclus les patients présentant un rétrécissement aortique serré, traités par TAVI trans-fémorale, avec un scanner pré-interventionnel exploitable.

3. Recueil des données

Les données épidémiologiques, les caractéristiques procédurales et les événements post-procéduraux ont été recueillis de façon prospective par les attachés de recherche clinique chargés de renseigner la cohorte CALCI-TAVI.

Chaque film procédure a ensuite été relu par deux cardiologues interventionnels (un senior et un interne) afin de valider les voies d'abord, la technique de ponction, le modèle et la taille des prothèses, et les étapes clés de l'implantation (directe, pré-dilatation, post-dilatation, technique de stimulation...).

4. Critères de jugement

Les dossiers patients informatisés ont également été relus afin d'identifier et de classer les complications péri procédurales en 4 catégories:

- **"complications vasculaires majeures"** selon la définition du *Valve Academic Research Consortium-3* (VARC-3)(35) (**Annexe II**).
- **"complications emboliques"** comprenant les accidents vasculaires cérébraux et les embolies périphériques

- “**complications hautes**” comprenant les malpositions de prothèses (migration, embolisation, déploiement ectopique), les insuffisances aortiques sévères (IA grade 3-4), les dissections aortiques, les tamponnades, les conversions chirurgicales et les événements emboliques.
- “**décès**” survenus durant la procédure ou au cours de l’hospitalisation.

5. Variables explicatives

Les scanners pré TAVI ont été analysés par les deux cardiologues interventionnels à l’aide du logiciel *3mensio Strutral Heart* . Les paramètres suivants ont été évalués:

- le **ratio RAFI** = $\frac{\text{diamètre externe de l'introducteur}}{\text{plus petit diamètre ilio-fémoral}}$. Le **diamètre externe de l’introducteur** retenu était celui fourni par le constructeur (**Annexe III**). Au scanner, la vue déroulée de l’abord principal permettait d’identifier la zone la plus péjorative et de calculer le **diamètre vasculaire** dérivé du périmètre à cet endroit.
- la **charge athéromateuse de l’aorte** selon le **score de Shaggy (Annexe I)**. Ce score prend en compte la localisation, la régularité, l’épaisseur, l’aire et la circonférence du thrombus accolé à la paroi de l’aorte sur le scanner en coupe transversale sur le scanner injecté. Un athérome sévère était défini par un score ≥ 8 (**Figure 1**).

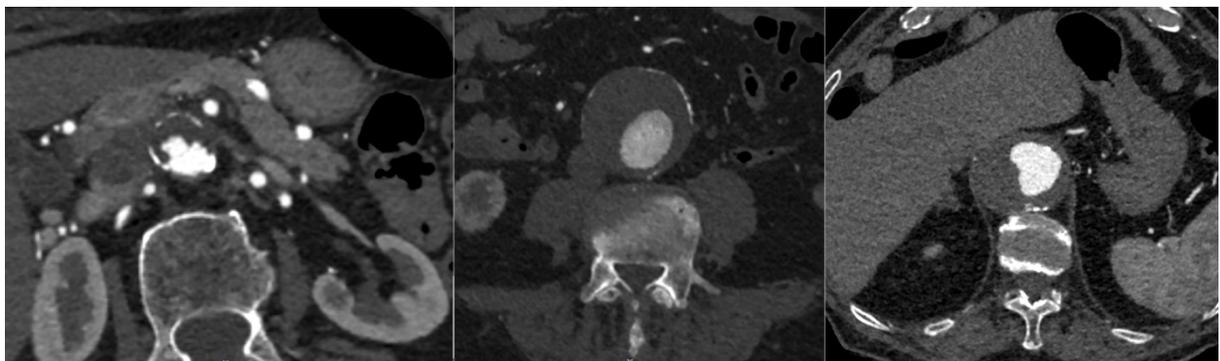


Figure 1: Coupes transversales au scanner montrant des exemples d’athérome aortique sévère (Score de shaggy ≥ 8)

- la **profondeur de ponction** au niveau de l’artère fémorale commune. Pour ce faire, nous avons tracé la ligne horizontale passant par le sommet des deux épines ischiatiques en coupe transversale. Nous avons ensuite tracé la perpendiculaire passant par le centre de l’artère fémorale commune. La profondeur de ponction correspondait à la distance peau-paroi antérieure de l’artère fémorale commune le long de cette ligne (**Figure 2**).

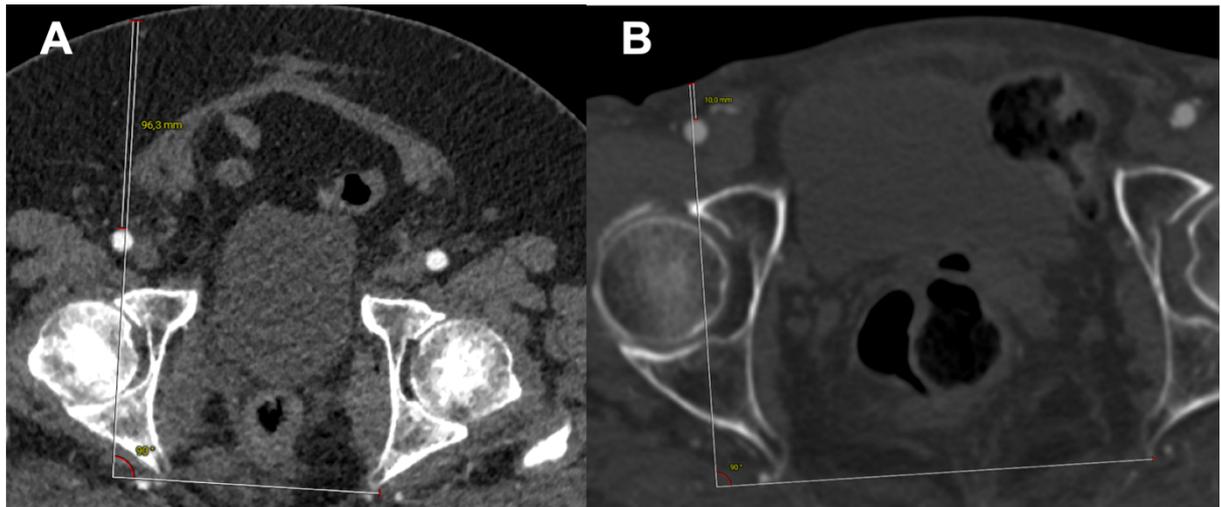


Figure 2: Mesure de la profondeur de ponction au scanner. A: ponction profonde. B: ponction superficielle.

- la **charge calcique de la valve aortique**. Le logiciel 3mensio permet une mesure semi-automatique de la charge calcique avec des ajustements possibles sur la zone d'analyse et le seuil de détection en unité Hounsfield pour exclure le calcium extra-valvulaire (chambre de chasse du ventricule gauche, coronaires...).
- l'**index de tortuosité ilio-fémorale (ITI)** du côté de l'abord principal, calculé comme suit:

$$ITI = \left(\frac{\text{Ligne centrale ponction - bifurcation iliaque}}{\text{Ligne directe ponction - bifurcation iliaque}} - 1 \right) \times 100.$$
 Le point de ponction était placé sur l'artère fémorale commune à hauteur du milieu de la tête fémorale. La longueur de la ligne directe entre le point de ponction et la bifurcation iliaque était mesurée sur la vue 3D. La longueur de la ligne centrale entre ces deux mêmes points, était mesurée sur la vue déroulée (**Figure 3**).
- la **tortuosité aortique** estimée selon 2 méthodes de calcul (**Figure 3**) :
 - **index de tortuosité aortique (ITA)** basé sur le ratio entre la longueur de la ligne centrale (vue déroulée) et la distance directe (vue 3D) entre la bifurcation iliaque et la valve aortique. $ITA = \left(\frac{\text{Ligne centrale bifurcation iliaque - valve aortique}}{\text{Ligne directe bifurcation iliaque - valve aortique}} - 1 \right) \times 100.$
 - **tortuosité aortique soustractive (TAS)** basée sur la différence entre la longueur de la ligne centrale et la ligne directe entre la bifurcation iliaque et la valve aortique.
TAS = Ligne centrale aorte - Ligne directe bifurcation iliaque-valve aortique.



