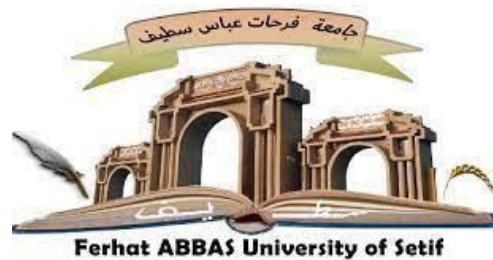


REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE FERHAT ABBAS 1

FACULTE DE MEDECINE



Thèse

Imagerie de l'anévrisme aortique : Étude descriptive et analyse intelligente de la variabilité du diamètre de l'aorte sous rénale.

Expérience du CHU de Sétif 2021- 2023

En vue de l'obtention du doctorat en sciences médicales : DESM

Présentée par :

Dr. BOUHARATI Imane

Maitre assistante en Radiologie

Directeur de thèse:

Le Professeur BOUBENDIR.NASSER-DINE.

Le Professeur CHIBANE NADJIA.

Président du jury : Professeur S.LAOUAMRI.

Université de Sétif

Rapporteur : Professeur N. CHIBANE.

Université d'Alger

Membres du jury : Professeur K. SEDDIKI.

Université d'Alger

Professeur M.NAAMOUNI.

Université d'Annaba

Professeur A. CHEIFA.

Université d'Alger

Soutenue publiquement le 24/04/2024

« Premier principe : ne jamais se laisser abattre par des personnes ou par des évènements »

Marie Curie

« Tout devoir porte en lui-même sa récompense »

George Sand

« N'essayez pas de devenir un homme qui a du succès. Essayez de devenir un homme qui a de la valeur »

Albert Einstein

« Choisissez un travail que vous aimez, et vous n'aurez pas à travailler un seul jour de votre vie »

Confucius

Remerciements

باسم الله الرحمان الرحيم

{رب أوزعني أن أشكر نعمتك التي أنعمت عليّ وعلى والديّ وأن أعملَ
صالحًا ترضاه وأصلح لي في ذريّتي إنّي تُبْتُ إِلَيْكَ وَإِنِّي مِنَ الْمُسْلِمِينَ}

سورة الأحقاف: 15

صدق الله العظيم

En premier,

Je remercie mon Dieu le tout puissant

Qui m'a tout donné dans cette vie d'ici-bas,

Qui m'a aidé à accomplir ce travail ;

En espérant qu'il me pardonne toutes mes fautes

Et qu'il m'accepte dans son vaste paradis par sa grande

Miséricorde.

À la mémoire de mon maître et directeur de thèse

Monsieur le Professeur Nasser-Dine BOUBENDIR,

C'est avec une immense tristesse que je dédie cette thèse à mon directeur de thèse, qui a succombé à un cancer après avoir achevé ce travail avec moi. Il a été plus qu'un directeur, il a été un maître, un ami, un pilier sur lequel je pouvais compter à tout moment. Il m'a accordé sa confiance et m'a ouvert les portes du vasculaire, un domaine fascinant et innovant. Il m'a initié à un autre monde, un autre environnement qui ne m'était pas familier. Il a été un moteur hors pair dans l'aboutissement de mes projets scientifiques et sa carrière force le respect.

Je lui suis éternellement reconnaissante de m'avoir fait l'honneur d'être directeur de cette thèse.

Je déplore qu'il ne soit pas là pour voir le résultat de notre travail et pour me soutenir lors de ma soutenance.

Il restera toujours dans mon cœur et dans ma mémoire.

**À mon maître et directeur de thèse Madame le Professeur
Nadjia CHIBANE,**

Je vous adresse mes plus chaleureux remerciements pour avoir accepté de prendre la succession de mon directeur de thèse, qui nous a tragiquement quittés.

Vous avez fait preuve d'une grande générosité et d'un grand sens du service en vous engageant dans ce travail malgré vos lourdes obligations.

Vous m'avez offert votre savoir, vos recommandations, votre appui et votre gentillesse tout au long de la préparation de ma soutenance.

Vous avez su me consoler et me faire avancer dans mon travail.

Vous avez été une véritable amie et une source d'enthousiasme pour moi. Je vous exprime ma profonde gratitude pour m'avoir soutenu dans cette dernière étape de ma thèse.

À mon maître et présidente du jury de thèse

Madame le Professeur SLIMANE LAOUAMRI.

Vous m'avez fait un très grand honneur en acceptant de présider ce jury de thèse, je vous remercie de votre confiance et de l'intérêt que vous avez bien voulu porter à ce travail.

Je vous prie d'accepter l'expression de mon plus profond respect et témoignage de ma sincère reconnaissance.

À mon maître et juge,

Madame le Professeur KARIMA SEDDIKI.

*Votre présence parmi les membres du jury m'honore.
Je vous remercie pour l'intérêt que vous portez à ce travail en acceptant de juger cette thèse.*

Soyez assuré de l'expression de mon profond respect.

À mon maître et juge,

Monsieur le Professeur MOUNIA NAMOUNI.

*Je tiens à exprimer ma profonde reconnaissance et gratitude
d'avoir accepté d'être membre de ce jury*

Je vous prie d'accepter ma respectueuse considération.

À mon maître et juge,

Monsieur le Professeur ABDELOUAHAB CHEIFA.

*Je vous remercie d'avoir accepté de siéger à ce jury de thèse,
merci pour votre gentillesse, votre disponibilité et votre
bienveillance.*

Veillez accepter tout mon respect.

Dédicaces

A mes parents,

*Pour vos sacrifices et votre soutien
Inconditionnel tout au long du
Chemin parcouru.*

C'est grâce à vous si j'en suis là

Aujourd'hui

Merci pour tout.

A ma famille,

A mes petits, Anis, Youcef, Inès et Yasmine qui me rendent la vie plus belle chaque jour, ce travail n'aurait pas pu aboutir sans avoir pris sur le temps que j'aurai dû vous consacrer.

Merci à mon mari Amine de m'avoir soutenu et aidé depuis le début de mes études médicales spécialisées.

Ta détermination, ta ténacité et ton implication pour que je réussisse dans mes projets ne te rendent que plus extraordinaire.

A ma belle-mère, je tiens à vous exprimer toute ma gratitude pour votre soutien infaillible, votre présence bienveillante et vos encouragements pour que je réussisse mes études ont été d'une aide précieuse pour moi. Vous êtes un véritable exemple pour moi, tant par votre force de caractère que par votre détermination.

Merci infiniment pour tout

A mes frères et sœurs, merci pour votre soutien sans faille mais aussi de votre présence durant les moments difficiles.

A mes oncles, tantes, cousins et cousines.

A la mémoire de mes grands-parents

A mes maîtres et collaborateurs,

Mr le Professeur Frédéric CLARONCON,

***Médecin chef du service de neuroradiologie et de
radiologie interventionnelle de l'hôpital Pitié Salpêtrière à
Paris***

*Merci de m'avoir accueillie dans votre service de radiologie
interventionnelle et cardio-vasculaire pour toute une année.*

Mr le Professeur Philippe CLUZEL,

***Médecin chef du service de radiologie interventionnelle
cardiovasculaire de l'hôpital Pitié Salpêtrière à Paris***

*Votre disponibilité, vos conseils et votre écoute m'ont été
hautement précieux.*

*Merci de m'avoir appris les bases de la radiologie
interventionnelle et vasculaire, avec vous et le*

Professeur Pascal LEPRINCE*j'ai eu la chance de réaliser mes
premières endo-prothèses aortiques dans un service de
pointe.*

Mr le Professeur Alban REDHEUIL,

***Médecin chef du service d'imagerie cardio-thoracique de
l'hôpital Pitié Salpêtrière à Paris***

*Notre collaboration sur des projets de recherche est très
importante pour moi.*

*J'espère que nous aurons le plaisir de travailler ensemble tout
au long de ma carrière.*

A mes collègues

Je tiens à remercier chaleureusement mes amis et collègues du parcours de formation médicale spécialisée pour avoir été présents à mes côtés tout au long de nos années d'études, les souvenirs que nous avons créés ensemble resteront gravés dans ma mémoire et ont contribué à rendre cette période d'apprentissage plus agréable...

Je remercie particulièrement Les docteurs LEBCIR, DAHBI

*,CHENAH, ZEGHINA, TALHA, ARROUS,
HAMDI,MAIRECHE,BAHOULI, BRAVITI, FRIDA et SAADI*

pour leur soutien et leur aide précieuse, ils ont été des collaborateurs précieux tout au long de ce travail et je leur suis profondément reconnaissante...

A tous ceux qui ont contribué pour voir aboutir ce travail...

A tous ceux qui sentent une joie en voyant aboutir ce travail.

LISTE DES ABREVIATIONS

3D : 3 Dimensions.

AAA : Anévrisme de l'Aorte Abdominale.

AAA s : Anévrisme de l'Aorte Abdominale sous rénale.

AJR : Aorte juxta rénale.

ANSM : L'Agence nationale de sécurité du médicament et des produits de santé

AOMI : Artériopathie oblitérante des membres inférieurs.

AIT : Accident ischémique transitoire.

ASP : Abdomen sans préparation.

ASR : Aorte supra rénale.

AP : Antéro postérieur.

AVC : Accident ischémique constitué.

CML : Cellules musculaires lisses.

CPR : reconstructions curvilignes.

DECT: Dual energy CT .

EVAR : Traitement endovasculaire.

FdR : Facteurs de risque.

FdRCV : Facteurs de risque cardiovasculaire.

HAS : Haute autorité de santé Française.

HTA : Hypertension artérielle.

IMC : Index de masse corporelle.

IRM : Imagerie par Résonance Magnétique.

ITI : Inner to inner edge.

LTL : Leading edge to leading edge.

MEC : Matrice extra cellulaire.

MIP: La projection d'intensité maximale.

MPR: Les reconstructions multiplanaires.

OTO : Outer to outer edge.

ROI : Region Of Interest.

RNA : Réseaux de neurones artificiels.

TDM : Tomodensitométrie.

VR : rendu de volume.

Table des matières :

Remerciements.....	IV
Dédicaces	VIII
Liste des abréviations	XIII
Table des matières.....	XIV

Partie I : Étude de la littérature :

1	Introduction.....	01
2	Anatomie de l'aorte abdominale.....	03
	2.1 Branches collatérales.....	03
	2.2 Branches terminales.....	04
3	Histologie de la paroi aortique	06
	3.1 Intima	07
	3.2 Média	07
	3.3 Adventice.....	08
4	Anévrisme de l'aorte abdominale sous rénale	09
	4.1 Historique	09
	4.2 Définition.....	11
	4.3 Epidémiologie	12
	4.3.1 Prévalence.....	12
	4.3.2 Facteurs de risques.....	12
	4.3.3 Etiologies.....	19

4.3.4	Dépistage	19
4.4	Histoire naturelle, évolution et complications	21
4.5	Physiopathologie...	24
4.6	Anatomopathologie.....	25
4.7	Manifestations cliniques.....	27
4.7.1	Circonstances de découverte.....	27
4.7.2	Examen clinique	27
4.8	Apport des techniques d'imagerie dans le diagnostic des	.
AAAs	28
4.8.1	Radiographie standard	28
4.8.2	Echographie doppler	29
4.8.3	Tomodensitométrie	31
4.8.4	Imagerie par résonance magnétique	40
4.8.5	Angiographie	43
4.9	Traitement des anévrismes de l'aorte abdominale	44
4.9.1	Traitement médicale optimisé	44
4.9.2	Traitement chirurgical	45
4.9.3	Traitement endovasculaire (EVAR).....	47
5	Techniques de l'intelligence artificielle	54
5.1	Logique floue	54
5.1.1	Introduction	54
5.1.2	L'incertain et le raisonnement humain	55
5.1.3	Théorie des ensembles flous	56

5.1.4	Variables floues	57
5.2	Réseaux de neurones artificiels (RNA)	64
5.2.1	Introduction.....	64
5.2.2	Généralités	64
5.2.3	Définition.....	64
5.2.4	Analogie avec le cerveau	65
5.2.5	Présentation.....	67
5.2.6	L'apprentissage des réseaux de neurones.....	71

Partie II : Partie pratique

1.	Problématique... ..	74
2.	Objectifs.....	76
2.1.	Objectif principal	76
2.2.	Objectifs secondaires... ..	76
3.	Matériel et méthodes	77
3.1.	Type de l'étude... ..	77
3.2.	Population d'étude... ..	77
3.2.1.	Recrutement.....	77
3.2.2.	Critères d'inclusion	77
3.2.3.	Critères d'exclusion.....	77
3.2.4.	Taille de l'échantillon	78
3.3.	Moyens.....	78
3.3.1.	Personnels.....	78
3.3.2.	Matériel	79
3.4.	Déroulement de l'étude.....	82
3.4.1.	Recrutement des patients.....	82

3.4.2.	Préparation avant l'examen.....	83
3.4.3	Protocole d'acquisition de l'angioscanner de l'aorte.....	83
3.4.4	Post-traitement.....	87
3.5	Lecture, recueil et analyse statistique des données.....	90
3.6	Analyse par les techniques de l'intelligence artificielle.....	95
3.6.1	Analyse par inférence floue.....	95
3.6.1.1	Système flou.....	96
3.6.2	Analyse par les réseaux de neurones artificiels.	96
3.6.2.1	Expression du problème.....	97
4.	Résultats	99
4.1.	Résultats de l'analyse statistique.....	99
4.1.1.	caracteristiques générales de l'échantillon	99
4.1.2.	Prévalence de l'AAAs	99
4.1.3.	Facteurs de risque de l'AAAs.....	100
4.1.4.	variabilité du diametre de l'aorte abdomina sous rénale	111
4.1.5.	Comparaison des mesures échographique et scanner	113
4.2.	Cas d'AAA compliqués.....	117
4.3.	Résultats obtenus par l'intelligence artificielle	119
4.3.1.	Analyse par inférence floue.....	119
4.3.1.1.	Fuzzyfication des variables.....	120
4.3.1.2.	Règles d'inférence	131
4.3.1.3.	Defuzzyfication.....	132
4.3.2.	Résultats obtenus par les réseaux de neurones artificiels.....	139
4.3.3.	Synthèse des résultats obtenus par intelligence artificielle	154

4.4. Exemples d'imagerie dans le diagnostic d'AAAs	163
5. Discussion.....	171
6. Conclusion et perspectives pour les travaux futurs.....	195
7. Bibliographie... ..	198
Liste des figures	222
Liste des tableaux.....	227
Annexes	228
Résumé... ..	244
Travaux publiés sur le sujet	246

Partie I.
Etude de la littérature

1 Introduction

L'anévrisme de l'aorte abdominale sous renale (AAAs) est une affection dont la fréquence augmente avec l'âge, son risque principal est dominé par la rupture avec une mortalité > 80 %. [1], [2]. L'athérome représente 95 % des causes d'AAAs avec comme principaux facteurs de risque l'âge et le tabagisme.

Le risque de rupture est directement proportionnel au diamètre de l'anévrisme et constitue le critère de choix dans la prise de la décision chirurgicale (un AAAs > 55 mm de diamètre antéro-postérieur a un risque de rupture estimé à 10 % / an) [3].

La mortalité globale est élevée, elle est comparable à celle du cancer de la prostate ou du cancer du sein (environ 30 000 décès/an aux États-Unis) [4]

Les plus grands programmes de dépistage concernant les AAAs sont le Multicentre Aneurysm Screening Study (MASS) (n = 67 800), le Viborg County, Danemark, l'essai de dépistage (n = 12 639), le Chichester, Royaume-Uni, l'essai de dépistage (n = 15 382), l'essai de dépistage de l'Australie-Occidentale (n = 38 480) et le programme de dépistage du Regional Veterans Affairs Health Care System (n = 6 142) [5], [6].

On parle d'anévrisme de l'aorte abdominale lorsque le diamètre vasculaire est supérieur à 3 cm soit 50 % de la taille normale [7].

Les anévrismes sont expliqués par les petites cicatrices fibreuses au niveau des parois vasculaires qui se dilatent par perte d'élasticité du tissu cicatriciel [8].

Sa gravité réside dans le fait qu'elle est silencieuse jusqu'à la rupture. Survenant après 55 ans et plus fréquemment observée chez l'homme que chez la femme [9].

Les AAAs ne provoquent généralement aucun symptôme avant une complication extrêmement dramatique qui peut être sa rupture. La majorité des AAAs sont asymptomatiques et détectés fortuitement sur diverses études d'imagerie, y compris l'échographie abdominale et l'angiographie tomodensitométrique.

Le risque de rupture dépend du diamètre de l'AAAs et il augmente significativement lorsque le diamètre est supérieur à 5,0 cm. l'anévrisme de l'aorte abdominale sous renale (AAAs) est considéré comme une maladie vasculaire multifactorielle avec une mortalité élevée (estimée à environ 200 000 décès par an dans le monde) qui est liée à l'âge avancé, et est plus fréquente chez les hommes que chez les femmes [10], [11], [12].

La prévalence des AAA dans certaines études de population est très différente. Elle est plus élevée chez les hommes et plus faible chez les femmes dans différentes études [13], [14]. Aussi, elle varie selon l'origine ethnique. La prévalence globale regroupée des AAA dans 56 études s'est avérée être de 4,8 %. La prévalence des AAA est plus élevée en Australie (6,7%) qu'en Europe (2,5%) et en Amérique (2,2%) ; la prévalence la plus faible se trouve en Asie (0,5%) [14].