Figure 3: Mesures d'intérêt pour le calcul des tortuosité ilio-fémorale et aortique. Lignes centrales représentées en jaune. Lignes directes représentées en blanc.

6. Analyse statistique

Les variables quantitatives ont été décrites par leur moyenne \pm déviation standard, ou par leur médiane avec l'écart interquartile en fonction de leur distribution Gaussienne ou non. Les variables qualitatives ont été décrites par leur fréquence respective au sein de la population et en pourcentage.

La reproductibilité inter-observateurs et intra-observateurs de la mesure des différentes variables scanographiques d'intérêt a été étudiée sur 40 patients sélectionnés de façon aléatoire. La reproductibilité de la mesure des variables quantitatives a été évaluée par des coefficients de corrélation intra-classe. Les différences à la moyenne ont été représentées par les graphiques de Bland-Altman (**Annexe IV**). La classification des variables qualitatives a été étudiée par le coefficient kappa.

Les comparaisons de variables quantitatives ont été réalisées par test t ou par test non paramétrique en fonction de leur distribution Gaussienne ou non. La comparaison des variables qualitatives a été réalisée avec les tests du Chi² ou de Fisher.

Les facteurs scanographiques de complication ont été déterminés par une analyse de régressions logistiques binaires, univariées dans un premier temps, puis multivariées. Un ajustement a été réalisé en fonction des déterminants associés aux complications en analyse univariée et en fonction des données de la littérature.

Les odds ratio ont été exprimés avec leur intervalle de confiance à 95% et un seuil $\alpha \leq 0,05$ a été appliqué. Les analyses statistiques ont été réalisées avec le logiciel statistique SPSS.

RÉSULTATS

1. Population

Au total 760 patients ont bénéficié d'une procédure de TAVI à l'hôpital de la Croix Rouse entre Janvier 2011 et Avril 2022. 162 patients ont été exclus du fait d'une voie d'abord principale non fémorale (74) ou de scanners non exploitables (42) ou de la présence d'une valve bicuspide ou prothétique avant l'intervention (46). Au final, 598 patients ont été analysés (**Figure 4**).

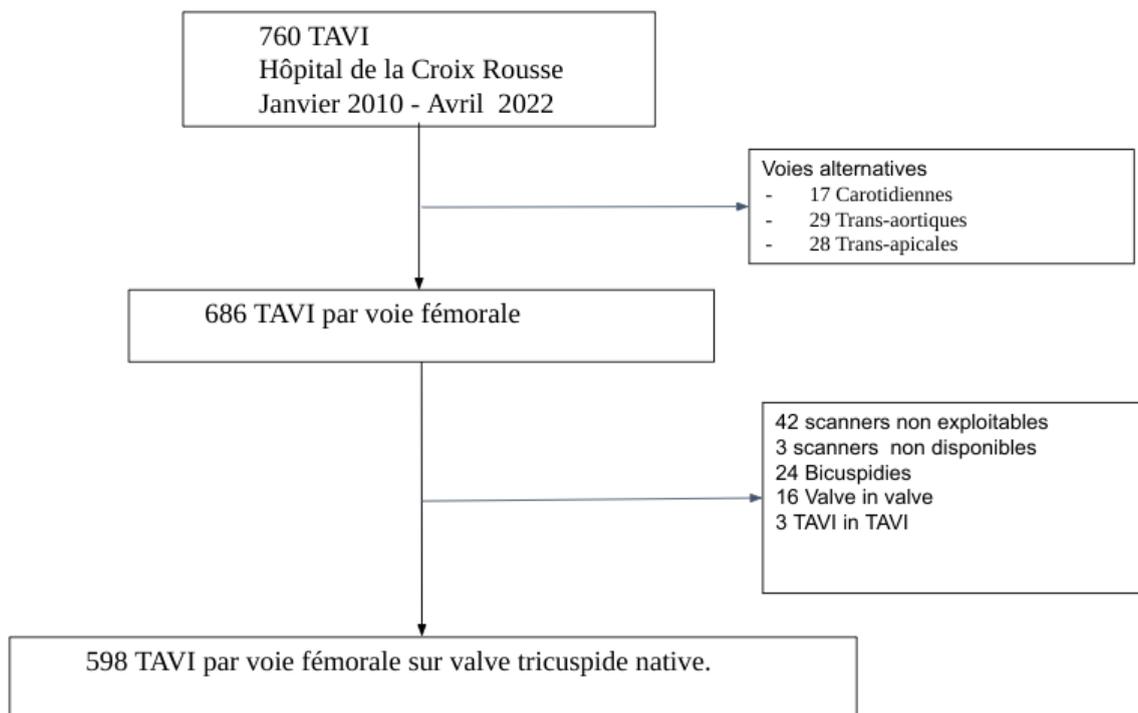


Figure 4: Flow chart

Notre cohorte se composait de patients âgés (moyenne d'âge: 83,24 ans), comorbides, à haut risque opératoire (logistic Euroscore moyen à 17,48%). Ils étaient symptomatiques dans 98,7% des cas. La FEVG moyenne était à 56,2%, et le gradient transaortique moyen à 44,5 mmHg. Le **tableau 1** résume les caractéristiques démographiques et cliniques de la population.

Tableau 1: Caractéristiques de la population:

Caractéristiques	N / N total	Moy±DS ; %
Total patients inclus	598	
Age (années)	598	83,24±7,44
Homme	304/598	50,8%
Femme	294/598	49,2%
Histoire médicale		
Diabète	190/594	31,8%
HTA	436/593	73%
IMC	573	27,3±11
Pontage aorto-coronarien	39/597	6,5%
AOMI	64/594	9,7%
Sténose carotidienne	534/592	9%
Fibrillation atriale	240/594	40,4%
AVC/AIT	66/594	11,1%
Insuffisance respiratoire	133/593	22,3%
Insuffisance rénal		
modéré	110/587	18,4%
sévère	14/587	2,3%
Pacemaker	83/591	13,9%
Logistic Euroscore	494	17,48±12
Présentation clinique		
Asymptomatique	8/596	1,3%
Dyspnée	504/548	84,4%
Angor	64/573	10,7%
Syncope	38/577	6%
Données échographiques		
FEVG (%)	561	56,2 +/- 12,3
Gradient moyen (mmHg)	564	44,5 +/- 14,8
Coronarographie pré-TAVI		
Monotronculaire	151/597	25%
Bitronculaire	76 / 597	12,7%
Tritronculaire	24 / 597	4%
Aucune lésion	346/597	58%
Traitement en cours		
Anticoagulant	204/556	34,2%
Aspirine	284/554	47,6%
Clopidogrel	132/553	22,1%

N:effectif; DS:déviati on standard. HTA: hypertension artérielle. IMC: indice de masse corporelle. AOMI: artériopathie oblitérante des membres inférieurs. AVC: accident vasculaire cérébral. AIT: accident ischémique transitoire. FEVG: fraction d'éjection ventriculaire gauche.

2. Caractéristiques procédurales

La majorité des patients ont bénéficié de l'implantation de valves extensibles au ballon (71,9% de valves SAPIENS 3). La moitié des ponctions étaient échoguidées (49,8%). Il y avait 72,9% de voies d'abord secondaires fémorales et 37,4% de recours à un abord veineux pour stimuler le ventricule droit. Le **tableau 2** résume les caractéristiques procédurales des patients.

Tableau 2: Caractéristiques procédurales

Caractéristiques	N obs / N total	Moy±DS ; %
Patients	598	
Type de vales		
<i>Expandable au ballon</i>		
Sapien XT	84/595	14,1%
Sapien 3 (20 / 23 / 26 / 29)	428/595	71,9%
<i>Auto-expandable</i>		
Corevalve	1/595	0,2%
Evolut R (23/26/29/34)	67/595	9,6%
Evolut Pro (23 / 26 / 29)	15/595	2,5%
Ponction artérielle		
Non échoguidée	296/590	50,2%
Écho-guidée	294/590	49,8%
Voie d'abord secondaire		
Artérielle fémorale	435/593	72,9%
Artérielle radiale	158/593	26,5%
Veineuse fémorale avant et/ou après implantation	223/597	37,4%
Mode de stimulation durant l'implantation		
Ventricule droit	192/597	32,2%
Ventricule gauche	405/597	67,8%
Prédilatation	99/590	16,8%
Post dilatation	31/594	5,2%
Fermeture		
Prostar	110	18,4%
Proglide	487	81,6%
Produit de contraste (ml)	521	105,2±42,4
Irradiation moyen (Gy/cm ²)	545	54,1 +/- 63,4

3. Prévalence des complications :

Il y a eu 59 (9,9%) complications vasculaires majeures, 20 (3,4%) complications emboliques dont 16 (2,7%) AVC et 20 (3,4%) décès. En dehors des décès, la tamponnade était la complication haute la plus fréquente (11 cas soit 1,8%). Le **tableau 3** résume les complications péri-procédurales.

Tableau 3: Complications péri-procédurales:

Caractéristiques	N obs	Valeur (%)
Décès péri-procéduraux	20	3,4
Complications vasculaires majeures	59	9,9
Complications hémorragiques : Bleeding VARC \geq 2	55	9,2
IA \geq 3	8	1,3
Emboles (AVC, embolies de cholestérol, ischémie mésentérique)	20	3,4
AVC	16	2,7
Malposition valve	5	0,8
Conversion chirurgicale	4	0,7
Occlusion coronaire	0	0
Tamponnade	11	1,8
Dissection aortique	3	0,5
Valve non implantée	1	0,2
Implantation d'un nouveau pacemaker	102/514	19,8

Bleeding VARC \geq 2: Selon la classification du *Valve Academic Research Consortium 3*, saignement avec transfusion \geq 2 culots de globule rouge ou perte $>$ 3 points d'hémoglobine ou nécessité d'un geste d'hémostase ou atteinte d'un organe noble ou état de choc ou décès. IA: insuffisance aortique. AVC: accident vasculaire cérébral.

4. Facteurs de risque de complications

4.1. Analyse univariée

Les facteurs de risque de **complications vasculaires majeures** étaient le **sexe féminin**, un ratio plus petit diamètre ilio-fémoral / diamètre externe de l'introducteur > 1 : **(RAFI >1)**, l' utilisation d'une **voie d'abord secondaire fémorale**, une **stimulation du VD par un abord veineux** (Tableau 4).

Les facteurs de risque de **complication emboliques** étaient la présence d'une **artériopathie** pré existante, un athérome sévère (**Shaggy ≥ 8**) et la **tortuosité aortique calculée selon la méthode soustractive (TAS) prise en tant que variable continue** (Tableau 5).

Les facteurs de risque de **complications hautes** étaient la **TAS** en tant que variable continue, la **TAS ≥ 95 e percentile**, un score de **Shaggy ≥ 8** (Tableau 6).

Les facteurs de risque de **décès péri-procéduraux** étaient une **charge athéromateuse importante** et la survenue d'un **AVC ou d'une complications vasculaires majeures durant la procédure** (Tableau 7).

4.2. Analyse multivariée

Les **facteurs de risque de complications vasculaires majeures** était un **ratio diamètre externe de l'introducteur / plus petit diamètre ilio-fémoral > 1 : (RAFI >1)** (OR = 4,1, IC95% [1,75-9,7], $p = 0,001$), le **recours à une voie d'abord secondaire fémoral** (OR = 3,52, IC95% [1,2-9,9], $p = 0,017$ **et/ou** à un **abord veineux** (OR = 3,12, IC95% [1,29-6,5], $p = 0,001$) (Tableau 4).

Les **facteurs de risques de complications emboliques** étaient un athérome aortique sévère défini par un **score de Shaggy ≥ 8** (OR = 9, IC95% [3,47-23,48], $p = 0,0001$) et la **tortuosité aortique selon la méthode soustractive** considérée comme une variable continue (OR = 1,014, IC95% [1,003-1,026], $p = 0,01$) (Tableau 5).

Les **facteurs de risques de complications hautes** étaient un **score de Shaggy ≥ 8** (OR = 3,28, IC95% [1,55-6,94], $p = 0,002$) et une **tortuosité aortique soustractive ≥ 95 e percentile** (OR = 3,44, IC95% [1,19-9,97], $p = 0,023$) (Tableau 6).

Les **facteurs de risques de décès péri procéduraux** étaient la présence d'une complication vasculaire majeure (OR 4,64, IC95% [1,64-13,1] , $p = 0,004$) et un **score de Shaggy ≥ 8** (OR 4,8, IC95% [1,78-12,94], $p = 0,002$) (Tableau 7).

Tableau 4: Complications vasculaires majeures.

COMPLICATIONS VASCULAIRES MAJEURES						
Caractéristiques cliniques	Analyses univariées			Analyses multivariées		
	OR	IC	p	OR	IC	p
Âge			0,27			
Sexe féminin*	1,84	1,06-3,2	0,031	0,69	0,37-1,28	0,24
IMC			0,92			
Euroscore Logistic	0,98	0,96-1,01	0,28			
Artériopathie*	1,74	0,61-4,93	0,303	0,35	0,1-1,27	0,11
Fibrillation atriale	1,07	0,62-1,85	0,82			
Antécédent d'AVC/AIT	0,92	0,4-2,1	0,85			
Diabète	0,77	0,44-1,34	0,36			
Clairance créatinine	0,994	0,98-1,01	0,33			
Traitement anticoagulant	1,17	0,63-2,2	0,61			
Aspirine	2,16	1,14-4,01	0,018			
Caractéristiques scanner						
Index de tortuosité iliaque*	0,99	0,97-1,01	0,49	1,01	0,99-1,04	0,3
RAFI > 1*	3,12	1,56-6,24	0,018	4,1	1,75-9,7	0,001
Profondeur ponction*	1,01	0,99-1,02	0,26	1,01	0,99-1,02	0,26
Index de tortuosité aortique	1,001	0,991-1,012	0,81			
Tortuosité aortique soustractive	0,75	0,992-1,006	0,75			
Caractéristiques procédurales						
Voie d'abord secondaire fémorale*	2,92	1,3-6,59	0,009	3,52	1,2-9,9	0,017
Abord veineux*	2,7	1,56-4,67	0,0001	3,12	1,29-6,5	0,003
Stimulation VD	2,8	1,62-4,82	0,0001			
Ponction écho-guidée*	1,86	1,06-3,26	0,031	2,01	0,91-4,83	0,08

*paramètres intégrés dans l'analyse multivariée. OR: odds ratio. IC: intervalle de confiance. p: p-value. IMC: indice de masse corporelle. AVC: accident vasculaire cérébrale. AIT: accident ischémique transitoire. RAFI: ratio diamètre externe de l'introducteur sur plus petit diamètre de l'artère fémorale. VD: ventricule droit.

Tableau 5: Complications emboliques

	COMPLICATIONS EMBOLIQUES								
	Analyses univariées			Analyses multivariées					
	OR	IC	p	Modèle 1			Modèle 2		
OR				IC	p	OR	IC	p	
Caractéristiques cliniques									
Âge	0,97	0,92-1,03	0,34						
Sexe Masculin	1,03	0,42-2,5	0,95						
IMC	1,00	0,97-1,02	0,94						
Euroscore Logistic	1,00	0,96-1,04	0,95						
Artériopathie*	4,88	1,87-12,7	0,001	6,12	2,26-16,6	0,0001	4,57	1,58-13,18	0,005
Fibrillation atriale	1,02	0,41-2,53	0,97						
Antécédent d'AVC/AIT	2,06	0,67-6,37	0,21						
Sténose carotidienne	1,66	0,47-5,84	0,41						
Diabète	1,44	0,58-3,57	0,44						
Clairance créatinine	1,00	0,98-1,02	0,79						
Traitement anticoagulant	1,01	0,39-2,6	0,99						
Caractéristiques scanner									
Charge athéromateuse $\geq 8^*$ (N=65 soit 10,9%)	11,3	4,49-28,53	0,0001				9	3,47-23,48	0,0001
TAS*	1,013	1,002-1,024	0,019	1,015	1,004-1,026	0,007	1,014	1,003-1,026	0,01
ITA*	1,002	0,99-1,02	0,8						
Calcification valvulaire aortique	1	0,999-1	0,051						
Caractéristiques procédurales									
Prédilatation valve			0,45						
Post dilatation valve			0,77						

*paramètres intégrés dans l'analyse multivariée. OR: odds ratio. IC: intervalle de confiance. p: p-value. IMC: indice de masse corporelle. AVC: accident vasculaire cérébrale. AIT: accident ischémique transitoire. TAS: tortuosité aortique soustractive. ITA: index de tortuosité aortique.