Les symptômes associés à l'AAAs peuvent inclure une douleur dorsolombaire qui peut traduire l'érosion d'un corps vertébrale, un état de choc suite à la rupture aortique, le développement d'une fistule artério-veineuse quand la rupture se fait dans une structure veineuse ou aorto-entérique si la rupture se fait dans le tube digestif [15].

Une synthèse des travaux de recherche sur la co-prévalence des anévrismes dans différents lits vasculaires jusqu'à février 2020 a rassemblé 7213 articles. Ces études concluent qu'environ un patient sur six avec un anévrisme primaire présente un anévrisme supplémentaire, passant à un sur quatre si le patient a un anévrisme de l'artère poplitée [16].

Comme ces facteurs sont multiples et complexes, nous proposons dans cette étude une analyse intelligente dans le but de mieux prévoir l'anévrisme de l'aorte sous rénale et d'identifier les personnes à risque et ainsi prendre les précautions qui s'imposent.

2 Anatomie de l'aorte abdominale :

L'aorte abdominale est la partie terminale de l'aorte descendante située dans la cavité abdominale, c'est une artère nourricière de la majeure partie de l'abdomen et du pelvis et une artère de passage pour les membres inférieurs, elle fait suite à l'aorte thoracique au niveau de l'hiatus aortique du diaphragme (T12). Légèrement déviée à gauche, elle passe en avant du rachis lombaire et se termine à hauteur de (L4) par les artères iliaques droite et gauche.

L'aorte abdominale présente des rapports avec la veine cave inférieure sur toute sa longueur, la veine rénale gauche et de haut en bas avec les organes suivants : le lobe caudé du foie, la petite courbure gastrique, le 1^{er} duodénum, le pancréas, le 3^{ème} duodénum et les anses digestives.

2.1 Branches collatérales :

Les branches collatérales de l'aorte se divisent en trois groupes:

- A. - Les artères pariétales :
 - Artères phréniques inférieurs.
 - Les artères lombaires.

- B. - Les artères uro-génitales rétro-péritonéales :
 - Les artères rénales.
 - Les artères surrénales.
 - Les artères gonadiques.

- C. - Les artères viscérales intra-péritonéales :
 - Le tronc artériel cœliaque.
 - L'artère mésentérique supérieure.
 - L'artère mésentérique inférieure.

2.2 Branches terminales :

L'aorte abdominale se divise en 3 branches au niveau de (L4), une médiale : artère sacrale médiane et deux artères iliaques communes droite et gauche (Figure 1 ; 2).

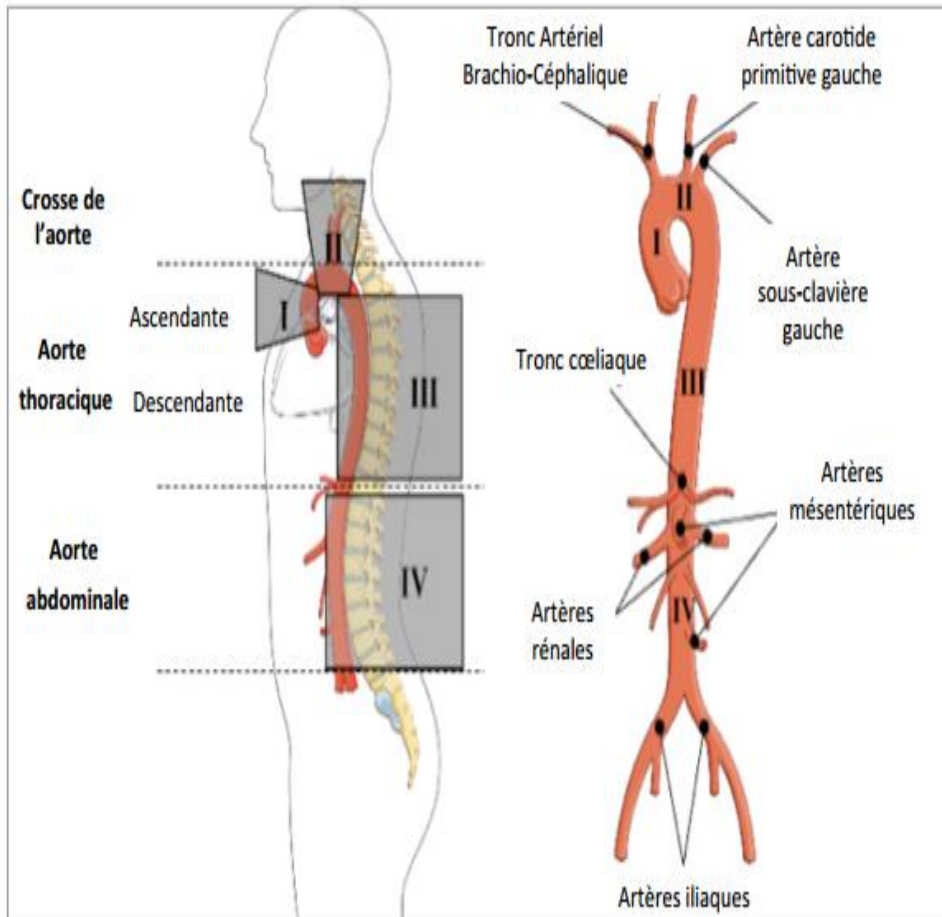


Figure 01 : Les segments aortiques et leurs collatérales.

- I : l'aorte thoracique ascendante,
- II : la crosse aortique,
- III : l'aorte thoracique descendante,
- IV: l'aorte abdominale.

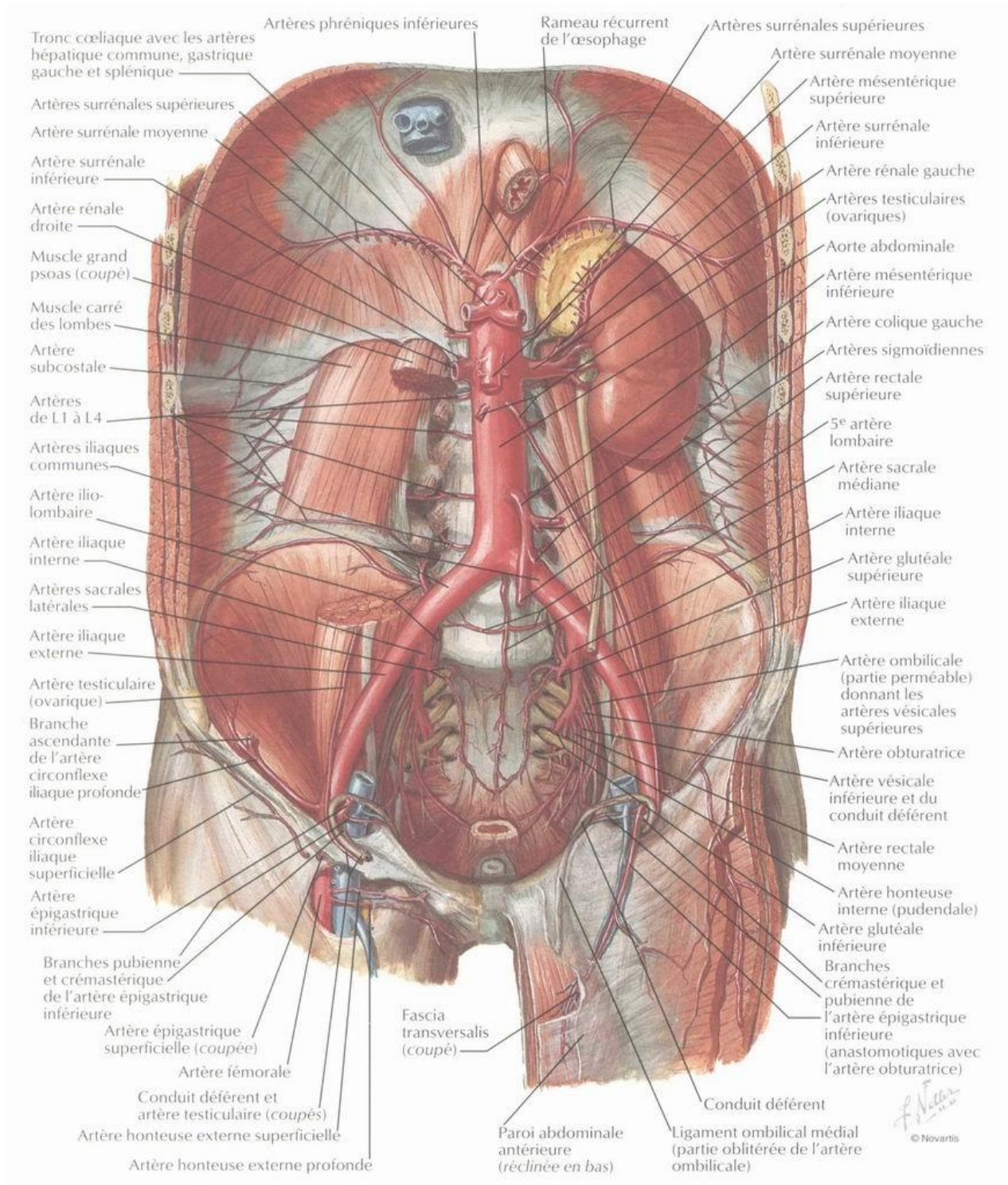


Figure 02 : Anatomie de l'aorte abdominale (Atlas d'anatomie humaine F.Netter) .

3 Histologie de la paroi aortique :

D'un point de vue histologique, l'aorte est une artère de type élastique organisée en 3 tuniques concentriques de l'intérieur à l'extérieur :

- l'intima ;
- la média, responsable de l'essentiel de l'épaisseur de la paroi ;
- L'adventice (Figure 3 ; 4).

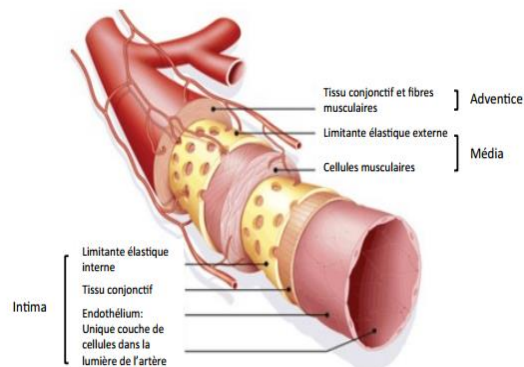


Figure 03 : Structure de la paroi d'une artère.

Trois couches de tissus composent la paroi artérielle : l'intima, la média et l'adventice. Issue de Sanofi-aventis.

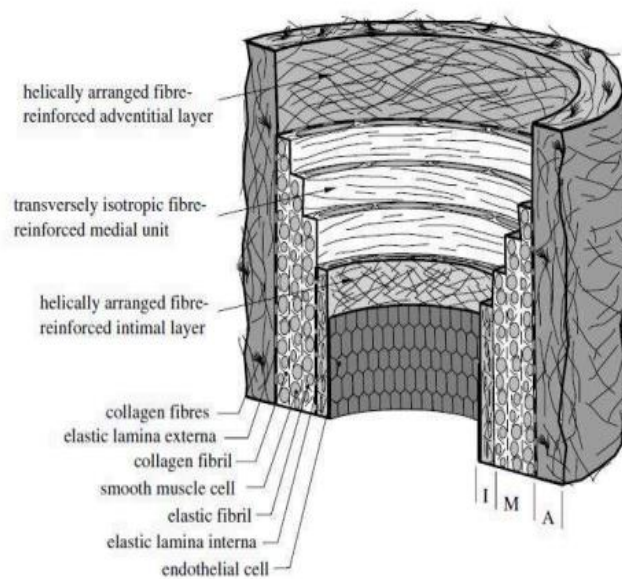


Figure 04 : Schéma idéalisé de l'histologie d'une artère élastique saine [17].

3.1 Intima :

Tunique fine, composée d'une monocouche continue de cellules endothéliales reposant sur leur membrane basale et plus en profondeur sur une couche sous-endothéliale acellulaire. Séparée de la média par une lame élastique, la limitante élastique interne [18].

3.2 Média :

C'est la tunique la plus épaisse de la paroi, elle ne contient qu'un seul type cellulaire: les cellules musculaires lisses (CML), entourées par les macromolécules de la matrice extracellulaire (MEC).

La MEC est composée par les fibres élastiques, les fibres de collagène, les glycoprotéines de structure et les protéoglycanes qui donnent la solidité du tissu.

Les CML et la MEC sont organisés en unités lamellaires décrites en 1967 par Wolinsky et Glagov [19].

Ces unités lamellaires sont centrées par une CML entourée par des macromolécules matricielles constituées de collagènes fibrillaires principalement, et limitée de part et d'autre par des fibres élastiques.

Ces unités élémentaires s'empilent en couches concentriques, la CML étant axée perpendiculairement au flux sanguin. L'épaisseur de la média résulte du nombre d'unités lamellaires, d'environ 60 unités au niveau de l'aorte thoracique ascendante et de 30 au niveau de la terminaison aortique.

L'épaisseur de chaque lamelle varie également en fonction de la localisation, d'environ 17 μm pour l'aorte thoracique et de 28 μm pour l'aorte abdominale [20].

Les fibres élastiques sont ordonnées en lames concentriques parallèles à la surface des vaisseaux. Elles assurent la fonction élastique de la paroi aortique.

Une mutation dans le gène de l'élastine situé sur le chromosome 7 conduit à la formation de fibres élastiques défectueuses. Chez l'homme, cette mutation hétérozygote est responsable du syndrome de Williams Beuren caractérisé par des malformations cardiovasculaires comme une sténose aortique supra-avalvulaire, une sténose de l'artère pulmonaire ou des artères rénales, une autre pathologie du tissu élastique, la maladie de Marfan, est elle aussi liée à une mutation dans le gène de la fibrilline-1 [21]. (Figure 5 ; 6)

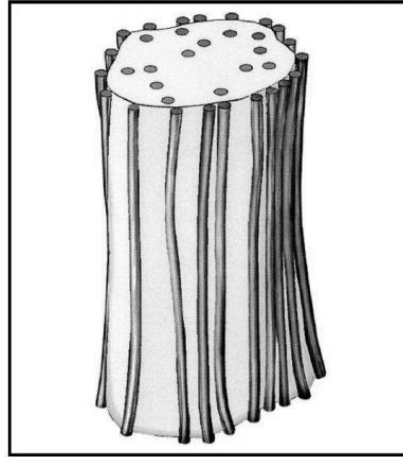


Figure 05. Représentation schématique d'une fibre d'élastine avec des microfibrilles à l'intérieur et autour d'un centre composé d'élastine. [22].

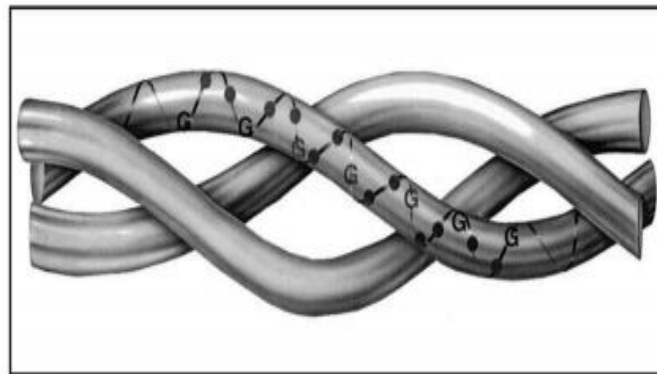


Figure 06. Vue d'une fibre de collagène montrant les chaînes alpha enroulées en triple hélice.

A l'intérieur de chaque chaîne, les acides aminés principalement représentés par la glycine sont également arrangés en triple hélice. [22].

3.3 Adventice :

C'est la tunique la plus externe de la paroi artérielle, située contre la média dont elle est séparée par la limitante élastique externe, entourée par la graisse péri-artérielle.

Riche en collagènes fibrillaires associés à quelques amas de CML et des fibroblastes, elle contient des nerfs et des micro vaisseaux, les « vasa vasorum » qui jouent un rôle nourricier.

Elle joue un rôle mécanique en supportant les déformations extrêmes et agit comme un filet de sécurité en cas de rupture intimo-médiale, comme c'est le cas dans les dissections aortiques [23].

4 Anévrisme de l'aorte abdominale sous rénale

4.1 Historique :

Les anévrismes artériels auraient été décrits depuis l'antiquité comme des renflements des conduits raccordant le cœur au corps comme retrouvé dans les écrits de l'Égypte antique ou le papyrus Ebers rédigé en 1500 av .J.C , Andreas Vesalius (1514-1564) dit Andrés Vésale en français, médecin du moyen âge fut le premier à décrire un anévrisme artériel en 1557. [24].

Rufus d'Éphèse (110-180 av J.C) puis Galien (129-201 av J.C) médecin chef des gladiateurs, ont décrit les anévrismes sacculaires externes, post traumatiques résultant le plus souvent des saignées ratées [24].

J.F.Fernel (1497-1558) professeur à l'université de la Sorbonne fut le premier à décrire les anévrismes de l'aorte et de ses principales branches, ce phénomène principalement localisé au niveau de l'aorte thoracique et particulièrement au niveau de la crosse aortique est selon lui dû à une dilatation des différentes couches de la paroi artérielle [25] [26]. « Réflexion et observations anatomico-chirurgicale sur l'anévrisme » un livre d'Antonio Scarpa (1752-1832) dans lequel il rapporte les résultats de ses importantes recherches sur les anévrismes et il démontre alors pour la première fois que l'anévrisme n'est pas une simple dilatation d'une artère, mais qu'il est le résultat de modification des tuniques vasculaires. Il est le premier à décrire de façon détaillée avec dessin à l'appui les lésions athéromateuses et évoque une origine interne à évolution lente mais c'est qu'en 1904 que Marchand invente le terme d'athérosclérose qui reflète la dualité lésionnelle, athéromateuse et scléreuse, de la maladie [25] [26].

La plupart des descriptions ont concerné l'anévrisme de l'aorte thoracique. Ce n'est qu'au XX^{ème} siècle que l'incidence de nouveaux anévrismes aortiques abdominaux fusiformes, de situation sous rénale commence à croître, et l'athérome est le principal responsable de leur formation selon Rudolf Matas (1860-1957) père américain de la pathologie vasculaire [25] [24].

les autres étiologies impliquées après l'athérosclérose qui ont été décrites dans la deuxième moitié du XX^{ème} siècle sont : la dissection aortique, les anévrismes post traumatique ,les anévrismes sur maladie héréditaire du tissu conjonctif (Marfan, Ehlers-Danlos type IV), les anévrismes infectieux par greffe bactérienne sur aorte saine ou malade

par bactériémie (par contiguïté ou par cathétérisme) ainsi que les anévrismes sur artérite inflammatoire chez l'enfant et les anévrismes secondaires à la syphilis [24].

La première chirurgie d'un anévrisme de l'aorte abdominale avec mise en place d'une allogreffe fut réalisée pour la première fois à Paris en 1951 par Charles Dubost [27] [28].

Depuis 1990 les sociétés savantes s'intéressent au dépistage des anévrismes aortiques abdominaux qui sont d'évolution fatale à cause de leur caractère asymptomatique jusqu'à leur rupture [24]. Les premières endoprothèses aortiques étaient réalisées simultanément par Voldos et Parodi en 1991 [27] , [28]. (Figure 7 ; 8).

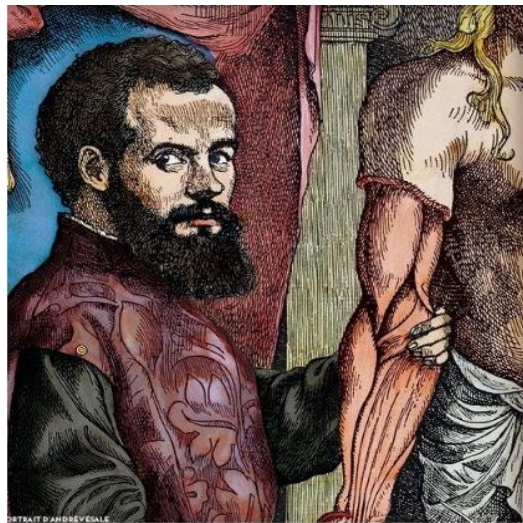


Figure 07 : Portrait d'Andrés Vésale qui fut le premier médecin à décrire un anévrisme artériel en 1557(Biesbrouck M,Steen O. andreas vesalius'corpses.:18).



Figure 08 : Schéma anatomique de l'aorte descendante et ses branches (aorta magna selon les plaques de l'épitomé de de humani corporis fabricia de vesale).

4.2 Définition :

Le terme «anévrisme» désigne une «augmentation localisée du diamètre artériel avec une perte permanente du parallélisme de la paroi des artères [4].

Une aorte abdominale est anévrismale quand son diamètre est supérieur à 30 mm ou à 1,5 fois le diamètre normal ou diamètre d'amont et d'après selon la Haute autorité de santé Française (HAS), la Société Française de Médecine Vasculaire et l'European Society of Cardiology [5], [6].

Il existe deux types d'anévrismes selon leurs formes : les anévrismes fusiformes, où toute la circonférence de l'artère est concernée, et les anévrismes sacciformes, où seulement une partie du périmètre artériel est concernée.

Cette définition permet de différencier un AAA d'une arteriomégalie qui est un élargissement diffus atteignant plusieurs territoires artériels avec un diamètre de plus de 50 % du diamètre artériel attendu, ainsi que d'une ectasie qui est une dilatation de l'aorte de moins de 50% par rapport au diamètre normal [29].

Les « pseudo-anévrismes » ou anévrismes disséquant, résultent d'une dissection secondaire à un traumatisme causant la rupture de l'intima et de la média de la paroi vasculaire, laissant ainsi le sang s'infiltrer et former une poche artificielle entourée de fibrose. (Figure 9).

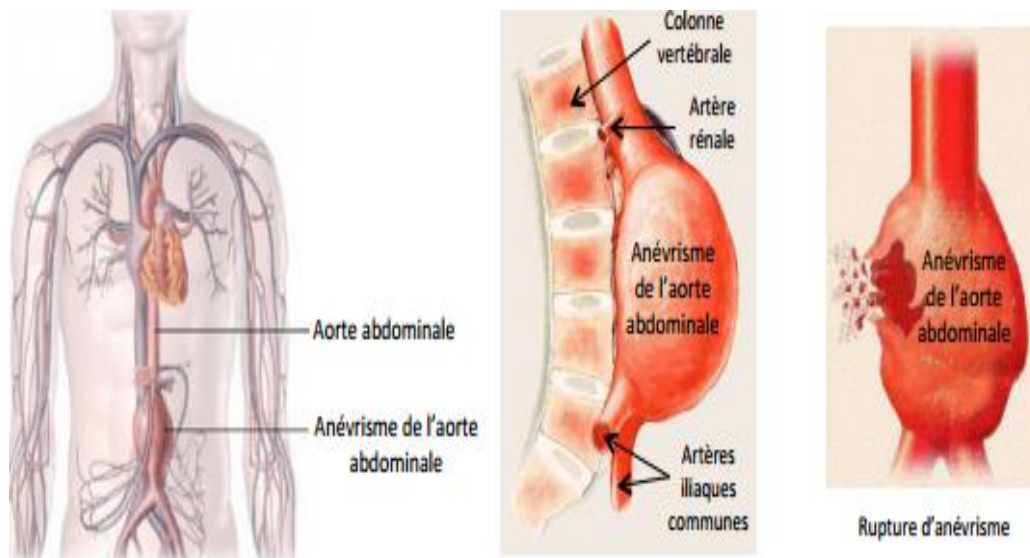


Figure 09: Représentation d'un anévrisme de l'aorte abdominale. Adapté de www.crlsurgical.com.

4.3 Epidémiologie :

4.3.1 Prévalence :

La prévalence des AAAs dans divers pays européens et aux États-Unis se situe à environ 6.5 (entre 4.2 et 8.8 chez les hommes) et à environ 1 (entre 0.6 et 1.4) chez les femmes de plus de 50 ans [24] [30].

Au Maroc une étude réalisée par Oualim retrouve une prévalence de l'AAAs à 3.5 % dans une population de 300 patients ayant au moins un facteur de risque cardio vasculaire [31].

En Algérie Bouferrouk a rapporté une prévalence de 4.6 % en 2015 sur une population de 674 patients âgés de plus de 60 ans [24].

Ourab a rapporté une prévalence Algérienne à 2.2% dans un travail publié en 2018 sur une population de 600 patients âgés de plus de 60 ans ayant subi une échographie abdominale quelque soit le motif [24].

Mérghit a rapporté une prévalence Algérienne de l'AAAs à 4.7% en 2019 dans un travail sur une population de 300 coronariens [32].

4.3.2 Facteurs de risques :

Les principaux facteurs de risque de développement des AAAs sont le tabagisme, l'hypertension, l'âge avancé, le sexe masculin, l'athérosclérose, la dyslipidémie, les antécédents familiaux positifs [33]. Dans le cas d'un anévrisme de l'aorte thoracique, les données génétiques peuvent être utilisées pour identifier certains individus à risque. Dans le cas d'un AAAs, le rôle des facteurs génétiques est moindre que dans le cas des anévrismes de l'aorte thoracique [34].

Le syndrome de Marfan et le syndrome d'Ehlers-Danlos ont également été fortement associés aux AAAs.

Les autres causes du développement des AAAs comprennent les traumatismes, les infections et l'artérite.

De nombreux éléments de preuve montrent que le tabagisme est le prédicteur majeur et le plus puissant de la prévalence, de la croissance et des taux de rupture des AAAs.

Ceci est directement lié au nombre d'années de tabagisme et diminue avec le nombre d'années après l'arrêt du tabagisme. Le risque de développer un AAA est particulièrement élevé chez les personnes qui fument plus de 20 cigarettes par jour depuis de nombreuses années [35], [36].

L'apparition et le développement de l'AAA sont affectés par de nombreux facteurs, y compris l'âge, le sexe, les antécédents de tabagisme, la tension artérielle, la glycémie et autres. L'hypertension, le diabète et l'hyperlipidémie sont des comorbidités avec une incidence élevée d'AAA en Chine [37].

Bien que les troubles du tissu conjonctif [38] ; la maladie d'Alport [39] ; la maladie polykystique des reins de l'adulte [40] et la grossesse [41] ont été proposés comme facteurs de risque de AAA, le mécanisme physiopathologique précis reste incertain. Nous pensons que l'hypertension, le diabète et l'hyperlipidémie peuvent affecter l'apparition et le développement des AAA, mais d'autres études sont nécessaires pour explorer davantage les mécanismes [42].

Sexe :

Dans une vaste étude transversale publiée en février 2020 (1,5 million de femmes et 0,8 million d'hommes), il a été montré que, chez les femmes de moins de 75 ans, le risque d'AAA est beaucoup plus élevé que ce que les études précédentes l'avaient indiqué.

Comparativement au fait de ne jamais fumer, le tabagisme actuel était associé à un risque d'AAA 15 fois plus élevé chez les femmes et à un risque 7 fois plus élevé chez les hommes. Chaque indice de masse corporelle (IMC) plus élevé de 4,0 kg / m² était associé à un risque plus élevé de 14% d'AAA et était similaire chez les hommes et les femmes. Chaque tension artérielle systolique plus élevée que 12,9 mmHg était associée à un risque plus élevé de 22 % et celui-ci était un peu plus élevé chez les femmes que chez les hommes [43].

En conclusion, malgré la faible prévalence de l'anévrisme de l'aorte chez les femmes en général, cette étude a identifié des facteurs de risque spécifiques qui augmentent la probabilité de la maladie anévrismale dans des sous-groupes de femmes.

Celles-ci comprennent l'augmentation de l'âge (65 ans), l'usage du tabac et les maladies cardiovasculaires [44].

La prévalence chez les hommes est de 4 à 6 fois plus que chez les femmes [45].

L'Hypertension artérielle :

Les modifications de la structure de la paroi vasculaire conduit à l'incidence de l'hypertension artérielle. Les problèmes vasculaires tels que l'altération de la fonction des cellules endothéliales et l'altération de l'élasticité aortique découverts simultanément dans la pathogenèse de l'hypertension artérielle et des AAAs suggèrent que leurs mécanismes sont étroitement liés. Pour identifier les facteurs de risque d'AAAs, Li et coll, ont collecté des données sur des patients porteurs d'AAAs de différents centres et ont constaté que l'hypertension est un facteur de risque d'AAAs dans les populations européennes [46].

De même, l'analyse statistique effectuée par Comzu et coll. a également constaté que l'incidence des AAAs est plus élevée chez les personnes hypertendues que chez la population générale [47].

Sur la base de ces études, nous supposons que l'hypertension est un facteur de risque d'AAAs. On pense actuellement que le mécanisme principal doit être une pression pulsée élevée chez les patients souffrant d'hypertension causant des fluctuations continues de la pression sanguine et des changements dans la teneur en fibres d'élastine et de collagène dans les parois des vaisseaux et les cellules musculaires lisses, ce qui entraîne une augmentation du risque d'AAAs.

Bien que la plupart des gens croient que l'hypertension est un facteur de risque de formation d'AAAs, la controverse persiste quant à savoir si l'hypertension peut provoquer l'expansion du sac anévrysmal. Schlosser et coll, ont effectué un suivi étude de 230 patients AAAs pendant 10 ans et ont divisé la population d'hypertendus en 2 groupes par pression artérielle (plus de 165/95 mmHg et 140/80 à 165/95 mmHg). La conclusion était que l'hypertension n'a rien à voir avec l'expansion des AAAs [48].

D'un autre côté, Shiraya et coll ont trouvé un degré significativement plus élevé de dilatation artérielle chez les hypertendus que dans le groupe témoin dans un modèle appliqué sur des souris [49].

Ils ont révélé que l'expression du facteur nucléaire-kappa bêta et Ets, est augmenté dans les modèles de souris hypertendus, ce qui a favorisé la réponse inflammatoire, l'augmentation de l'activité de la métalloprotéinase matricielle (MMP) et a finalement accéléré l'expansion AAAs [49].

En raison de la différence entre le modèle humain et animal, il n'est pas encore possible de comparer si ces deux conclusions sont contradictoires, il n'y a pas de vue unifiée sur la question.

Hisato et coll ont démontré récemment que les facteurs de risque de développement d'un AAA ne sont pas strictement identiques aux facteurs de risque de sa rupture [50].

Il a été réalisé une méta-analyse de la relation entre l'hypertension et l'AAAs, dont plus de 500 études avec plus de 6600 patients. Ils ont conclu que l'hypertension était liée à la survenue d'un AAAs, mais pas son expansion [51].

Par conséquent, la controverse persiste sur le rôle de l'hypertension pour faciliter l'expansion des AAAs [52], [53], [54].

À l'avenir, d'autres études expérimentales sont nécessaires pour explorer cet aspect. Enfin, concernant la rupture des AAAs, la plupart des chercheurs pensent que l'hypertension est un facteur de risque, avec de nombreuses preuves épidémiologiques.

Cependant, en raison de la taille limitée de l'échantillon et d'autres facteurs, des études dans ce domaine sont encore nécessaires.

Athérosclérose :

L'athérosclérose constitue la cause presque exclusive de ces anévrismes 95% des cas.

L'aorte abdominale sous rénale représente la localisation d'élection 80% des cas des anévrismes athéromateux [29].

Diabète :

Le diabète est un syndrome métabolique courant qui peut provoquer des troubles de la microcirculation et des épaissements de la membrane basale microvasculaire, entraînant éventuellement des complications, y compris la néphropathie diabétique, rétinopathie et pied diabétique.

Étant donné que l'incidence d'autres événements athéroscléreux chez les patients diabétiques est également plus élevée que ceux de la population normale, de nombreux chercheurs pensent que le diabète est un facteur de risque d'athérosclérose ; ainsi, les premiers points de vue suggéraient que le diabète était également un facteur de risque d'AAAs.

Certaines études cliniques récentes rapportent que le diabète n'est pas un facteur de risque d'AAAs mais un élément protecteur.

Lederle et coll. ont d'abord proposés que le diabète puisse protéger contre la constitution des AAAs de différentes manières après avoir effectué une analyse transversale dans une étude portant sur 73 945 patients en 1997 [56].

Dattani et coll. ont également signalé que le diamètre du sac anévrysmal des patients diabétiques augmente plus lentement que dans la population générale [57].

Sweeting et coll ont effectué une méta-analyse sur 15475 patients et ont constaté que le taux de croissance des AAAs chez les patients diabétiques a été réduit de 0,51 mm/an par rapport aux patients non diabétiques [58].

Par conséquent, le diabète peut exercer un effet protecteur contre le développement des AAAs.

Concernant son mécanisme, les deux principales perspectives sont les effets de l'hyperglycémie et des hypoglycémiantes sur les AAAs des patients. Ce qui suit est l'élaboration de ces deux aspects.

Certains auteurs suggèrent que le diabète peut protéger contre l'anévrisme pendant que d'autres enregistrent la faible croissance de l'anévrisme chez les diabétiques [59], [60].

Hyperlipidémie :

L'hyperlipidémie ou dyslipidémie, peut conduire à l'athérosclérose, ce qui peut entraîner des troubles cardiovasculaires telles que les maladies coronariennes.

Par conséquent, l'hyperlipidémie est souvent considérée comme un facteur de risque d'AAAs. Wanhainen et coll, ont suggéré que le niveau de triglycérides était significativement lié à l'AAAs et que les taux de triglycérides dans les populations atteintes d'AAAs étaient plus élevés que ceux des populations normales [60].

De même, après avoir collecté des informations pour de nombreux patients, Forsdahl et coll, ont trouvé que le cholestérol était aussi positivement corrélé avec l'incidence des AAAs [61].

Le mécanisme spécifique a deux explications possibles, la première suggère une grande quantité de cristaux de cholestérol qui se déposent dans la couche intimale des vaisseaux sanguins, endommageant l'endothélium du système vasculaire, favorisant des réactions inflammatoires, provoquant sa dégénérescence, et finalement provoquant l'apparition et le développement d'AAAs [62].