Tableau 6: Complications hautes

COMPLICATIONS HAUTES						
Caractéristiques cliniques	Analyses univariées			Analyses multivariées		
	OR	IC	p	OR	IC	p
Âge*				0,97	0,93-1,006	0,1
Sexe masculin*				0,60	0,31-1,16	0,13
Artériopathie périphérique*				1,81	0,77-4,24	0,18
Caractéristiques scanographiques						
ITA	1,006	0,995-1,006	0,28			
TAS	1,008	1,000-1,015	0,045			
TAS ≥ 95^e percentile*	3,57	1,37-9,33	0,009	3,44	1,19-9,97	0,023
Shaggy score ≥ 8* (N=65,10,9%)	3,38	1,64-6,95	0,001	3,28	1,55-6,94	0,002

*paramètres intégrés dans l'analyse multivariée. OR: odds ratio. IC: intervalle de confiance. p: p-value. ITA: index de tortuosité aortique. TAS: tortuosité aortique soustractive.

Tableau 7: Décès péri-procédural

DÉCÈS PERI-PROCEDURAL						
	Analyses univariées			Analyses multivariées		
Caractéristiques cliniques	OR	IC	p	OR	IC	p
Âge*	1,02	0,96-1,09	0,49	1,015	0,95-1,09	0,67
Sexe	1,032	0,42-2,52	0,95			
IMC	0,96	0,89-1,03	0,25			
Artériopathie	1,09	0,25-4,8	0,91			
Fibrillation atriale	0,54	0,22-1,33	0,18			
Antécédent d'AVC/AIT	2,43	0,319-18,4	0,39			
Clairance créatinine	0,98	0,95-1	0,56			
Diabète	1,92	0,63-5,82	0,25			
Caractéristiques scanner						
ITA	1,01	0,993-1,025	0,29			
TAS	1,009	0,998-1,02	0,12			
Charge athéromateuse (Shaggy\geq8)*	5,0	1,89-13,2	0,001	4,8	1,78-12,94	0,002
RAFI > 1	0,89	0,2-3,98	0,88			
Calcification valvulaire aortique			0,12			
Caractéristiques procédurales						
Voie d'abord secondaire fémorale			0,90			
Abord veineux			0,24			
Complications procédurales						
AVC	7,66	2,63-29,1	0,0001			
Complications vasculaires majeures*	5,44	2,01-14,23	0,001	4,64	1,64-13,1	0,004
Hémorragie Bleeding VARC \geq 2	2,58	0,83-8,00	0,1			

*paramètres intégrés dans l'analyse multivariée. OR: odds ratio. IC: intervalle de confiance. p: p-value. IMC: indice de masse corporelle. AVC: accident vasculaire cérébrale. AIT: accident ischémique transitoire. ITA: index de tortuosité aortique. TAS: tortuosité aortique soustractive. RAFI: ratio diamètre externe de l'introducteur sur plus petit diamètre de l'artère fémorale. Bleeding VARC \geq 2: Selon la classification du *Valve Academic Research Consortium 3*, saignement avec transfusion \geq 2 culots de globule rouge ou perte >3 points d'hémoglobine ou nécessité d'un geste d'hémostase ou atteinte d'un organe noble ou état de choc ou décès.

DISCUSSION

Dans notre travail, nous avons retrouvé 9,9% de complications vasculaires majeures, 3,4% de complications emboliques dont 2,7% d'AVC et 3,4% de décès liés à l'intervention. Nous avons également identifié trois critères scanographiques associés aux complications péri-procédurales:

- le **RAFI > 1** associé aux **complications vasculaires majeures**,
- le **Score de Shaggy ≥ 8** associé aux **complications emboliques**, aux complications **hautes** et à la **mortalité**,
- la **tortuosité aortique selon la méthode soustractive**, associée aux **complications emboliques** et aux complications **hautes**.

Le scanner pré TAVI réalisé de façon systématique pour la planification de la procédure, semble donc être un outil intéressant pour la prédiction des complications péri-procédurales.

Facteurs de risques de complications vasculaires majeures

Concernant les **complications vasculaires majeures**, le seul facteur de risque que nous avons identifié est un **RAFI >1**. Ce résultat persistait après ajustement sur l'âge, le sexe, la présence d'une artériopathie périphérique, la présence d'une voie d'abord secondaire fémorale ou veineuse.

En revanche, l'index de tortuosité ilio-fémorale et la profondeur du point de ponction n'étaient pas identifiés comme facteurs de risque de complications vasculaires majeures.

Évaluation des tortuosités et calcifications ilio-fémorales

Dans leur étude, *Mach et al.* ont montré que la **tortuosité iliaque** n'était associée qu'à la survenue de complications vasculaires mineures(14). En revanche d'autres auteurs ont montré qu'en association avec la présence de calcifications, l'ITI étaient associé à la survenue de complications vasculaires majeures (11) (12). En effet, la présence de calcifications joue un rôle important sur la rigidité vasculaire et donc la capacité à redresser et franchir les tortuosités. Il n'existe à ce jour, aucun moyen de mesure automatisé des calcifications dans cette localisation. Nous n'avons donc pas pris le parti d'étudier les calcifications vasculaires dans notre étude.

Étude du point de ponction

Dans le travail de *Durand et al.*, la **profondeur de ponction** était associée à une utilisation plus fréquente de stent couvert, mais pas à la survenue de complications vasculaires majeures(10).

La technique de mesure de la profondeur du point de ponction que nous avons utilisée, pouvait être prise à défaut. Ceci était particulièrement le cas chez les patients présentant une obésité abdominale importante, chez qui on observait un débord du panicule adipeux abdominal et des organes intra abdominaux au-dessus du point de ponction sur la coupe scannographique d'intérêt. Ceci entraînait une surestimation importante de la profondeur de ponction.

Dans notre étude, nous n'avons pas pris en compte la présence de **calcification au point de ponction**. En pratique, le guidage par fluoroscopie, angiographie ou échographie permet de repérer la position de l'artère fémorale lorsque les rapports anatomiques sont modifiés (cas de l'obésité abdominale). Ces techniques permettent également de repérer les calcifications où l'opérateur évitera de ponctionner.

Facteurs de risques de complications hautes et emboliques

Évaluation de l'athérome aortique

Concernant les **complications emboliques et les complications hautes**, nous avons identifié le **score de Shaggy ≥ 8** comme variable d'intérêt. *Haensig et al.* avaient des résultats similaires (17). Cependant, la prévalence d'athérome sévère (Shaggy ≥ 8) était beaucoup plus importante dans notre travail (65 sur 597 contre 7 patients sur 604). Notre étude vient donc étayer cette tendance avec un effectif plus important.

Lors de la procédure TAVI, la manipulation de matériel et les passages itératifs dans l'aorte peuvent mobiliser du thrombus ou des débris d'athérome pariétal qui pourraient ensuite emboliser dans les branches de l'aorte et expliquer les complications décrites.

Évaluation de la tortuosité aortique

La **tortuosité aortique évaluée par méthode soustractive (TAS)** était également associée à la survenue de complications emboliques et de complications hautes indépendamment du score de Shaggy. En revanche ce n'était pas le cas pour **l'index de tortuosité aortique (ITA)**.

Nous pensons que cette discordance s'explique par le fait que l'aorte présente physiologiquement une courbure naturelle avec un retour en arrière au niveau de la crosse aortique.