La deuxième suggère que le métabolisme du cholestérol conduit directement à l'apparition d'AAAs, mais aucune preuve expérimentale claire n'a été montrée [63].

Une autre hypothèse rapporte que la plupart des lipides peuvent favoriser la sécrétion de facteurs inflammatoires par les cellules endothéliales et favorisent la réponse inflammatoire, entraînant des lésions endothéliales vasculaires et l'athérosclérose [64].

Au même temps, la réponse inflammatoire peut aggraver les troubles du métabolisme des lipides. Le cercle vicieux entre les deux événements provoque finalement l'apparition et le développement d'un AAA [65-66].

On pense également que les lipoprotéines sont significativement corrélées avec l'apparition et le développement des AAA [67].

Les effets physiologiques pertinents des lipoprotéines n'ont pas encore été clarifiés, mais les recherches existantes suggèrent que la lipoprotéine(a) joue un rôle important dans l'athérosclérose et thrombose [67]. Takagi et coll ont mené une méta-analyse et ont rapporté que la teneur en lipoprotéines (a) dans la population atteinte d'AAA était plus élevée que celle dans la population générale, suggérant que la lipoprotéine (a) est un facteur incriminé potentiel et dont le taux sanguin pourrait être une base diagnostique d'AAA [68].

Certains chercheurs ont rapporté que la lipoprotéine (a) peut favoriser l'apparition d'AAA en inhibant la fibrinolyse et en favorisant la réponse inflammatoire et thrombose. Cependant, en raison de la composition complexe des lipoprotéines, les voies et fonctions spécifiques d'autres lipoprotéines restent à élucider.

En résumé, la recherche actuelle suggère que la dyslipidémie affecte principalement la réponse de l'inflammation vasculaire et que la réduction de la réponse inflammatoire chez les patients atteints d'hyperlipidémie pourrait jouer un rôle en diminuant l'incidence des AAA. De plus, certains chercheurs ont étudié les personnes qui prenaient des statines et ont suggéré que l'utilisation à long terme des statines peut réduire le développement de l'AAA et avoir un effet positif sur les résultats de l'EVAR pour les patients [69].

Dans l'ensemble, la survenue et le développement de l'AAA sont affectés par de nombreux facteurs, la pression artérielle, la glycémie et les lipides sanguins peuvent jouer des rôles différents. Bien qu'il y ait eu de nombreuses études dans ce domaine, beaucoup de travail est nécessaire à l'avenir.

Les facteurs de risque de développement des AAA sont le sexe masculin, le tabagisme actif ou le tabagisme passif, l'hypertension, l'inflammation de la paroi aortique et l'athérosclérose.

Les facteurs de risque de rupture des AAAs sont le sexe féminin, la pression artérielle moyenne, le tabagisme actif ou passif, la réduction du volume expiratoire forcé en une seconde (VEMS) et le diamètre de l'anévrisme supérieur à 5,0 cm.

Shalhoub et coll., ont donné une attention particulière qui doit être portée non seulement au traitement des facteurs de risques classiques telle que l'hypertension et l'hyperlipidémie, mais également à la surveillance de biomarqueurs sélectionnés [70].

Des biomarqueurs tels que la numération des globules blancs, le fibrinogène, les D-dimères, la troponine T, le peptide natriurétique pro-cerveau N-terminal et la protéine C réactive peuvent également être utiles dans l'évaluation du risque AAAs.

Ces biomarqueurs sont un signal précoce du développement de l'inflammation et du stress oxydatif. Ces changements perturbent la fonction normale de la paroi vasculaire, ce qui peut favoriser le développement d'anévrismes à l'avenir. L'étude Atherosclerosis Risk in Communities (ARIC) a montré que des concentrations plus élevées de ces biomarqueurs étaient associées à un risque accru d'AAAs [71].

Facteurs génétiques :

Le risque de développer un anévrisme de l'aorte abdominale sous rénale est six fois plus élevé chez les parents au premier degré d'un malade porteur d'anévrisme selon Johansen. L'augmentation de la fréquence des anévrismes de l'aorte abdominale sous rénale, a été constatée chez des malades atteints d'hypercholestérolémies familiales.

Le groupe sanguin 'O' serait également plus fréquemment rencontré chez les porteurs d'anévrismes de l'aorte abdominale sous rénale [72].

Facteurs mécaniques :

Le stress pariétal exercé sur l'aorte dépend en fait, non seulement de la tension élevée, mais également du pouvoir de sa paroi à résister à cette tension, c'est à dire de son épaisseur et de la qualité de la paroi. Histologiquement l'aorte abdominale contient plus de collagène et moins d'élastine que l'aorte thoracique, ce qui la rend plus rigide, et moins distensible [72].

4.3.3 Etiologies :

L'athérosclérose constitue la cause presque exclusive de ces anévrismes dans 95% des cas. L'aorte abdominale sous rénale représente la localisation d'élection dans 80% des cas des anévrismes athéromateux. Le reste (5%) résultant de l'évolution de maladies héréditaires du tissu conjonctif (Syndrome de Marfan, maladie d'Ehler-Danlos...), les artérites inflammatoires (maladie de Behçet, de Takayasu...), l'origine traumatique, les dissections [30].

Plus rarement l'existence d'une fièvre ou de certains traits de l'AAAs (anévrisme sacciforme) doivent faire évoquer la nature infectieuse de l'anévrisme, souvent la lésion anévrismale découverte) à distance de l'épisode infectieux initial [73].

4.3.4 Dépistage :

La problématique avec les anévrismes de l'aorte abdominale est de pouvoir agir avant leur rupture en les identifiant et en définissant à quel moment les traiter au cours de leur évolution [74], [75].

Un programme de dépistage doit être mis en œuvre de façon à intervenir le plus précocement possible par rapport à l'évolution des anévrismes de l'aorte abdominale [76].

Les premiers programmes de dépistage étaient dédiés aux hommes âgés fumeurs et hypertendus.

Au cours des années suivantes, des programmes de dépistage pour les femmes plus âgées ont également été menés [77].

Les plus grands programmes de dépistage concernant les AAA sont le Multicentre Aneurysm Screening Study (MASS) (n = 67 800) [78]. Le Viborg County, Danemark, l'essai de dépistage (n = 12 639) [79]. Le Chichester, Royaume-Uni, l'essai de dépistage (n = 15 382) l'essai de dépistage de l'Australie-Occidentale (n = 38 480) [80], et le programme de dépistage du Regional Veterans Affairs Health Care System (n = 6 142) [77].

Sur la base de l'analyse des résultats des programmes de dépistage publiés en 2019, les lignes directrices de décembre de l'US Preventive Services Task Force ne recommandent pas le dépistage systématique des hommes et des femmes n'ayant jamais fumé de cigarettes [81].

En 2013 la HAS préconise la mise en place d'un dépistage ciblé opportuniste unique par écho-doppler chez les personnes à risque. Le médecin le proposerait ainsi une fois aux

hommes entre 65 et 75 ans fumeurs ou ayant été fumeurs ainsi qu'aux hommes entre 50 et 75 ans présentant des antécédents familiaux lors d'un recours aux soins, à l'occasion d'une hospitalisation ou d'une consultation médicale par exemple. Il n'est réalisé qu'une seule fois et n'a pas vocation à être réitéré [82].

Le dépistage d'un anévrisme de l'aorte abdominale sous-rénale doit se faire par échographie-doppler, un examen rapide, non invasif et performant qui permet également de rechercher des anévrismes iliaques, fémoraux ou poplités pouvant être associés à l'AAA, Elle précise la taille du sac anévrisimal, la présence d'un collet et le diamètre des artères iliaques. Elle suffit à la surveillance de petits anévrismes. Dès que l'indication opératoire devient discutable, une imagerie en coupes est nécessaire [30] [82].

La mesure du diamètre antéro-postérieur dans un plan de coupe sagittal offre la meilleure reproductibilité [83]. Plusieurs méthodes de mesure sont décrites dans la littérature :

- Outer to outer edge (OTO) ;
- Inner to inner edge (ITI) ;
- Leading edge to leading edge (LTL).

L'échographie a tendance à sous-estimer la taille de l'aorte par rapport au scanner, et la méthode ITI engendre aussi la plus grande sous-estimation (4-5 mm en moyenne) [83] [84].

Les méthodes LTL et ITI comparées à la méthode OTO montrent une meilleure reproductibilité inter-observateur selon différentes études [85], [86]. (Figure 10).

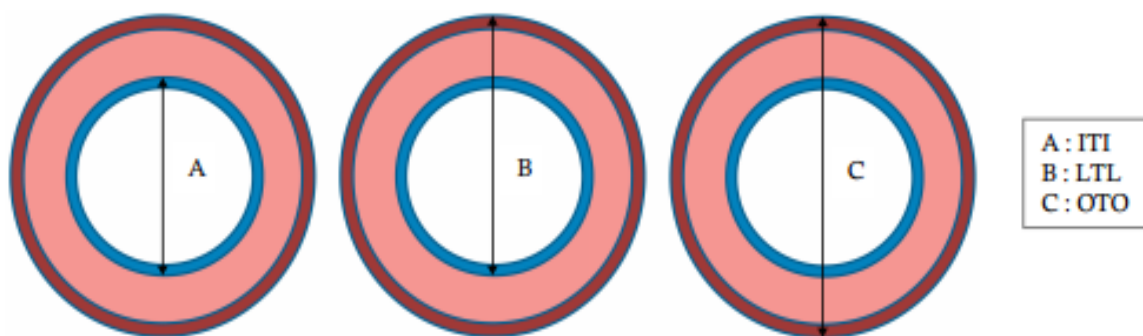


Figure 10 : Différentes méthodes de mesure d'un AAA [84].

4.4 Histoire naturelle, évolution et complications :

L'évolution naturelle de l'AAA est l'expansion avec l'augmentation en diamètre

Car selon la loi de Laplace : $T = P \cdot D / 2 \cdot e$.

Plus le diamètre (D) est grand, plus la tension pariétale(T) qui s'exerce sur les parois est importante (à pression P et à épaisseur e constante) : donc plus l'anévrisme se dilate.

Un anévrisme ne peut donc évoluer qu'en se dilatant...

L'hypertension artérielle favorise bien entendu le phénomène (augmentation de P).

La vitesse de croissance est une variable qui dépend de plusieurs paramètres : de la taille de l'AAA, du terrain de dystrophie artérielle (facteurs génétiques, artériomégalie) et des FdRCV.

La croissance de l'AAA à l'échelle individuelle est non-linéaire, imprévisible, cependant à l'échelon d'une population la croissance des AAA est plutôt de type exponentiel, d'autant plus fort que le diamètre initial est plus grand [87], [88].

Selon deux études concordantes [89] ; [90], les taux moyens de croissance annuelle sont de l'ordre de (Tableau N°1) :

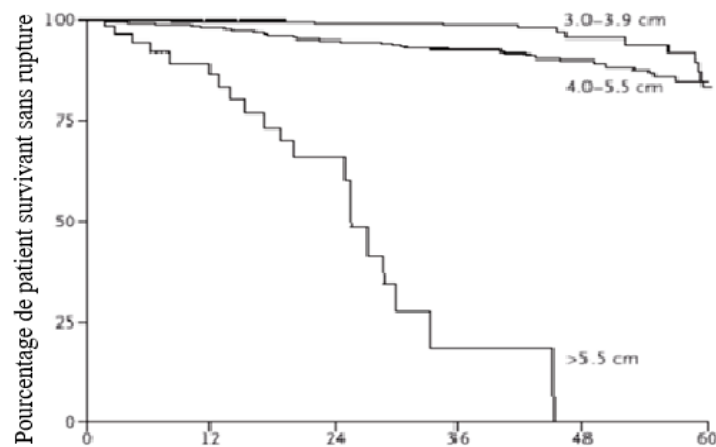
- 2 mm pour AAA de 30-34 mm AP
- 3 mm pour AAA de 35-39 mm AP,
- 4-4,5 mm pour AAA de 40-44 mm AP
- 5-5,5 mm pour les AAA de 45-49 mm AP.

Tableau N° 1 Croissance annuelle moyenne des AAA en fonction du diamètre AP initial [91], [92].

Diamètre AP initial (mm)	Lindholt		Vega de Cinéga		% âge atteignant 50 mm délai moyen (± 1 ds)	
	Nombre de sujets	Croissance/an moyenne (± 1 ds)	Nombre de sujets	Croissance/an moyenne (± 1 ds)		
25-29	48	0,7 mm (1.0)	/	/		
30-34	86	2,0 mm (3.5)	155	1,7 mm (2.4)	9%	22 mois (20)
35-39	34	3,2 mm (3.5)	91	2,8 mm (4.2)	24%	
40-44	24	4,2 mm (3.0)	62	4,5 mm (5.4)	63%	50 mois (22)
45-49	7	5,3 mm (2.0)	44	5,0 mm (6.7)	75%	

- La principale complication et la plus redoutée, est la rupture.
- Le diamètre AP de l'AAA est le principal FdR de rupture.

- Le seuil de 55 mm de diamètre AP apparaît comme particulièrement significatif [87]. (Figure N°11).



Nombre de mois sans rupture depuis la première mesure de l'AAA.

Figure 11: Risque de rupture des AAAs en fonction de la taille du diamètre antéro-postérieur Powell JT 2003 [87].

De nombreuses études ont été consacrées au risque de rupture en fonction du diamètre de l'AAAs.

The American association for vascular surgery and society for vascular surgery a proposé une synthèse [93] selon laquelle le risque annuel de rupture est [Tableau N°2]:

- Inférieur à 0,5% pour les AAAs de moins de 40 mm ;
- 0,5 à 5% pour les AAAs de 40-49 mm
- 3 à 15% pour les AAAs de 50-59 mm
- 10 à 20% pour les AAAs de 60-69 mm
- 20 à 40% pour les AAAs de 70-79 mm
- 30 à 50% pour les AAAs >80 mm

Ainsi, le risque de rupture croît avec le diamètre AP de l'AAAs et va également déterminer la prise en charge :

- Pour les AAAs <40 mm, le risque de rupture est faible et inférieur au risque opératoire, le traitement est médical.
- Pour les AAAs de 40 à 55 mm, le risque de rupture est plus important et se discute face au risque opératoire, le bénéfice chirurgical n'est pas prouvé à 5 et 8 ans [94], [95].
- Pour les AAAs >55 mm, le risque de rupture est élevé et supérieur au risque opératoire, le bénéfice chirurgical est reconnu [87].

La vitesse de croissance, la forme et la structure du matériel sédimentaire de l'AAAs interviennent vraisemblablement dans l'évaluation du risque de la rupture [96].

Une croissance supérieure à 6 mm par an, une forme sacciforme ou plus encore les AAAs très excentriques, la présence d'ectasies très localisées de la paroi (cloque, bulle, ou bleb), la structure du thrombus, l'hétérogénéité du matériel intra anévrisimal témoigne d'un AAA à plus haut risque de rupture [96].

Les autres FdR de rupture sont liés aux patients. Il existe d'une part des facteurs modifiables comme une poursuite du tabagisme, une bronchopneumopathie obstructive sévère ou une hypertension artérielle non ou mal contrôlée [96].

Le tabagisme est le facteur de croissance le plus rapide [97]. Il existe d'autre part des facteurs non modifiables comme les antécédents familiaux d'AAAs et les sexes féminins.

La femme étant moins exposée au risque de survenue d'un AAAs mais la croissance des AAAs serait plus rapide à partir de 40 mm et leur risque de rupture serait plus élevé que chez l'homme [98].

Tableau 02 : Risque de rupture anévrismale selon le diamètre AP selon la société américaine de chirurgie vasculaire [99].

Diamètre de l'AAAr (mm)	Risque de rupture (%/an)
amirecan association for vascular surgery	
<40	0
40-50	0,5-5
50-60	3-15
60-70	10-20
70-80	20-40
>80	30-50
Veterans affairs cooperative study	
55-59	9,4
60-69	10,2
65-69	19,1
>70	32,5

Les autres complications sont les accidents thromboemboliques et la compression des organes de voisinage.

Les complications thromboemboliques sont rares malgré l'importance des thrombus intra anévrismaux, un fragment de ce thrombus peut se mobiliser dans la circulation et se bloquer au niveau de la bifurcation artérielle, entraînant une ischémie aigue d'un membre inférieur. Le traitement de l'ischémie aigue prime et le bilan étiologique permet la découverte de l'anévrisme.

Exceptionnellement, la thrombose anévrismale se complète et devient totale donnant le tableau du syndrome de Leriche avec ischémie bilatérale des membres inférieurs et impuissance, la gravité du syndrome dépend de l'existence ou non une circulation collatérale [100].

4.5 Physiopathologie :

L'anévrisme de l'aorte abdominale est une maladie dégénérative de la paroi aortique qui résulte de la perte des éléments structuraux fondamentaux (élastine et collagène) de la média occasionnant un remodelage et un amincissement de la paroi aortique,

Ce remodelage est responsable d'une augmentation du diamètre de l'aorte, par perte de l'équilibre entre les contraintes pariétales et les forces de résistances de la paroi aortique.

De nombreux facteurs étiologiques des AAAs ont été proposés, la dilatation de l'anévrisme résulte schématiquement de la perte de la résistance de la paroi aortique à l'étirement. Cette situation met en jeu la faillite des fibres élastiques et des fibres collagènes [101].

Il est incontestable que l'athérome joue un rôle important dans certaines formes cliniques d'AAAs. Il s'agit d'athérome mutilant la média, souvent associé à une inflammation pariétale [102].

D'hypothétiques maladies constitutionnelles des protéines de la matrice extracellulaire et d'autres facteurs génétiques pourraient favoriser l'évolution du processus athéromateux vers une lésion anévrismale.

Par ailleurs, ces formes familiales soulignent l'incrimination de ces facteurs génétiques dans la dégénérescence anévrismale de l'aorte [103].

La disparition des fibres élastiques semble être le préalable à une véritable dilatation anévrismale. L'AAAs est de ce fait une maladie dégénérative de la paroi aortique, d'étiologie multifactorielle, impliquant des facteurs génétiquement transmis et des facteurs acquis qui sont intriqués (Figure 12).

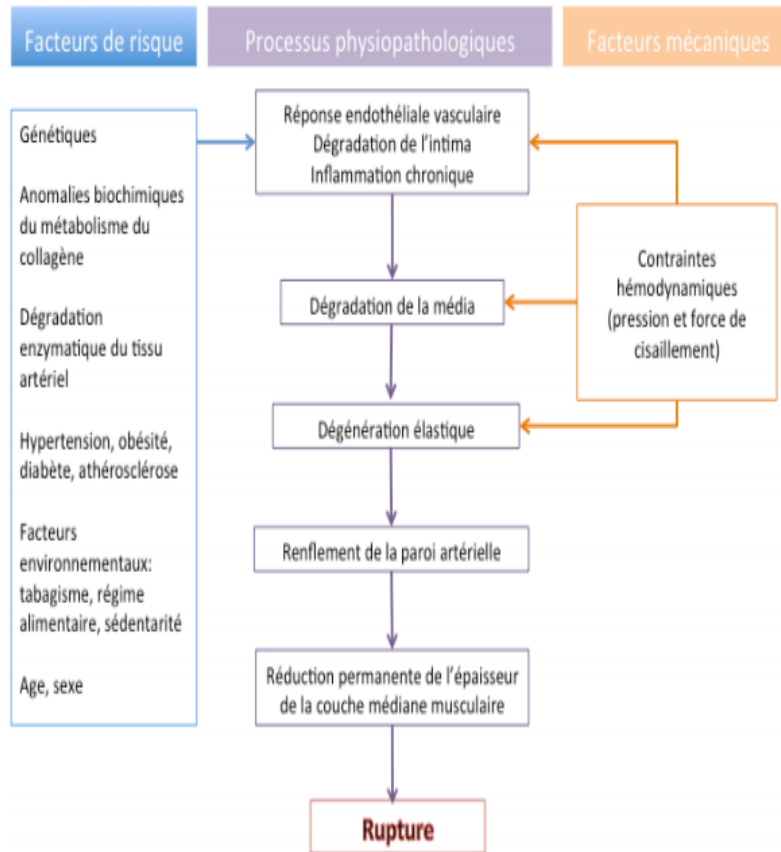


Figure 12 : Les différents facteurs pouvant contribuer à la formation d'AAAs.

La maladie anévrismale est une pathologie multifactorielle et dégénérative qui résulte de l'interaction de processus biologiques et hémodynamiques [104].

4.6 Anatomopathologie :

C'est une dilatation d'un vaisseau avec perte du parallélisme de ses parois, suite à l'amincissement pariétale et la destruction les lames élastiques de la paroi artérielle.

Sur l'aorte abdominale les anévrismes athéromateux prédominent avec fréquence des thrombus intraluminaux, la création d'embolies, des fissures et du risque de rupture [105].

L'AAA est caractérisé par un remaniement de la média avec protéolyse des fibres élastiques, ce qui entraîne la perte de l'élasticité pariétale et la diminution de sa résistance. [106]. On distingue deux formes principales d'anévrismes :

* Le vrai anévrisme : la paroi artérielle distendue constitue elle-même la paroi de l'anévrisme de forme saculaire ou fusiforme.

*Le faux anévrisme : c'est l'organisation d'une poche de sang à côté ou au tour de l'artère qui l'alimente par extravasation, la paroi néoformée est fibro conjonctive (Figure 13 ; 14 ; 15).

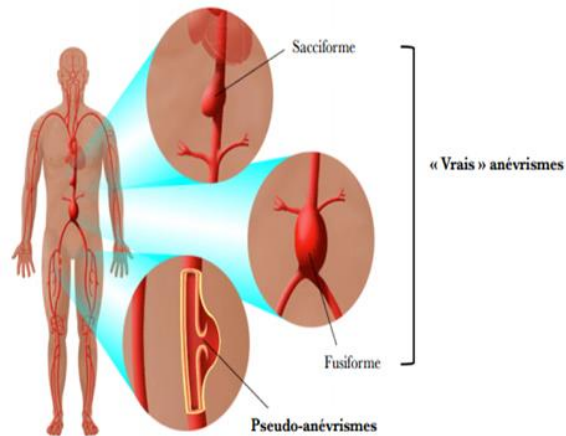


Figure 13 : Les types d'anévrismes

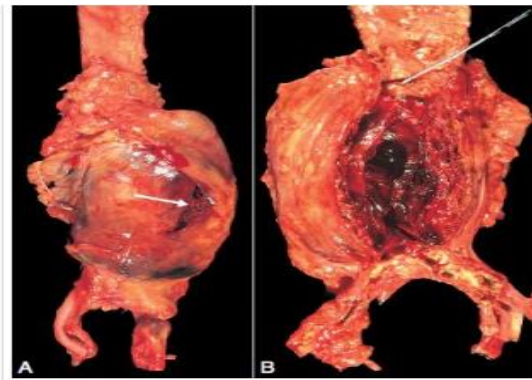


Figure 14 : A. Vue externe d'un volumineux anévrisme aortique rompu (flèche). B. Vue après ouverture : le trajet de la rupture est indiqué par une sonde. La paroi de l'anévrisme est très mince et la lumière est comblée par un volumineux thrombus feuilleté, non organisé [108].



Figure 15: L'aorte abdominale a été ouverte le long de la paroi postérieure révélant une athérosclérose sévère. La paroi artérielle est masquée par des plaques ulcérées et des caillots sanguins superposés [109].

4.7 Manifestations cliniques :

4.7.1 Circonstances de découverte :

Les circonstances de découverte sont multiples allant de la découverte fortuite au cours d'une palpation de l'abdomen au syndrome abdominal aigu associé au collapsus de la rupture anévrismale [110].

Du fait de leur localisation anatomique profonde, certains de ces anévrysmes aortiques sont remarquablement silencieux, et de très grosses dilatations peuvent rester très longtemps totalement asymptomatiques ,La symptomatologie est variable et non spécifique :

- Compression des organes de voisinage : Se traduit par des signes de colique néphrétique en cas de compression des uretères ou des œdèmes des membres inférieur par compression de la veine cave inférieure.
- Migration d'embolies : se traduisant par une ischémie aiguë ou chronique des artères distales [110].
- Anévrysmes infectieux : syndrome infectieux fébrile avec hémocultures positives, La contamination se fait par voie hématogène ou par contiguïté.

4.7.2 Examen clinique :

A / Palpation abdominale :

Etape fondamentale du diagnostic lorsqu'elle retrouve l'anévrisme de l'aorte sous forme d'une masse battante (synchrone au pouls) et expansive, de siège épigastrique ou latéralisé à gauche (péri-ombilicale gauche), dont le volume est variable. [110].

Si on peut introduire la main entre le pôle supérieur de l'anévrisme et les côtes, l'anévrisme est en général sous-rénal (Signe de De Bakey) [111]. La palpation doit être douce et prudente et ne doit pas être répétée trop fréquemment de façon injustifiée à cause du risque de rupture.

B/ Auscultation de la masse :

Recherche un souffle systolique, qui est fréquent mais inconstant, au niveau de l'anévrisme de l'aorte abdominale sous rénale [110].

C/ Le reste de l'examen :

Recherche des signes de complications et des signes d'autres localisations de l'athérome, palpation des pouls et auscultation des trajets artériels (Figure 16).

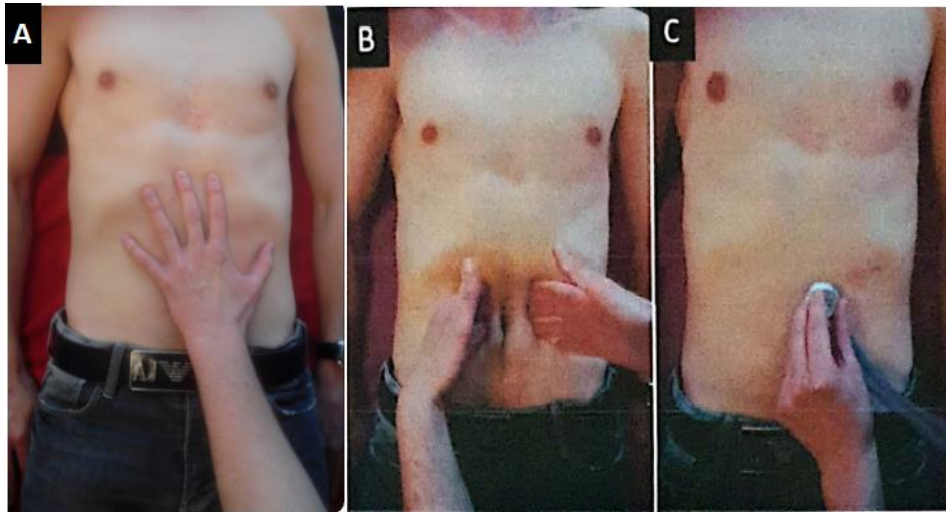


Figure 16: Examen clinique de l'aorte abdominale
(A/B) palpation avec estimation du diamètre aortique, (C) auscultation [112].

4.8 Apport des techniques d'imagerie dans le diagnostic de l'AAAs :

Radiographie standard d'abdomen sans préparation :

Elle est plutôt abandonnée, nécessite des clichés de profil et une bonne pénétration ; permet de mettre en évidence des calcifications pariétales avec perte du parallélisme de ses bords. Ne peut en aucun cas être considérée comme un moyen de diagnostic fiable [113].

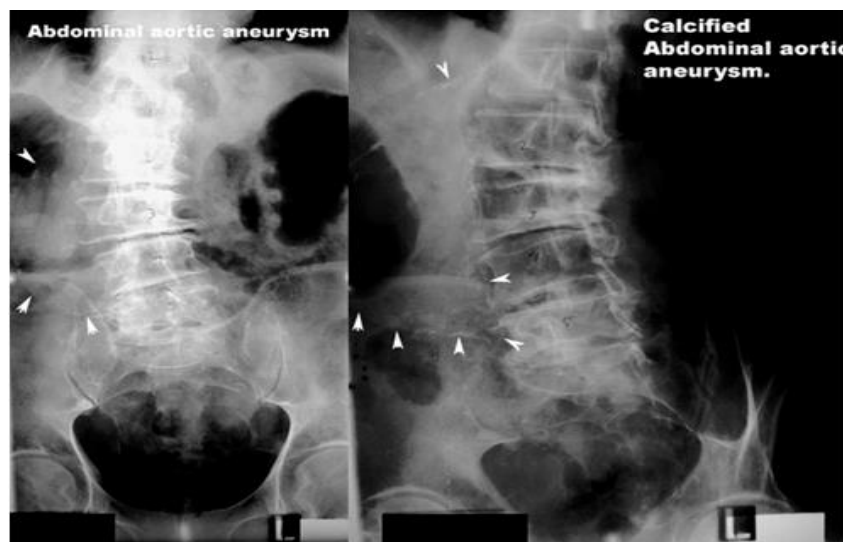


Figure 17 : ASP face/profil calcifications pariétales d'un AAAs [114].

Echo Doppler abdominal :

En comparaison avec d'autres techniques d'imagerie anatomique, l'échographie est non invasive, rapide, peu coûteuse et assez précise ; toutes des caractéristiques idéales pour le dépistage de routine.

Plusieurs essais cliniques randomisés, menés pour tester l'utilisation de l'échographie comme modalité de dépistage de l'AAA, ont démontré que le bénéfice du dépistage de l'AAA sur la mortalité, au moins chez les hommes âgés, est durable et rentable [115], [116].

Opérateur dépendante, nécessitant la répétition des examens de surveillance par un même opérateur entraîné. L'échographie peut être limitée par l'obésité et les gaz. L'examen utilise des sondes de 3,5 ou 3,75 MHz.

L'étude de l'aorte se fait par des coupes axiales et longitudinales, Lors de la mesure du sac anévrisimal, il convient de mesurer de la paroi externe à la paroi externe à partir d'une image longitudinale. Le diamètre transversal doit être mesuré perpendiculairement à l'axe longitudinal de l'aorte (Fig. 18). Ceci est particulièrement important dans les aortes ectasiques, où une mesure transversale peut donner un chiffre erroné, car il s'agit en réalité d'une mesure oblique plutôt que d'une mesure transversale véritable. Parfois, la présence de thrombus concentrique peut donner l'impression que le diamètre aortique est plus petit.

L'échographie tridimensionnelle (3D) est une technique utile pour l'évaluation des AAA, permettant des mesures à partir de reconstructions multi planaires à partir des données volumiques 3D. Il convient également de visualiser les branches aortiques abdominales et de déterminer si elles sont également dilatées par un anévrisme.

L'évaluation Doppler couleur doit suivre l'examen en Mode B de l'aorte. Un changement soudain de diamètre de la lumière aortique provoque un écoulement turbulent dans le sac anévrisimal. Cet écoulement turbulent peut donner lieu au signe du « pseudo yin-yang » (Fig. 19). Le flux à l'intérieur de l'AAA peut également être turbulent en raison de la présence de thrombus mural. [115].

Le Doppler couleur aide à préciser le diamètre et la localisation du chenal circulant ainsi que la localisation du collet de l'anévrisme par rapport aux artères rénales [117] (Figure 18 ; 19).

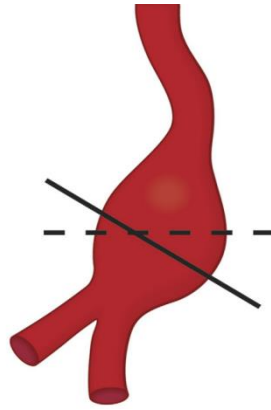


Figure 18 : représentation schématique de la mesure d'un AAA. La méthode correcte pour mesurer un AAA est perpendiculaire à l'axe longitudinal de l'aorte, comme indiqué par la ligne continue. La ligne en pointillés montre qu'une image transversale par rapport au patient donne une mesure incorrecte oblique qui exagère le diamètre de l'AAA. [115].

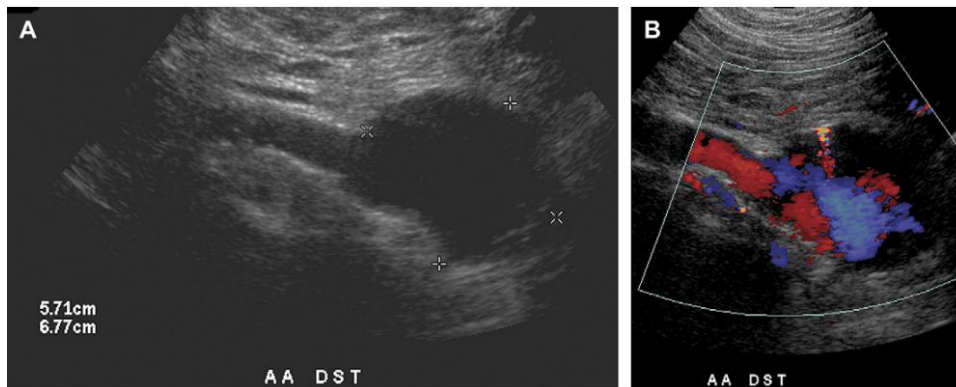


Figure 19 : Signe du pseudo yin-yang. (A) coupe longitudinale en Mode B d'un AAA fusiforme. (B) Doppler couleur révèle un pseudo yin-yang (bleu et rouge) du flux sanguin à l'intérieur de l'anévrisme. [115].

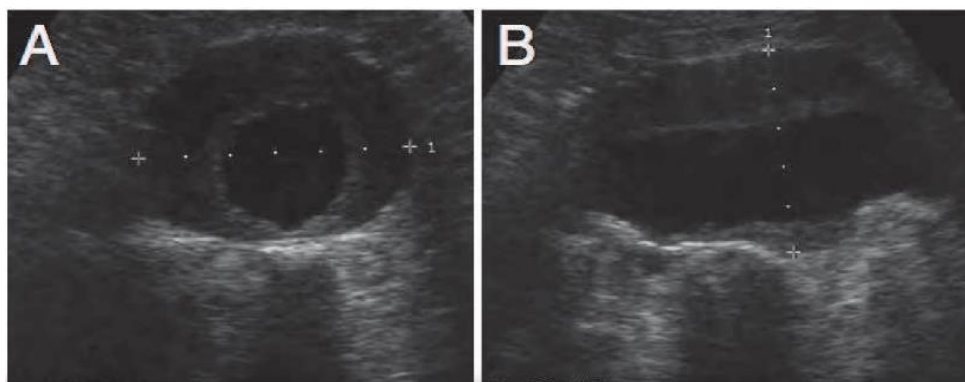


Figure 20 : Images échographiques d'un AAA. Vues axiale (A) et longitudinale (B) [118].