Cette particularité anatomique entraîne une diminution physiologique de la distance directe entre la bifurcation iliaque et la valve aortique (dénominateur dans la formule de l'ITA) et donc surestime la tortuosité. La méthode soustractive semble moins impactée par le retour en arrière au niveau de l'arche et rend mieux compte de l'excédent de longueur aortique et de la tortuosité réelle. C'est, à notre connaissance, la première description de cette méthode d'évaluation de la tortuosité aortique (Figures 5 et 6).

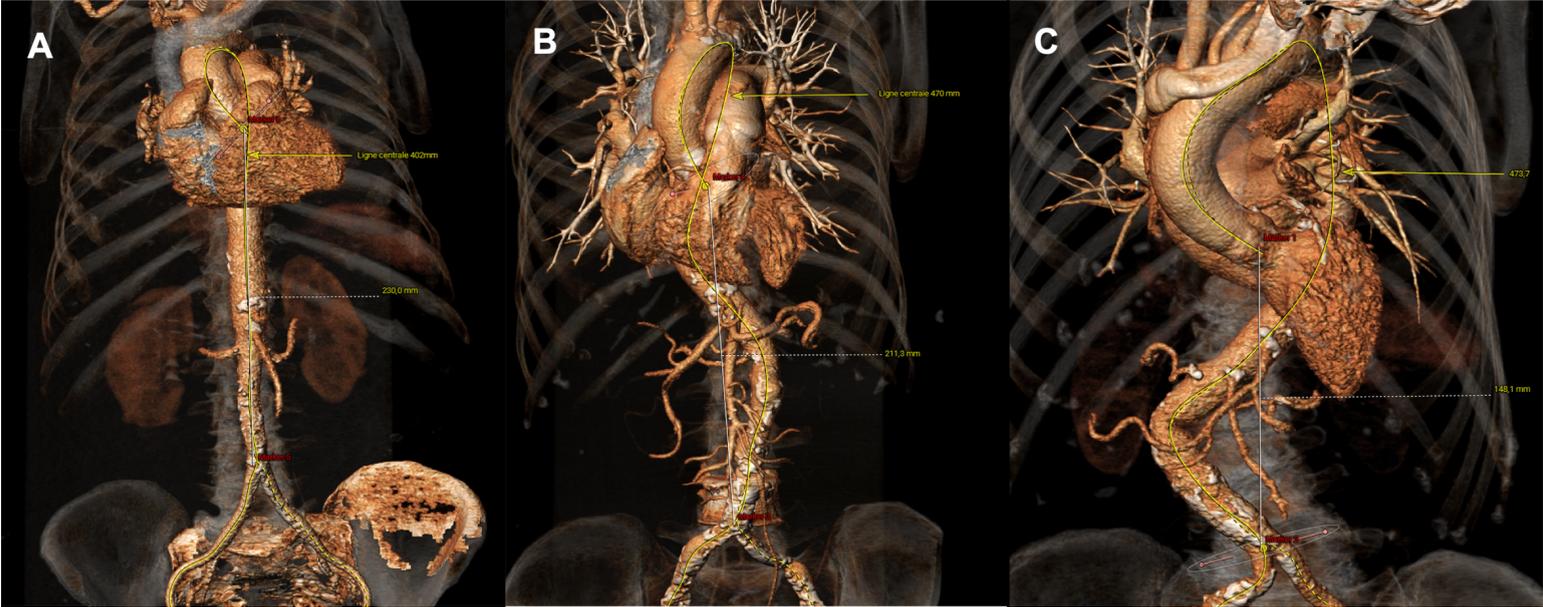


Figure 5: A : Aorte non tortueuse, B : Tortuosité légère, C : Tortuosité importante



Ligne centrale: 443
 Ligne directe: 155
 Index TA 186 (97^e percentile)
 TAS 288 (68^e percentile)

Ligne centrale: 589
 Ligne directe: 207
 Index TA 184 (97^e percentile)
 TAS 382 (99^e percentile)

Figure 6: Illustration de la discordance entre la tortuosité visuelle et l'index de tortuosité aortique (rapport ligne centrale/ligne directe). Reclassification par la méthode soustractive (ligne centrale - ligne directe).

A : Aorte visuellement droite avec index élevé du fait d'une distance bifurcation-valve courte. Reclassification par la méthode soustractive du 97^e au 68^e percentile.

B : Aorte visuellement tortueuse classifiée comme tel par l'ITA et le TAS.

Index TA : index de tortuosité aortique ; TAS : Tortuosité aortique par la méthode soustractive

Si, comme *Kinnel et al.* (22), on considère la tortuosité aortique en termes d'angulation, l'ITA correspond à la sommation de toutes les angulations aortiques. Il ne permet donc pas de faire la différence entre la présence de multiples angulations mineures sans conséquence et la présence d'une angulation extrême plus susceptible d'engendrer des difficultés techniques. Il aurait pu être intéressant d'intégrer la mesure des angulations extrêmes à notre travail.

Évaluation des calcifications valvulaires

La présence de **calcifications valvulaires aortiques** n'était pas significativement associée à la survenue de complications dans notre travail. L'évaluation de ces calcifications est traditionnellement faite à l'aide de score calcique réalisé selon des protocoles strictes sur scanner non injecté (36). Ici nous avons utilisé l'analyse semi-automatique proposée par le logiciel *3mensio* sur des scanners injectés non dédiés. Cette méthode n'est pas validée mais ses résultats sont très reproductibles. Il serait intéressant de les comparer avec les résultats du score calcique valvulaire aortique .

Perspectives de l'étude

La **scanner pré-TAVI** semble être un outil fiable pour mieux évaluer le risque de complications lors des TAVI fémoraux. Les paramètres que nous avons identifiés ont une **bonne reproductibilité** intra et inter-observateurs (**Annexe IV**) et **pourraient être utilisés dans les autres centres pratiquant le TAVI**.

Dans des études futures, on pourrait imaginer la conception de **scores de risque** intégrant les données du scanner associées entre elles et à des paramètres clinico-biologiques. Une meilleure stratification du risque procédural permettrait une meilleure sélection des patients éligibles à la technique.

Les complications emboliques, notamment les AVC, restent un enjeu majeur. L'utilisation systématique des **dispositifs de protection cérébrale** reste encore débattue. Dans une étude regroupant les patients des essais SENTINEL US IDE trial, CLEAN-TAVI et SENTINEL-Ulm, l'utilisation de ces dispositifs permettrait une réduction des AVC toutes gravités confondues, dans les 72h suivant la procédure de TAVI (37). Dans leur méta-analyse, *Ndunda et al.* retrouvaient une réduction des AVC et de la mortalité à 30 jours (38). A contrario, cette association n'était pas retrouvée dans la méta-analyse de *Ahmad et Howard* (39).

Plus récemment, dans un essai contrôlé randomisé publié dans le *New England Journal of Medicine* en Septembre 2022, *Kapadia et al.* ne montraient pas de différence significative sur l'incidence des AVC toutes gravités confondues dans les 72h suivant la procédure de TAVI avec l'utilisation de dispositif de protection cérébrale (40). L'incidence des AVC avec séquelles semblait diminuer avec l'utilisation de ces mêmes dispositifs. Il s'agissait d'un essai multicentrique international regroupant 3000 patients.

Notre travail suggère qu'il pourrait être intéressant d'étudier l'utilité des systèmes de protection cérébrale chez des patients à haut risque embolique, sélectionnés selon les données du scanner.

De même, il pourrait être judicieux d'étudier la pertinence des **voies d'abord alternatives** en présence d'une aorte hostile (athéromateuse, tortueuse) (41) (42) (43).

Limites de l'étude

Notre **cohorte** a été constituée sur une période de 11 ans. Durant ces années la procédure de TAVI s'est beaucoup simplifiée grâce aux innovations techniques. Le profil de risque des patients a également évolué, allant décroissant avec le temps. Il existe donc une hétérogénéité dans notre population qui comprend à la fois des patients dont la procédure date du début de l'expérience du TAVI et des patients récents. Nous avons tenté de contrôler cette hétérogénéité en intégrant les principales avancées techniques (ponction écho-guidée, voie d'abord secondaire radiale, absence de voie d'abord veineuse) à notre analyse multivariée.