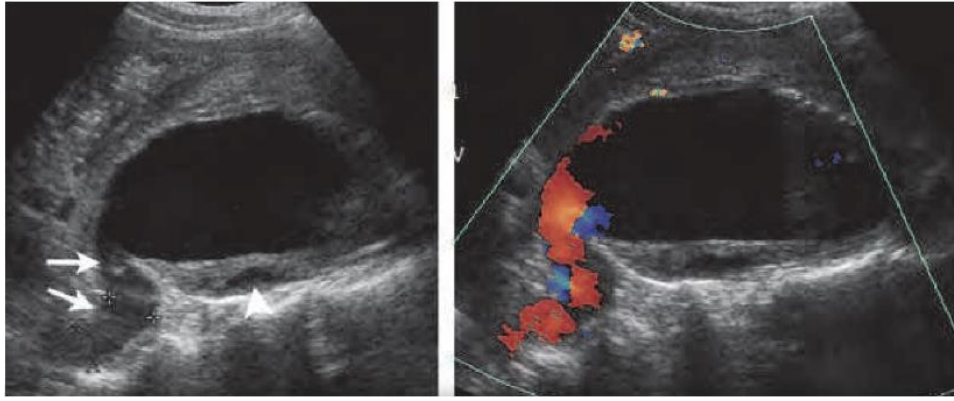


Figure 21 : Aspect échographique de la rupture d'un AAAs

À gauche : image longitudinale en mode B montrant une « structure hypoéchogène tubulaire (flèches) continue avec la lumière du sac anévrismal ». La zone hypoéchogène du thrombus (tête de flèche) est un signe de rupture de la paroi aortique À droite : L'image correspondante en Doppler couleur révèle la présence d'un saignement actif [115].

Imagerie en coupe :

La tomodensitométrie et l'IRM fournissent des images 3D haute résolution. En raison de sa dose de rayonnement, la TDM doit être réservée aux cas les plus problématiques ou pour la planification d'une prise en charge thérapeutique.

L'IRM peut fournir encore plus de définition des tissus mous, mais elle est rarement utilisée car moins accessible.

L'angioscanner abdominal :

L'angioscanner spiralé ou hélicoïdal abdominopelvien en coupes fines au temps artériel constitue l'examen de référence et permet une acquisition d'images très rapide, de l'ordre d'une vingtaine de secondes, ce qui permet de diminuer les artefacts cinétiques et respiratoires. L'épaisseur des coupes natives atteint 0,625 mm avec les appareils 64 détecteurs, et 0,5 mm avec les scanners 320 détecteurs [119].

Outre l'analyse précise des diamètres anévrysmaux, l'angioscanner caractérise avec finesse les artères rénales, les collets anévrysmaux, l'aorte sous-rénale et les artères iliaques. Il décrit également avec minutie la lésion anévrysmale (paroi, thrombus intraluminal, lumière) ainsi que l'environnement péri-aortique. Indispensable pour la planification du traitement endovasculaire, il oriente aussi le choix de la voie d'abord chirurgicale. [119].

La réalisation de l'angioscanner nécessite l'injection de produit de contraste iodé à haute concentration (supérieure à 320 mg/mL) et basse osmolalité, avec un débit élevé (supérieur à 4 mL/sec). Le bolus de contraste est pulsé au sérum physiologique par un injecteur automatique à double corps. Le volume du bolus varie de 50 à 120 ml est adapté au poids du patient. L'acquisition débute à la crosse aortique jusqu'aux artères fémorales, après repérage topographique.

La technique du ROI permet un déclenchement personnalisé et automatisé en se basant sur la mesure dynamique de la densité intraluminaire.

Le principe consiste à positionner manuellement une zone de mesure dans la lumière aortique sur l'image de repérage en générale sur l'aorte ascendante, L'injection du bolus de contraste iodé engendre une élévation progressive de la densité intra-aortique. Dès que la densité dans le ROI atteint un seuil prédéfini, typiquement 120 UH dans l'exploration de l'aorte abdominale, l'acquisition scanner est automatiquement initiée.

Cette technique de suivi dynamique du rehaussement aortique autorise un déclenchement individuellement adapté à la cinétique de chaque patient. [119].

Le post-traitement des images d'angioscanner est indispensable pour une analyse précise de la pathologie anévrysmale et des axes artériels :

- Les reconstructions multiplanaires (MPR) permettent de visualiser les structures dans différents plans de l'espace (sagittal, coronal, oblique), d'analyser la morphologie et les rapports anatomiques des vaisseaux, de mesurer des longueurs et volumes, et de guider des gestes interventionnels. Les MPR sont donc très utiles pour explorer les anévrysmes de l'aorte et leurs branches.
- La projection d'intensité maximale (MIP) ne sélectionne que les voxels de densité maximale correspondant à la lumière vasculaire, os et calcifications.
- Le rendu de volume (VR) reconstruit un volume 3D avec une couleur et opacité variables selon la densité des voxels. Le VR permet une visualisation naturelle des structures, facilite l'analyse morphologique des anévrysmes et la planification thérapeutique.
- Les reconstructions curvilignes (CPR) déroulent le vaisseau sur un plan suivant son axe, autorisant des mesures du diamètre précises et reproductibles.

Ces différents algorithmes génèrent une cartographie vasculaire détaillée, essentielle pour le suivi des anévrysmes de l'aorte abdominale.

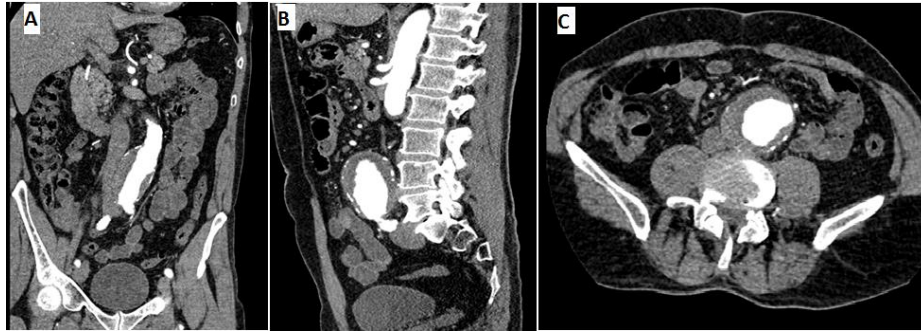


Figure 22 : Reconstructions multiplanaires (MPR) d'un anévrisme de l'aorte abdominale sous rénale [Service de radiologie CHU de Sétif].

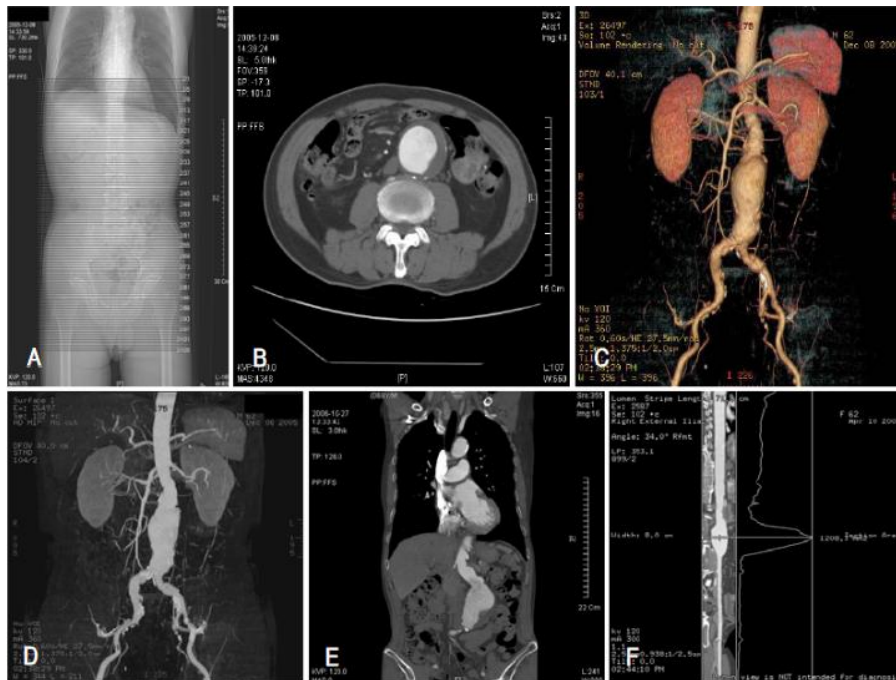


Figure 23 : imagerie d'un anévrisme de l'aorte abdominale utilisant un scanner multi détecteurs (16 barrettes) avec les différentes techniques de post traitement de l'image (A) topogramme. (B) coupe axiale native. (C) reconstruction 03D VR (rendu de volume). (D) reconstruction 03D MIP (maximum intensité projection) (E) reconstruction MPR coronale (multi planaire). (F) reconstruction MPR curviligne (multi planaire) [120].

Le plus grand diamètre aortique doit être mesuré perpendiculairement à l'axe de l'aorte en reconstructions multi planaires et non dans le plan axial strict [121] (figure 24).



Figure 24 : méthode de mesure manuelle du diamètre maximal d'un AAAs en MPR avec double obliquité (121).

(A) Premier plan perpendiculaire au grand axe de la plus grande partie de l'AAA est créé sur les images MPR sagittales.

(B) Deuxième plan perpendiculaire au grand axe de la plus grande partie de l'AAA est créé sur les images MPR coronales.

(C) Le diamètre maximal est mesuré sur le plan orthogonal créé à partir des deux étapes précédentes (A et B).

Les reconstructions semi-automatiques type CPR permettent les mesures les plus reproductibles. Ce post-traitement nécessite des logiciels dédiés, comme par exemple les modules Advanced Vessel Analysis (AVA) chez General Electric, syngo.CT Vascular Analysis chez Siemens ou Advanced Vessel Analysis chez Philips[122] (figure 23).

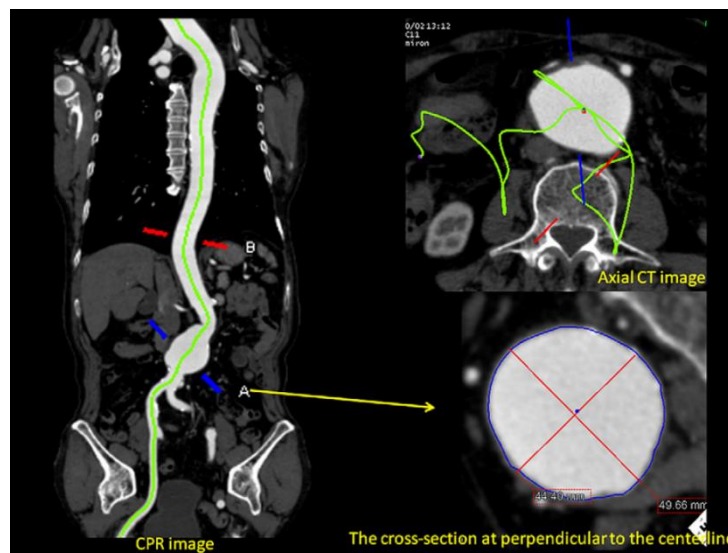


Figure 25 : mesure automatique des diamètres d'un AAA par un logiciel avancé de post traitement de l'image, Configuration de l'axe central sur l'aorte et mesure du diamètre de l'axe majeur et le diamètre de l'axe mineur à l'aide de la section transversale perpendiculaire à l'axe central [122].

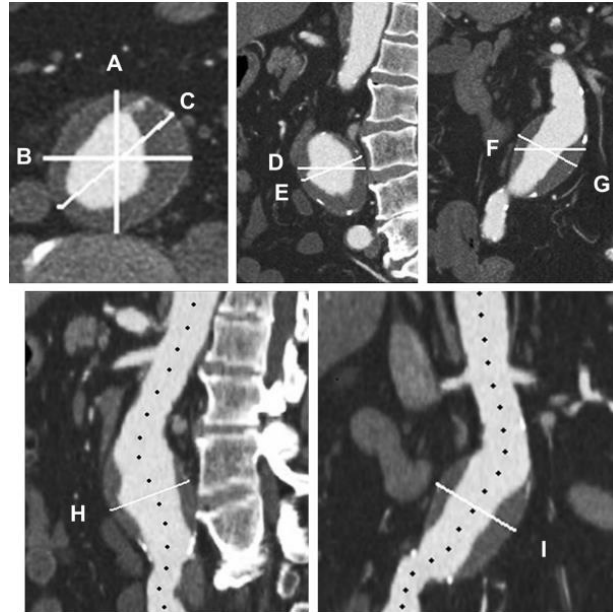


Figure 26 : différentes méthodes de mesure des diamètres d'un AAA [123].

En coupes axiales natives, (A) diamètre axial antéro-postérieur (B) diamètre axial transverse (C) diamètre axial maximum dans toute direction.

MPR sagittale(D) diamètre antéro-postérieur strict (E) diamètre antéro-postérieur perpendiculaire au long axe.

MPR coronale (F) diamètre transverse strict (G) diamètre transverse perpendiculaire au long axe.

CPR para sagittale(H) diamètre antéro-postérieur perpendiculaire au long axe.

CPR para coronale(I) diamètre transverse perpendiculaire au long axe.

Les acquisitions volumiques de l'angioscanner permettent de mesurer précisément le volume total de l'anévrisme et celui du thrombus intra-lésionnel. De récentes études montrent que le volume du sac anévrisimal peut varier significativement, alors même que le diamètre maximal de l'anévrisme ne change pas de façon marquée.

Bien que ces données ne soient pas encore utilisées en pratique courante, elles semblent présenter un intérêt pronostique majeur. En effet, l'augmentation du volume global d'un anévrisme refléterait plus exactement son évolution naturelle et le risque de rupture, par rapport à la seule mesure du diamètre maximal. L'analyse volumétrique apparaît donc comme un marqueur plus sensible pour quantifier la vitesse de croissance d'un anévrisme de l'aorte abdominale. [124] (figure 25).

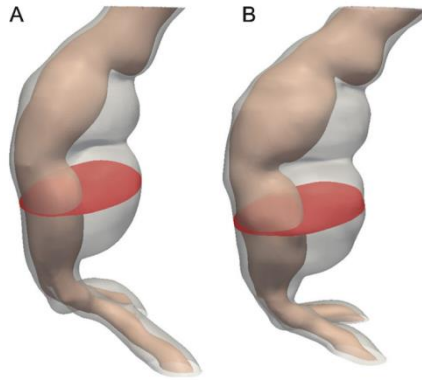


Figure 27 : cas représentatif d'un AAA ayant subi une réparation chirurgicale après le suivi, qui présentait un faible taux de croissance (< moyenne) selon le diamètre maximal, mais un taux de croissance élevé (> moyenne) selon le volume AAA. (A) examen initial (B) examen de suivi. Cet anévrisme présentait un diamètre initial maximal de 52 mm qui, après 14 mois, est devenu 55 mm, ce qui le rend apte à la réparation chirurgicale. Le taux de croissance selon le diamètre maximal était de 2,6 mm/an. Le volume d'anévrisme, quant à lui, présentait un taux de croissance de 42 ml/an (> moyenne). La couleur grise opaque représente la paroi anévrismale, la couleur orange opaque représente la lumière aortique, la section transversale avec la couleur rouge représente la section maximale AAA pour les modèles AAA initiaux et de suivi [124].

La présence de gaz au sein de la paroi aortique anévrismale est en faveur d'une étiologie infectieuse de l'anévrisme, en particulier en cas de fistule aorto-duodénale, le gaz étant dans ce cas d'origine digestive (figure 26) [119]

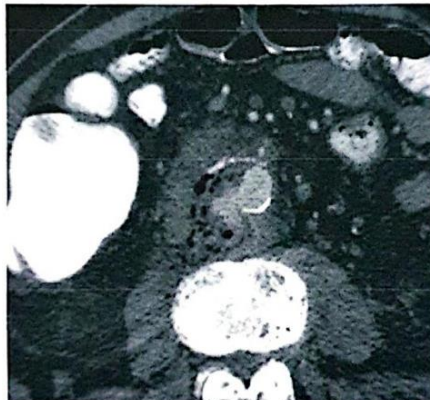


Figure28 : anévrisme aortique d'origine infectieuse compliquant une fistule aorte-duodénale [119].

La réalisation d'une acquisition à un temps tardif permettra de mettre en évidence le rehaussement pariétal aortique pour le diagnostic des anévrismes d'origine inflammatoire ou de la fibrose rétro péritonéale (figure 27) [119].



Figure 29 : anévrisme aortique sous-rénal d'étiologie inflammatoire. (A) et (B) Reconstructions mufti planaires (MPR) axiale et coronale au temps tardif qui mettent en évidence un rehaussement au sein de l'épaississement pariétal aortique (flèches) [119].

L'angioscanner permet de mettre en évidence des signes d'instabilité de l'anévrisme de l'aorte abdominale sous-rénale en particulier si l'anévrisme est symptomatique. Même sans signes évidents de rupture rétropéritonéale, certaines anomalies scannographiques sont décrites dans la littérature, le plus souvent de manière rétrospective, avant une chirurgie en urgence pour rupture anévrismale.

Ces signes d'instabilité comprennent : une rupture circonférentielle de la coque calcique, un aspect de hernie du thrombus au travers de la paroi, et des remaniements hémorragiques intra-thrombotiques.

L'absence de validation anatomopathologique limite cependant la confirmation de cette sémiologie. [119]

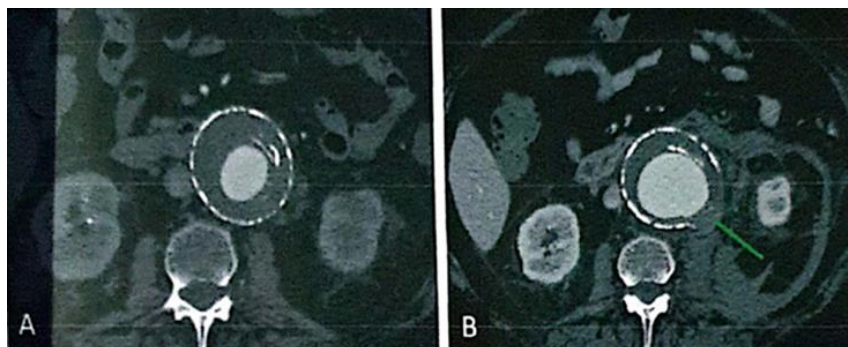


Figure 30 : exemple d'AAA en cingioscanner en coupes axiales (A) avant et (B) après rupture dans le rétro péritoine. Remarquer l'aspect hyperdense du thrombus enda-anévrismal et la rupture de la coque calcique (flèche) [119].

Les principales limites de l'angioscanner sont liées à l'injection de produit de contraste iodé (PCI) potentiellement néphrotoxique. Le risque d'insuffisance rénale par nécrose tubulaire aiguë peut être réduit par une préparation adaptée des patients à risque avant l'administration de PCI, ainsi que par la limitation des doses injectées [125].

Les facteurs de risque connus d'atteinte rénale incluent le diabète, l'âge avancé, l'hypertension artérielle, une maladie rénale préexistante et la prise de médicaments néphrotoxiques. Le dosage sanguin de créatinine avant injection de PCI est recommandé en cas de facteur de risque ou d'âge supérieur à 65 ans, à renouveler 2 à 3 jours après [126].

L'irradiation doit aussi être considérée, surtout chez les sujets jeunes. Les algorithmes itératifs permettent de réduire la dose de 20 à 50% sans perte de qualité d'image [127].

En cas de contre-indication à l'injection de produit de contraste iodé (PDC), l'angio-IRM est habituellement la technique d'imagerie de choix. Cependant, certaines études ont montré que l'angioscanner peut être réalisé en injectant un produit de contraste à base de chélates de gadolinium, avec des résultats comparables à ceux obtenus avec le PDC iodé ou l'angio-IRM [128].

Le gadolinium présente une faible incidence de réactions allergiques, de néphrotoxicité et d'extravasation par rapport aux PDC iodés [129], ce qui en fait une alternative pour l'angioscanner chez les patients avec contre-indication aux PDC iodés ou à l'IRM [128].

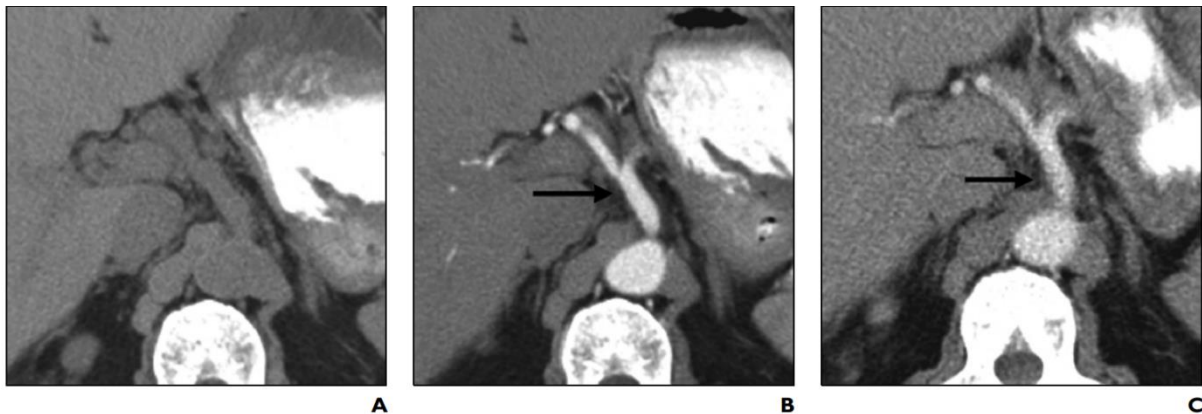


Figure 31 : Homme de 55 ans adressé pour exploration d'une possible masse rénale. , images scanners axiales sans injection (A), avec injection d'iode (B), et d'une angioscanner avec injection de gadolinium (C) [128] .

L'angioscanner spectral (DECT) est une technologie émergente d'imagerie médicale qui utilise un détecteur capable de discriminer les photons X en fonction de leur énergie. Contrairement à un scanner conventionnel qui intègre les photons indépendamment de leur énergie, l'angioscanner spectral permet de reconstruire des images à partir de différents niveaux d'énergie [130].

Le détecteur spectral mesure précisément le flux de photons et l'énergie de chaque photon détecté. Ce traitement des données brutes permet de reconstruire plusieurs séries d'images à différentes énergies moyennes (généralement 80kV et 140kV). Des algorithmes dédiés génèrent également des images monochromatiques à partir des données spectrales. L'angioscanner spectral présente plusieurs avantages par rapport à un scanner conventionnel :

- Augmentation du contraste grâce aux images basse énergie.
- Réduction des artéfacts métalliques (clips chirurgicaux, stents).
- Diminution significative de la dose délivrée au patient.
- Possibilité de soustraction d'iode pour évaluer la perfusion.

L'angioscanner spectral présente un intérêt pour l'évaluation des anévrismes de l'aorte abdominale, aussi bien en pré-opératoire qu'en suivi post-opératoire après traitement endovasculaire [130]. La réduction des artéfacts métalliques et l'amélioration du contraste vasculaire peuvent faciliter l'analyse et le suivi de ces anévrismes traités par pose d'endoprothèse aortique. La diminution de dose réduit la toxicité rénale du produit de contraste iodé chez ces patients à risque [131].

Les inconvénients de cette technique comprennent le coût élevé de l'équipement et l'indisponibilité de la technologie dans de nombreux centres hospitaliers.

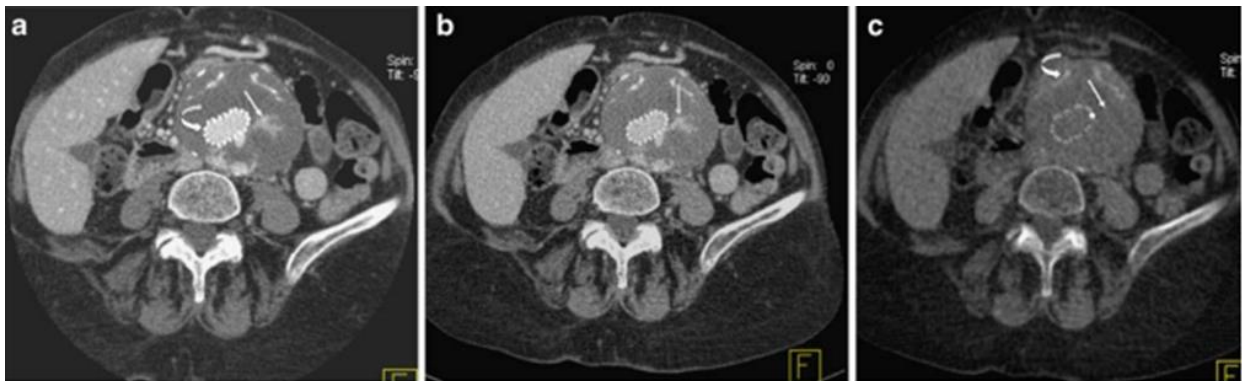


Figure 32 : Angioscanner spectral chez un patient après réparation endovasculaire d'un AAA. [130]

A. Sur l'image à 80 kV, une endofuite de type 2 (flèche) est identifiée chez un homme de 72 ans. La densité de l'agent de contraste dans le sac anévrysmal est de 320 UH. Noter l'endoprothèse (flèche courbe).
 B. Image moyennée weighted average d'angioscanner spectral (image résultante moyenne, pondérée entre les basses et hautes énergies) au même niveau de coupe. L'endofuite (flèche) est moins visible, mesurant 220 UH.
 C. Image d'angioscanner spectral après soustraction virtuelle de l'iode au même niveau de coupe. L'endofuite est confirmée (flèche). Noter le thrombus calcifié dans le sac anévrysmal (flèche courbe).
 En résumé, l'image basse énergie et l'image après soustraction d'iode de l'angioscanner spectral mettent en évidence une endofuite de type 2 dans un anévrisme de l'aorte abdominale traité par voie endovasculaire.

Imagerie par résonance magnétique IRM :

Les coupes axiales pondérées T1, T2 couplées à l'angio-IRM après injection de produit de contraste (sels de gadolinium) donnent un bilan complet de l'anévrisme identique à celui obtenu par le scanner. En cas de contre-indication à l'angioscanner soit par insuffisance rénale ou d'allergie aux produits de contraste, l'angio IRM en constitue l'alternative cependant la durée d'acquisition des images est plus longue et les calcifications sont moins bien visualisées que pour le scanner.

L'IRM exploite l'aimantation des protons des tissus et leur relaxation, l'interaction des protons entre eux et avec les molécules environnantes, la différence des temps de relaxation entre les tissus entraîne des contrastes endogènes entre les structures [138].

Les agents de contraste exogènes à base de gadolinium améliorent le contraste en raccourcissant le temps de relaxation T1(longitudinal) ou T2 (transversal) [139].

L'image IRM peut être pondérée pour détecter les différences en T1 ou T2 en ajustant certains paramètres pendant l'acquisition des données. Traditionnellement, les chélates de gadolinium ont été utilisés pour améliorer le contraste T1 [139].

L'IRM permet une analyse précise de l'anévrisme de l'aorte abdominale sous rénale (AAAs) sans injection de produit de contraste, comme l'ont montré des études il y a 20 ans déjà [140].

Certaines études ont montré que l'angiographie par résonance magnétique est au moins aussi sensible que le scanner pour détecter ces complications. De plus, l'angiographie par résonance magnétique a l'avantage supplémentaire de pouvoir détecter des endofuites subtiles qui peuvent être mal visualisées sur l'imagerie en phase artérielle (figure 33) [141].

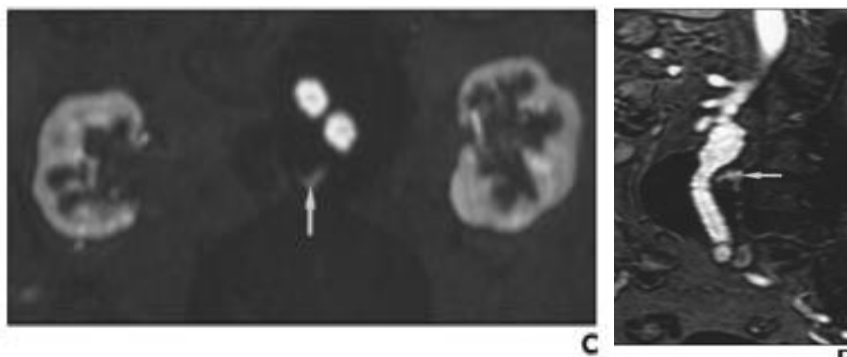


Figure 33 : Un homme de 77 ans porteur d'endoprothèse aortique. C : coupe axiale d'angio IRM pondérée en T1 montre une extravasation du gadolinium en phase artérielle dans la partie postérieure du sac anévrismal (flèche). D : La coupe sagittale artérielle confirme l'endofuite postérieure (flèche).

L'IRM, notamment en séquence cinétique s'est avérée être un outil précieux pour la détection des thrombus dans les anévrismes aortiques abdominaux sous-rénaux., permettant de distinguer les thrombus intra-aortiques, qui ne bougent pas, du flux sanguin intra-aortique, qui bouge et s'estompe avec le temps [142].

Néanmoins, l'IRM n'est pas première intention en imagerie anatomique, du fait d'une moindre résolution et accessibilité versus le scanner. Elle est utile en cas de contre-indication au produit de contraste iodé, le gadolinium étant peu néphrotoxique.

Le protocole d'acquisition doit être adapté à l'indication pour ne pas allonger inutilement la durée de l'examen, Les acquisitions doivent couvrir toute l'aorte abdominale et les axes ilio-fémoraux. [119] :

Séquences « steady state free précession » (SSFP) axiales et ou sagittales/coronales, pondérées T2/T1 avec un bon contraste entre le sang circulant en hyper signal et la paroi aortique en hypo signal ;

Séquences pondérée T1 type turbo spin écho (TSE) « sang noir » axiale pour l'étude de la paroi aortique et l'atmosphère péri-aortique ;

Séquences en pondération T2 et imagerie de diffusion pouvant mettre en évidence un hyper signal pariétal, en faveur du caractère actif d'une aortite ;

Séquences ARM aortique 3D après injection de produit de contraste gadoliné à la dose de 0,1 ou 0,2 mmol/kg en fonction du produit utilisé avec reconstructions MPR et MIP , L'évaluation des diamètres aortiques en ARM 3D est équivalente à celles du scanner. .

Séquences pondérée T1 après injection avec suppression de graisse pour rechercher un rehaussement pariétal ou péri-aortique des lésions inflammatoires.

Anévrisme dégénératif :

La paroi aortique est épaissie, irrégulière, avec un hypersignal T2 traduisant des modifications structurelles de la média (perte en élastine, dépôts de collagène).

On note également une prise de contraste pariétale de la lame élastique interne, reflet de néoangiogenèse et d'inflammation chronique de bas grade.

Le thrombus mural apparaît en hyposignal T1 et hypersignal T2, avec une stratification correspondant à des couches fibriniques et inflammatoires.L'intensité du signal du thrombus intra mural de l'AAAs est corrélée également à l'âge du thrombus : un signal

élevé en IRM sans contraste (séquence T1 SSFP) indique un thrombus récent Instable qui peut être responsable de migration d'embolies avec thrombose dans le réseau artériel d'aval (figure 34) [143] .En diffusion, on ne retrouve pas de restriction significative.

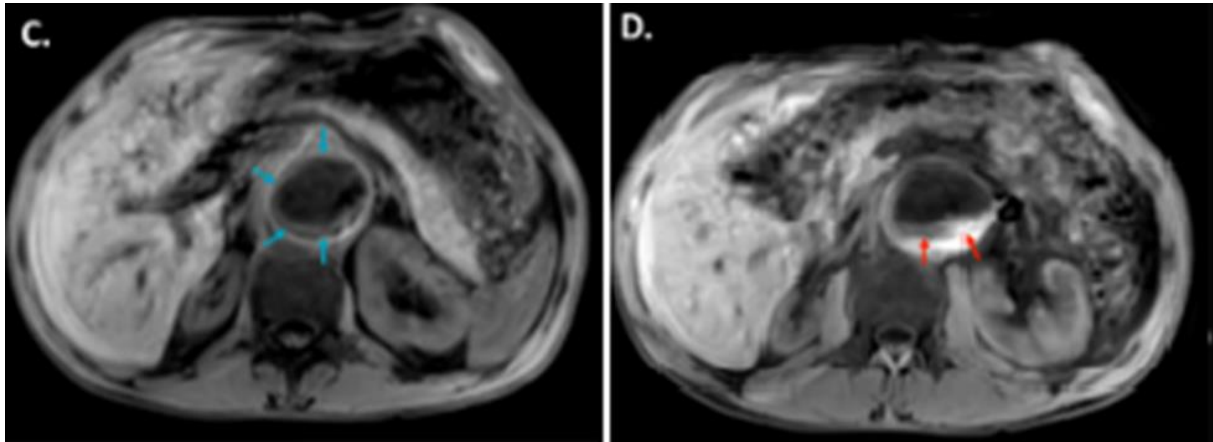


Figure 34 : Coupes axiales en séquence pondérée T1 SSFP sans contraste. (c) thrombus chronique de signal faible,(D) thrombus récent de signal Élevé [143] .

Anévrisme inflammatoire :

Œdème pariétal hypo-T1 et hyper-T2 et restriction de la diffusion avec rehaussement aortique ou péri-aortique après injection de gadolinium, dont l'intensité varie avec le statut inflammatoire du patient [144].