CONCLUSION

L'athérome aortique et la tortuosité aortique sont des facteurs de risque de complications emboliques et de complications hautes.

Un faible ratio entre le diamètre externe de l'introducteur et le plus petit diamètre ilio-fémorale est associé à un surrisque de complications vasculaires majeurs.

L'athérome aortique sévère et la survenue de complications vasculaires majeures sont associés à la mortalité.

Le scanner pré-TAVI semble être un outil fiable pour l'évaluation du risque péri-procédural lors de l'implantation de TAVI par voie fémorale. La prise en compte des données scanographiques pourrait permettre de réduire la morbi-mortalité liée à la procédure.

RÉFÉRENCES

1. Vahanian A, Beyersdorf F, Praz F, Milojevic M, Baldus S, Bauersachs J, et al. 2021 ESC/EACTS Guidelines for the management of valvular heart disease: Developed by the Task Force for the management of valvular heart disease of the European Society of Cardiology (ESC) and the European Association for Cardio-Thoracic Surgery (EACTS). *Eur Heart J*. 14 févr 2022;43(7):561-632.
2. Winter MP, Bartko P, Hofer F, Zbiral M, Burger A, Ghanim B, et al. Evolution of outcome and complications in TAVR: a meta-analysis of observational and randomized studies. *Sci Rep*. 23 sept 2020;10(1):15568.
3. Elbaz-Greener G, Zivkovic N, Arbel Y, Radhakrishnan S, Fremes SE, Wijeyesundera HC. Use of Two-Dimensional Ultrasonographically Guided Access to Reduce Access-Related Complications for Transcatheter Aortic Valve Replacement. *Can J Cardiol*. juill 2017;33(7):918-24.
4. Potluri SP, Hamandi M, Basra SS, Shinn KV, Tabachnick D, Vasudevan A, et al. Comparison of Frequency of Vascular Complications With Ultrasound-Guided Versus Fluoroscopic Roadmap-Guided Femoral Arterial Access in Patients Who Underwent Transcatheter Aortic Valve Implantation. *Am J Cardiol*. 1 oct 2020;132:93-9.
5. Berti S, Bedogni F, Giordano A, Petronio AS, Iadanza A, Bartorelli AL, et al. Efficacy and Safety of ProGlide Versus Prostar XL Vascular Closure Devices in Transcatheter Aortic Valve Replacement: The RISPEVA Registry. *J Am Heart Assoc*. 3 nov 2020;9(21):e018042.
6. Radhakrishnan SL, Ho KK. Transradial vs transfemoral secondary access outcomes in transcatheter aortic valve implantation: A systematic review and meta-analysis. *World J Cardiol*. 26 nov 2020;12(11):571-83.
7. Savvoulidis P, Mechery A, Lawton E, Ludman PF, Sharma H, Thompson S, et al. Comparison of left ventricular with right ventricular rapid pacing on tamponade during TAVI. *Int J Cardiol*. 1 août 2022;360:46-52.
8. Stąpór M, Trębacz J, Wiewiórka Ł, Ostrowska-Kaim E, Nawara-Skipirzepska J, Sobczyński R, et al. Direct left ventricular wire pacing during transcatheter aortic valve implantation. *Kardiol Pol*. 25 sept 2020;78(9):882-8.
9. Faurie B, Souteyrand G, Staat P, Godin M, Caussin C, Van Belle E, et al. Left Ventricular Rapid Pacing Via the Valve Delivery Guidewire in Transcatheter Aortic Valve Replacement. *JACC Cardiovasc Interv*. 23 déc 2019;12(24):2449-59.
10. Durand E, Penso M, Hemery T, Levesque T, Moles G, Tron C, et al. Standardized Measurement of Femoral Artery Depth by Computed Tomography to Predict Vascular Complications After Transcatheter Aortic Valve Implantation. *Am J Cardiol*. 15 avr 2021;145:119-27.
11. Langouet Q, Martinez R, Saint-Etienne C, Behlaj Soulamy R, Harmouche M, Aupart M, et al. Incidence, predictors, impact, and treatment of vascular complications after transcatheter aortic valve implantation in a modern prospective cohort under real conditions. *J Vasc Surg*. 1 déc 2020;72(6):2120-2129.e2.
12. Blakeslee-Carter J, Dexter D, Mahoney P, Ahanchi S, Steerman S, Larion S, et al. A Novel Iliac Morphology Score Predicts Procedural Mortality and Major Vascular Complications in Transfemoral Aortic Valve Replacement. *Ann Vasc Surg*. 1 janv 2018;46:208-17.
13. Batchelor W, Patel K, Hurt J, Totten J, Burroughs P, Smith G, et al. Incidence, Prognosis and Predictors of Major Vascular Complications and Percutaneous Closure Device Failure Following Contemporary Percutaneous Transfemoral Transcatheter Aortic Valve Replacement. *Cardiovasc Revascularization Med Mol Interv*. sept 2020;21(9):1065-73.
14. Mach M, Poschner T, Hasan W, Szalkiewicz P, Andreas M, Winkler B, et al. The Iliofemoral tortuosity score predicts access and bleeding complications during transfemoral transcatheter aortic valve replacement: Data from the Vienna Cardio Thoracic aOrtic valve registry (VICTORY). *Eur J Clin Invest*. 2021;51(6):e13491.
15. Milhorini Pio S, Bax J, Delgado V. How valvular calcification can affect the outcomes of transcatheter aortic valve implantation. *Expert Rev Med Devices*. août 2020;17(8):773-84.
16. Maeda K, Ohki T, Kanaoka Y, Shukuzawa K, Baba T, Momose M. A Novel Shaggy Aorta Scoring System to Predict Embolic Complications Following Thoracic Endovascular

- Aneurysm Repair. *Eur J Vasc Endovasc Surg Off J Eur Soc Vasc Surg*. juill 2020;60(1):57-66.
17. Haensig M, Kuntze T, Gonzalez-Lopez D, Lapp H, Lauten P, Owais T. Thromboembolic complications in transfemoral aortic valve implantation due to aortic wall thrombus and shaggy aorta syndrome. *Eur J Cardio-Thorac Surg Off J Eur Assoc Cardio-Thorac Surg*. 30 juill 2021;60(2):253-60.
 18. Shirali AS, Bischoff MS, Lin HM, Oyfe I, Lookstein R, Griep RB, et al. Predicting the Risk for Acute Type B Aortic Dissection in Hypertensive Patients Using Anatomic Variables. *JACC Cardiovasc Imaging*. mars 2013;6(3):349-57.
 19. Alhafez BA, Truong VTT, Ocazionez D, Sohrabi S, Sandhu H, Estrera A, et al. Aortic arch tortuosity, a novel biomarker for thoracic aortic disease, is increased in adults with bicuspid aortic valve. *Int J Cardiol*. 1 juin 2019;284:84-9.
 20. Franken R, el Morabit A, de Waard V, Timmermans J, Scholte AJ, van den Berg MP, et al. Increased aortic tortuosity indicates a more severe aortic phenotype in adults with Marfan syndrome. *Int J Cardiol*. 1 sept 2015;194:7-12.
 21. A novel anatomic severity grading score for acute Type B aortic dissections and correlation to aortic reinterventions after thoracic endovascular aortic repair | *Journal of Cardiothoracic Surgery* | Full Text [Internet]. [cité 4 oct 2022]. Disponible sur: <https://cardiothoracicsurgery.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13019-017-0590-8>
 22. Kinnel M, Faroux L, Villecourt A, Tassan-Mangina S, Heroguelle V, Nazeyrollas P, et al. Abdominal aorta tortuosity on computed tomography identifies patients at risk of complications during transfemoral transcatheter aortic valve replacement. *Arch Cardiovasc Dis*. 1 mars 2020;113(3):159-67.
 23. Iung B, Delgado V, Rosenhek R, Price S, Prendergast B, Wendler O, et al. Contemporary Presentation and Management of Valvular Heart Disease: The EURObservational Research Programme Valvular Heart Disease II Survey. *Circulation*. oct 2019;140(14):1156-69.
 24. Yadgir S, Johnson CO, Aboyans V, Adebayo OM, Adedoyin RA, Afarideh M, et al. Global, Regional, and National Burden of Calcific Aortic Valve and Degenerative Mitral Valve Diseases, 1990–2017. *Circulation*. 26 mai 2020;141(21):1670-80.
 25. Ross J, Braunwald E. Aortic stenosis. *Circulation*. juill 1968;38(1 Suppl):61-7.
 26. Cribier A, Savin T, Saoudi N, Rocha P, Berland J, Letac B. Percutaneous transluminal valvuloplasty of acquired aortic stenosis in elderly patients: an alternative to valve replacement? *Lancet Lond Engl*. 11 janv 1986;1(8472):63-7.
 27. Feldman T, Glagov S, Carroll JD. Restenosis following successful balloon valvuloplasty: bone formation in aortic valve leaflets. *Cathet Cardiovasc Diagn*. mai 1993;29(1):1-7.
 28. Cribier A, Eltchaninoff H, Bash A, Borenstein N, Tron C, Bauer F, et al. Percutaneous transcatheter implantation of an aortic valve prosthesis for calcific aortic stenosis: first human case description. *Circulation*. 10 déc 2002;106(24):3006-8.
 29. Leon MB, Smith CR, Mack M, Miller DC, Moses JW, Svensson LG, et al. Transcatheter Aortic-Valve Implantation for Aortic Stenosis in Patients Who Cannot Undergo Surgery. *N Engl J Med*. 21 oct 2010;363(17):1597-607.
 30. Leon MB, Smith CR, Mack MJ, Makkar RR, Svensson LG, Kodali SK, et al. Transcatheter or Surgical Aortic-Valve Replacement in Intermediate-Risk Patients. *N Engl J Med*. 28 avr 2016;374(17):1609-20.
 31. Di Mario C, Goodwin M, Ristalli F, Ravani M, Meucci F, Stolcova M, et al. A Prospective Registry of Intravascular Lithotripsy-Enabled Vascular Access for Transfemoral Transcatheter Aortic Valve Replacement. *JACC Cardiovasc Interv*. 11 mars 2019;12(5):502-4.
 32. Mack MJ, Leon MB, Thourani VH, Makkar R, Kodali SK, Russo M, et al. Transcatheter Aortic-Valve Replacement with a Balloon-Expandable Valve in Low-Risk Patients. *N Engl J Med*. 2 mai 2019;380(18):1695-705.
 33. Sugawara J, Hayashi K, Yokoi T, Tanaka H. Age-associated elongation of the ascending aorta in adults. *JACC Cardiovasc Imaging*. nov 2008;1(6):739-48.
 34. Yang SS, Yun WS. Changes in the Normal Infrarenal Aortic Length and Tortuosity in Elderly People. *Vasc Spec Int*. 31 mars 2020;36(1):15-20.
 35. VASC-3 WRITING COMMITTEE, Généreux P, Piazza N, Alu MC, Nazif T, Hahn RT, et al. Valve Academic Research Consortium 3: updated endpoint definitions for aortic valve clinical research. *Eur Heart J*. 14 mai 2021;42(19):1825-57.

36. Linde L, Carter-Storch R, Christensen NL, Øvrehus KA, Diederichsen ACP, Laursen K, et al. Sex differences in aortic valve calcification in severe aortic valve stenosis: association between computer tomography assessed calcification and valvular calcium concentrations. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*. 28 avr 2021;22(5):581-8.
37. Seeger J, Kapadia SR, Kodali S, Linke A, Wöhrle J, Haussig S, et al. Rate of peri-procedural stroke observed with cerebral embolic protection during transcatheter aortic valve replacement: a patient-level propensity-matched analysis. *Eur Heart J*. 1 mai 2019;40(17):1334-40.
38. Ndunda PM, Vindhya MR, Muutu TM, Fanari Z. Clinical Outcomes of Sentinel Cerebral Protection System Use During Transcatheter Aortic Valve Replacement: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Cardiovasc Revascularization Med Mol Interv*. juin 2020;21(6):717-22.
39. Ahmad Y, Howard JP. Meta-Analysis of Usefulness of Cerebral Embolic Protection During Transcatheter Aortic Valve Implantation. *Am J Cardiol*. 1 mai 2021;146:69-73.
40. Kapadia SR, Makkar R, Leon M, Abdel-Wahab M, Waggoner T, Massberg S, et al. Cerebral Embolic Protection during Transcatheter Aortic-Valve Replacement. *N Engl J Med [Internet]*. 17 sept 2022 [cité 4 oct 2022]; Disponible sur: <https://www.nejm.org/doi/pdf/10.1056/NEJMoa2204961>
41. Muensterer A, Mazzitelli D, Ruge H, Wagner A, Hettich I, Piazza N, et al. Safety and efficacy of the subclavian access route for TAVI in cases of missing transfemoral access. *Clin Res Cardiol Off J Ger Card Soc*. sept 2013;102(9):627-36.
42. D'Auria F, Casado AP, Myat A, Lorusso R, Hildick-Smith D. Long-Term Survival and Outcomes According to VARC-2 Criteria for Subclavian, Direct Aortic, Femoral, and Apical Implantation: An 8-Year United Kingdom TAVI Surgical Experience. *Surg Technol Int*. 28 nov 2020;37:245-52.
43. Overtchouk P, Modine T. Alternate Access for TAVI: Stay Clear of the Chest. *Interv Cardiol Rev*. sept 2018;13(3):145-50.

ANNEXES

Annexe I: *Shaggy score*

Échelle de **quantification de la charge athéromateuse de l'aorte** telle que décrite par Ribeiro et al. La quantification s'effectue sur le segment le plus péjoratif en coupe axiale sur le scanner. Nous avons considéré un score de **Shaggy ≥ 8** comme étant une **aorte sévèrement athéromateuse**.

QUALITATIVE ANALYSIS				
SEGMENTS				2
	None=0	1 segment=1	2-3 segments=2	
THROMBUS TYPE				2
	None=0	Smooth lining=1	Finger-like projections=2	
THICKNESS				2
	None=1	1-4mm=1	$\geq 5\text{mm}=2$	
AREA				2
	0-24%=0	25-50%=1	$\geq 50\%=2$	
CIRCUMFERENCE				2
	0-90°=0	91°-179°=1	180°-360°=2	
				Total 0-10
				MILD 0-3 MODERATE 4-7 SEVERE 8-10

Annexe II: Complications vasculaires des voies d'abord définies selon le *Valve Academic Research Consortium-3*.

Vascular complications†

Major

One of the following:

- Aortic dissection or aortic rupture
- Vascular (arterial or venous) injury (perforation, rupture, dissection, stenosis, ischaemia, arterial or venous thrombosis including pulmonary embolism, arteriovenous fistula, pseudoaneurysm, haematoma, retroperitoneal haematoma, infection) or compartment syndrome resulting in death, VARC type ≥ 2 bleeding, limb or visceral ischaemia, or irreversible neurologic impairment
- Distal embolization (non-cerebral) from a vascular source resulting in death, amputation, limb or visceral ischaemia, or irreversible end-organ damage
- Unplanned endovascular or surgical intervention resulting in death, VARC type ≥ 2 bleeding, limb or visceral ischaemia, or irreversible neurologic impairment
- Closure device failure‡ resulting in death, VARC type ≥ 2 bleeding, limb or visceral ischaemia, or irreversible neurologic impairment

Minor

One of the following:

- Vascular (arterial or venous) injury (perforation, rupture, dissection, stenosis, ischaemia, arterial or venous thrombosis including pulmonary embolism, arteriovenous fistula, pseudoaneurysm, haematoma, retroperitoneal haematoma, infection) *not* resulting in death, VARC type ≥ 2 bleeding, limb or visceral ischaemia, or irreversible neurologic impairment
- Distal embolization treated with embolectomy and/or thrombectomy, *not* resulting in death, amputation, limb or visceral ischaemia, or irreversible end-organ damage
- Any unplanned endovascular or surgical intervention, ultra-sound guided compression, or thrombin injection, *not* resulting in death, VARC type ≥ 2 bleeding, limb or visceral ischaemia, or irreversible neurologic impairment
- Closure device failure‡ *not* resulting in death, VARC type ≥ 2 bleeding, limb or visceral ischaemia, or irreversible neurologic impairment

Access-related non-vascular complications

Major

One of the following:

- Non-vascular structure, non-cardiac structure§ perforation, injury, or infection resulting in death, VARC type ≥ 2 bleeding, irreversible nerve injury or requiring unplanned surgery or percutaneous intervention
- Non-vascular access site (e.g. trans-apical left ventricular) perforation, injury, or infection resulting in death, VARC type ≥ 2 bleeding, irreversible nerve injury or requiring unplanned surgery or percutaneous intervention

Minor

One of the following:

- Non-vascular structure, non-cardiac structure§ perforation, injury, or infection *not* resulting in death, VARC type ≥ 2 , irreversible nerve injury, or requiring unplanned surgery or percutaneous intervention
- Non-vascular access site (e.g. trans-apical left ventricular) perforation, injury, or infection *not* resulting in death, VARC type ≥ 2 bleeding, irreversible nerve injury or requiring unplanned surgery or percutaneous intervention

*Any complication related to the device insertion, delivery, and complete removal of all its components (delivery catheter, sheath, guide wire), excluding the actual implantation in the heart.

†Any device-related vascular access site and any other accessory access sites (venous or arterial) used during procedure.

‡A failure to achieve haemostasis at the access site, resulting in alternative treatment (other than manual compression or planned adjunctive endovascular balloon inflation).

Annexe III: Diamètres externes des introducteurs fournis par les constructeurs:

Constructeur	Modèle de valve	Diamètre de l'introducteur
EDWARDS	Sapien XT 23	6,7 mm
	Sapien XT 26	7,2 mm
	Sapien XT 29	8 mm
	Sapien 3 20-23-26	6 mm
	Sapien 3 29	6,7 mm
MEDTRONIC	Evolut R 20-23-26-29	6 mm
	Evolut R 34	6,7 mm
	Evolut Pro 23-26-29	6,7 mm
	Corevalve (Introducteur 18 Fr)	7,4 mm

Annexe IV: Graphiques de Bland-Altman illustrant les différences à la moyenne des mesures inter et intra-observateurs des différentes variables scannographiques



SERMENT D'HIPPOCRATE

Au moment d'être admis à exercer la médecine, en présence des maîtres de cette école et de mes condisciples, je promets et je jure d'être fidèle aux lois de l'honneur et de la probité qui la régissent.

Mon premier souci sera, de rétablir, de préserver ou de promouvoir la santé dans tous les éléments physiques et mentaux, individuels collectifs et sociaux. Je respecterai toutes les personnes, leur autonomie et leur volonté, sans aucune discrimination selon leur état ou leurs convictions.

J'interviendrai pour les protéger si elles sont affaiblies, vulnérables ou menacées dans leur intégrité ou dignité.

Même sous la contrainte, je ne ferai pas usage de mes connaissances contre les lois de l'humanité.

J'informerai les patients des décisions envisagées, de leurs raisons et de leurs conséquences.

Je ne tromperai jamais leur confiance et n'exploiterai pas le pouvoir hérité des circonstances pour forcer leurs consciences.

Je donnerai mes soins à l'indigent et à quiconque me les demandera.

Je ne me laisserai influencer ni par la recherche du gain ni par la recherche de la gloire.

Admis dans l'intimité des personnes, je tairai les secrets qui me sont confiés.

Reçu à l'intérieur des maisons, je respecterai les secrets des foyers.

Et ma conduite ne servira pas à corrompre les mœurs.

Je ferai tout pour soulager les souffrances, sans acharnement.

Je ne provoquerai jamais la mort délibérément.

Je préserverai l'indépendance nécessaire à l'accomplissement de ma mission.

Que je sois modéré en tout, mais insatiable de mon amour de la science.

Je n'entreprendrai rien qui ne dépasse mes compétences ; je les entretiendrai et les perfectionnerai pour assurer au mieux les services qui me seront demandés.

J'apporterai mon aide à mes confrères ainsi qu'à leurs familles dans l'adversité.

Que les hommes et mes confrères m'accordent leur estime si je suis fidèle à mes promesses,

Que je sois déshonoré et méprisé si j'y manque.

SUJET DE LA THÈSE : Apport du scanner pré-interventionnel dans la prédiction du risque de complications péri-procédurales chez les patients traités par remplacement valvulaire aortique percutané trans fémoral.

THÈSE : MÉDECINE

Qualification : Médecine cardio-vasculaire

N° d'identification: 2022ANTI0878

MOTS CLÉS : TAVI, Shaggy score, tortuosité aortique, VARC-3, AVC, scanner.

Contexte: Le remplacement valvulaire aortique percutané (TAVI) par voie fémorale est le traitement de choix du rétrécissement aortique serré chez les patients à moyen et à haut risque opératoire. L'angio scanner pré-TAVI permet d'évaluer la faisabilité de la procédure et de la planifier. Alors que les indications de TAVI s'élargissent vers les patients à moindre risque, la survenue de complications péri-procédurales continue d'impacter le pronostic. Ces complications pourraient être réduites si elles étaient mieux prédites avant la procédure.

Objectif: Le but de notre étude était d'identifier les facteurs de risques de complications péri-procédurales sur le scanner pré-TAVI.

Méthode: Nous avons réalisé une étude rétrospective mono-centrique aux Hospices Civils de Lyon. Nous avons inclus tous les patients porteurs d'un rétrécissement aortique serré, traités par TAVI par voie fémorale entre Janvier 2011 et Avril 2022, avec un scanner pré-TAVI exploitable. Les paramètres scanographiques étudiés étaient : la profondeur de ponction, le ratio plus petit diamètre ilio-fémorale sur diamètre externe de l'introducteur, la tortuosité ilio-fémorale, l'athérome aortique, la tortuosité aortique, les calcifications valvulaires aortiques. Notre critère de jugement était la survenue de complications de la procédure jusqu'à la sortie d'hospitalisation. Les complications étaient classées selon les quatre catégories suivantes: complications vasculaires majeures, complications emboliques, complications hautes, décès. Les facteurs prédictifs de complication ont été étudiés par régression logistique binaire univariée et multivariée.

Résultats: 598 patients ont été inclus dans notre étude. La tortuosité aortique (TAS) calculée selon une méthode soustractive (longueur ligne centrale - longueur ligne directe) était associée à une augmentation des complications emboliques en analyse continue (OR 1,015; IC95%[1,004-1,026]; p 0,007) et des complications hautes pour une TAS > 95e percentile (OR 3,44; IC95%[1,19-9,97]; p 0,023). Un athérome aortique sévère (Shaggy score ≥ 8) était associé à une augmentation des complications emboliques (OR 9; IC95%[3,47-23,48]; p 0,0001), des complications hautes (OR 3,28; IC95%[1,55-6,94]; p 0,002) et des décès péri procéduraux (OR 4,8; IC95%[1,78-12,94]; p 0,002). Un ratio entre le plus petit diamètre ilio-fémorale et le diamètre externe du désilet inférieur à 1 était associé à une augmentation des complications vasculaires majeures (OR 4,1; IC95%[1,75, 9,7]; p 0,001).

Conclusion: Une aorte hostile (tortuosité et/ou athérome importants) ou des vaisseaux ilio-fémoraux de petits calibres sont prédictifs de complications lors des procédures de TAVI par voie fémorale. La présence de ces anomalies au scanner doit être prise en compte pour guider la stratégie thérapeutique et discuter d'une voie d'abord alternative et/ou d'un dispositif de protection cérébrale.

JURY : Président : Pr INAMO Jocelyn

Juge : Pr LANTELME Pierre

Juge : Dr FABRE Julien

DIRECTEUR: Pr HARBAOUI Brahim