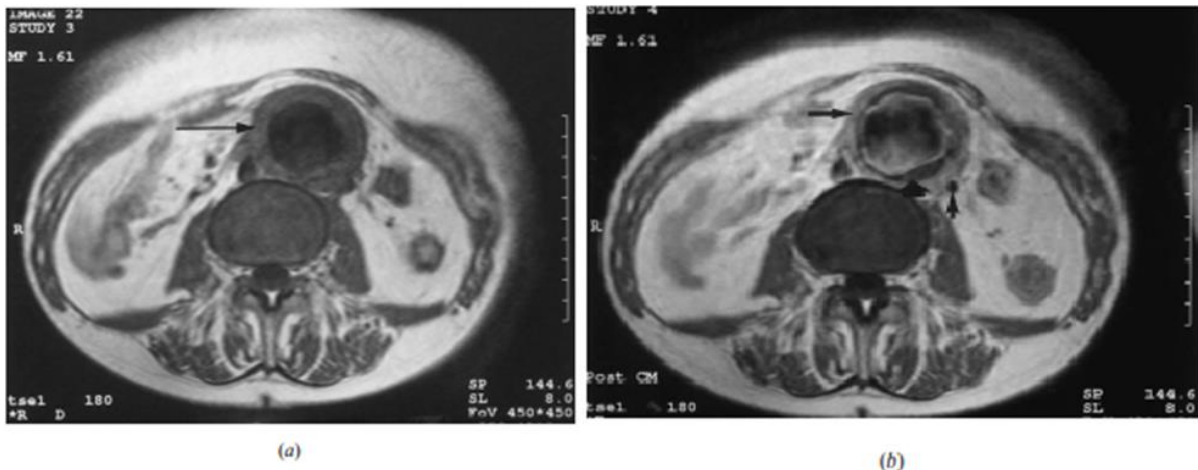


Figure 35 : Anévrisme inflammatoire:

(a) Un homme de 62 ans avec un anévrisme sous-rénal. La séquence SE pondérée T1 axiale montre un épaissement de la paroi aortique (flèche) mais une mauvaise délimitation des structures adjacentes. (b) Après injection intraveineuse de gadolinium DTPA, le manchon se rehausse (flèche) et on visualise clairement le thrombus intra-luminal (flèche large) ainsi que l'uretère gauche impliqué (tête de flèche) [144] .

Artériographie :

C'est un examen invasif qui ne permet pas de visualiser les parois aortiques en cas de présence d'un thrombus intra-anévrysmal mais uniquement si le chenal de l'anévrysme est circulant.

Bien que le scanner avec reconstruction 3D soit désormais l'examen de référence pour l'évaluation morphologique des AAA, l'artériographie conventionnelle garde une place centrale dans le guidage peropératoire des endoprothèses aortiques [145].

L'artériographie permet un repérage précis des axes iliaques, des artères rénales et des branches collatérales, indispensable pour positionner avec précision les endoprothèses lors de la procédure endovasculaire. La superposition des images 3D scanner avec les images de fluoroscopie 2D pendant l'intervention facilite le largage et le déploiement de la prothèse et de réduire la dose de produit de contraste injecté [146] (figure 36).

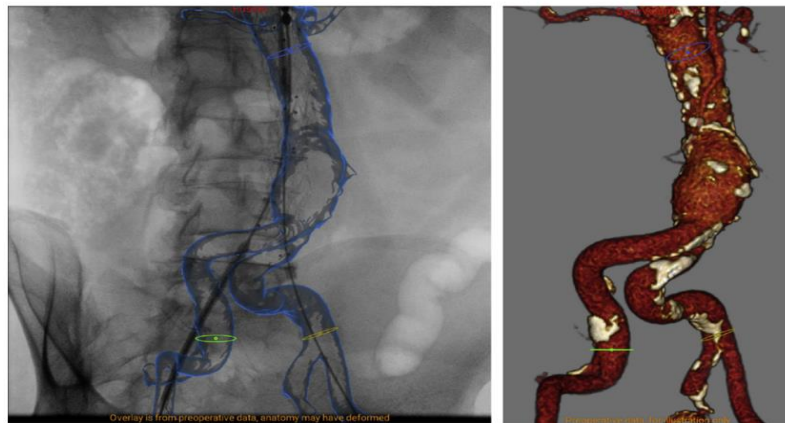


Figure 36 : fusion superposée sur l'image fluoroscopique à gauche et la visualisation 3D correspondante à droite. [146]

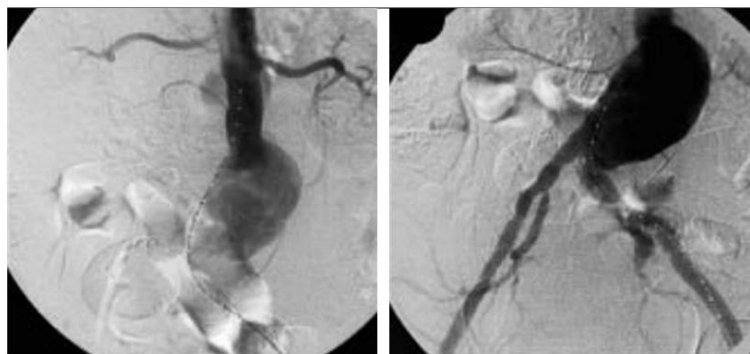


Figure 37 : Vues angiographiques d'AAA incidence de face (A) et oblique droite (B) [147].

4.9 Traitement des anévrismes de l'aorte abdominale :

Indications :

Le traitement chirurgical ou endovasculaire est indiqué en cas d'anévrisme symptomatique ou asymptomatique dont le diamètre maximal dépasse 55 mm, du fait du risque élevé de rupture au-delà de cette taille [148].

Selon les recommandations de la Société Européenne de Chirurgie Vasculaire (ESVS 2018), le seuil de 55 mm est consensuel pour définir le caractère interventionnel d'un anévrisme asymptomatique [149].

En dessous de ce seuil, une surveillance régulière par imagerie est recommandée afin de dépister une croissance justifiant une prise en charge. La vitesse de croissance de l'anévrisme (> 10 mm/an) est également un facteur décisionnel important. Le traitement médical par correction des facteurs de risque cardiovasculaires (tabagisme, HTA, dyslipidémie) est indiqué pour ralentir la progression des petits anévrismes < 55 mm [148].

4.9.1 Traitement médical optimisé :

Selon la société de chirurgie vasculaire américaine le traitement médical ne peut être administré qu'aux anévrismes dont le diamètre maximal est inférieur à 55 mm [149].

Au-delà de 5 cm, vu le risque de rupture la seule thérapeutique adéquate est le traitement chirurgical conventionnel ou endovasculaire [150]. Selon les recommandations de l'ANSM 2009 (figure 24)

Le traitement médical est important chez les malades porteurs d'un AAA pour un meilleur contrôle des facteurs de risque et d'une prévention primaire et/ou secondaire.

Le sevrage tabagique constitue la pierre angulaire de cette prise en charge médicale des (petits) AAA [151].

Le contrôle de la pression artérielle est important puisqu'il permet de diminuer l'incidence d'événements cardiovasculaires.

Plusieurs études sur l'animal ont suggéré l'effet bénéfique du propranolol par un mécanisme hémodynamique et biochimique sur l'inhibition de la progression des AAA, es études rétrospectives cliniques ont été également très encourageantes [152].

Les statines pourraient diminuer la croissance de l'AAA en modulant les métalloprotéinases matricielles via leur effet pléiotropies [153].

Les bêtabloquants diminueraient les contraintes pariétales selon l'américain heart association [154].

Les inhibiteurs de l'enzyme de conversion diminueraient le taux de rupture [24].

Les antiagrégants plaquettaires agissent en limitant la formation des thrombus [155].

La thérapie génique administrée localement ou par voie générale pourraient permettre le traitement spécifique de la maladie de la paroi aortique. C'est une des voies de recherche actuelle. [156].

Seuls les anévrismes de l'aorte abdominale (AAA) sous-rénal asymptomatiques dont le plus grand diamètre est supérieur à 5 cm ou a augmenté de 1 cm en 1 an peuvent être traités, quelle que soit la technique adoptée.

Un AAA symptomatique ou compliqué est traité quelle que soit sa taille.

Malgré l'absence de données scientifiques, le groupe de travail considère qu'il est possible de traiter un AAA sacculaire évolutif, dont le plus grand diamètre est inférieur à 5 cm.

La réévaluation du rapport bénéfice-risque permet de lever la restriction aux patients à haut risque. Le traitement par voie endovasculaire peut être proposé en première intention comme la chirurgie aux patients à risque chirurgical normal et critères anatomiques favorables et après information des patients des bénéfices et des risques des deux méthodes.

Le traitement ne peut être proposé à un patient à risque chirurgical normal qu'à la condition que les critères anatomiques suivants soient respectés :

- collet sans thrombus circonférentiel ni calcifications majeures
- collet proximal à bords parallèles ≥ 15 mm
- angle du collet proximal :
 - < 40°
 - ou compris entre 40° et 60° à la condition de bénéficier d'une longueur de collet supérieure à 20 mm

Le diamètre du collet proximal, l'état du collet distal (point(s) d'ancrage iliaque), les accès iliofémoraux doivent être compatibles avec le système de pose et l'endoprothèse utilisés.

À noter que la mise en place d'une EPA chez un patient à risque chirurgical normal ne doit pas entraîner l'exclusion volontaire d'artère(s) viscérale(s) fonctionnelle(s) y compris artère hypogastrique, en dehors de l'artère mésentérique inférieure.

La surveillance du patient à long terme est obligatoire et sous la responsabilité de l'implanteur. La surveillance doit satisfaire au calendrier suivant : en postopératoire immédiat ou dans les 30 jours, aux 6^e, 12^e mois postopératoires puis annuellement, en l'absence de complication.

Figure 38 : Recommandations de l'ANSM sur la prise en charge des anévrismes de l'aorte abdominale (AAA).

4.9.2 Traitement chirurgical :

La mise à plat greffe constitue la méthode de référence dont le but est de remplacer toutes les parois artérielles qui sont dilatées par un conduit prothétique. Cette prothèse sera donc la nouvelle paroi artérielle.

Classiquement, la paroi de l'anévrysme aortique n'est pas réséquée mais est utilisée pour entourer la prothèse synthétique afin d'empêcher tout contact avec le tube digestif. [157].

La chirurgie ouverte nécessite une anesthésie générale et une incision abdominale médiane xypho pubienne ou du flanc gauche, l'aorte est ensuite clampée de part et d'autre de

l'anévrisme qui sera ouvert par la suite débarrassé du thrombus et refermé sur la prothèse tubulaire ou bifurquée.

Des techniques de laparoscopie ont été développées par certaines équipes afin de réduire les conséquences des incisions [158]. Cette technique est plus agressive que le traitement endovasculaire mais supprime complètement l'artère malade.

Les complications sont classiquement cardiaque 15%, pulmonaire 12%, rénale 12% ou plus rarement digestives ou ischémie des membres inférieurs .la fréquence globale des complications varie de 10 à 30 % [159].

La surveillance consiste en une consultation externe avec le chirurgien quelques semaines après l'intervention. Le contrôle imagerie est recommandé cinq ans plus tard à la recherche de faux anévrismes anastomotiques (figure 25 ; 26).

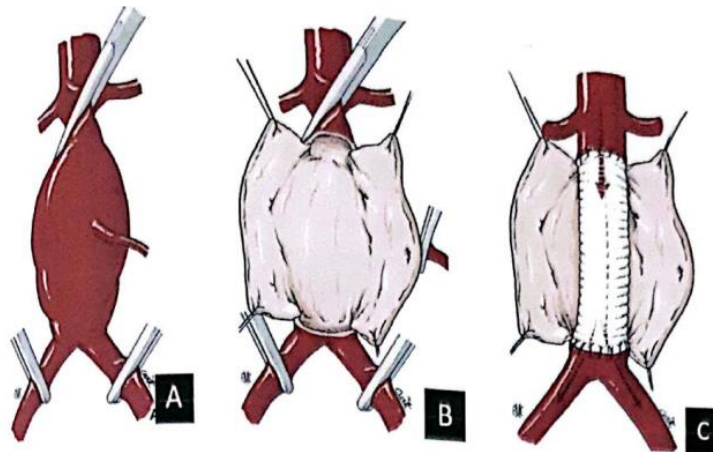


Figure 39: Traitement chirurgical conventionnel d'un AAA sous rénal. (A) mise en place des clamps, (B) ouverture longitudinale de l'anévrisme et incision transversale de la partie antérieure des deux collets (C) confection des anastomoses aorte-prothèse avec déclampage progressif [157].



Figure 40 : Mise à plat greffe avec prothèse aorto-bi-iliaque [159].

4.9.3 Traitement endovasculaire (EVAR) :

C'est une technique moins invasive comparée à la chirurgie ouverte mais la sélection des patients appropriés découle essentiellement de l'anatomie anévrismale, l'objectif du traitement endovasculaire est de soustraire la poche à la pression sanguine par voies d'abord fémorales, assurer l'étanchéité au niveau des collets en utilisant des prothèses aorto-bi iliaque ou aorto iliaque + prothèse croisée. [160].

Les différents facteurs anatomiques de sélection des malades sont résumés dans la figure du groupe de réflexion sur la cardiologie interventionnelle : le collet sous-rénal: sa longueur qui correspond à la distance entre les artères rénales et le début de l'anévrisme, sa forme droite ou conique, l'angulation antéro ou postéro latérale ainsi que la présence ou non d'un thrombus; l'état des artères iliaques [158] (figure 41)

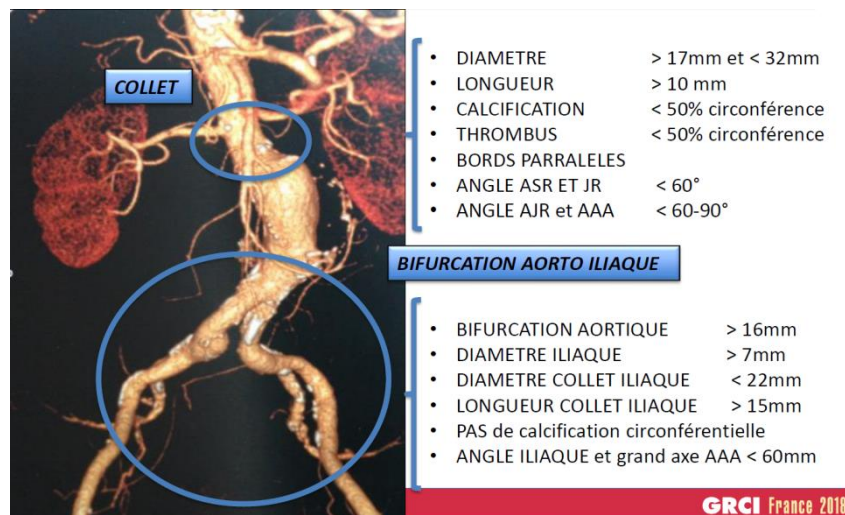


Figure 41 : Critères anatomique favorables pour une endoprothèse (Groupe de réflexion sur la cardiologie interventionnelle).

La mise en place des endoprothèses peut se faire sous anesthésie locale, régionale ou générale et nécessite une petite incision aux plis de l'aîne pour accéder aux artères fémorales ou par voie percutanée sans incision.

Les endoprothèses sont ensuite déployées sous fluoroscopie et ancrées en haut au collet proximal et en distalité au niveau des artères iliaques. Un produit de contraste iodé est injecté durant la procédure afin de mieux diriger les cathéters [24].

Il existe différentes générations d'endoprothèses en passant par celles de 1 ère génération qui étaient associées à un nombre considérable de complications : rupture du tissu chirurgical, thrombus des branches, fracture de la cage métallique ...

Des améliorations sur les prothèses ont été portées pour donner celles de la 3 eme génération qui sont plus facilement implantable et répondent mieux aux variations anatomiques, en plus de leur fiabilité dans le temps. [158].

Historique et évolution des endoprothèses

La première endoprothèse aortique abdominale a été implantée par le Pr Parodi en 1990 par voie endovasculaire. Depuis, différentes générations d'endoprothèses ont été développées avec une amélioration progressive des résultats à long terme [161].

Les endoprothèses de première génération dans les années 1990-2000 étaient associées à de nombreuses complications : rupture du tissu, thrombose, endofuites, migrations [162].

Les endoprothèses actuelles de deuxième et troisième génération présentent de meilleurs résultats grâce aux avancées dans la conception des stents, des systèmes de fixation et des cathéters de largage [163].

L'utilisation de nouveaux matériaux, l'ajout de barbes supra-rénales, la possibilité de repositionnement ont notamment amélioré l'étanchéité et la tenue à long terme des endoprothèses aortiques [164].

Apport de l'angioscanner aortique dans l'élaboration de la prothèse personnalisée :

L'angioscanner préopératoire est indispensable pour sélectionner les patients éligibles au traitement endovasculaire et planifier la procédure. Les reconstructions multiplanaires et volumiques à partir des données scanner permettent une analyse précise de la morphologie anévrismale et des axes ilio-fémoraux.

Sur ces images 3D, il est possible de simuler le dimensionnement et le positionnement de l'endoprothèse la mieux adaptée à l'anatomie du patient [165]. Pour les anévrismes complexes, le recours à des endoprothèses fenêtrées ou branche-chimney fabriquées sur mesure est facilité par cette modélisation préopératoire [166].

Pendant l'intervention, la fusion des images scanner 3D avec la fluoroscopie 2D guide

avec précision les gestes endovasculaires et le largage de la prothèse dans la position simulée [146].

Cette superposition des données scanner sur l'imagerie peropératoire est un apport considérable pour le succès et la reproductibilité du geste endovasculaire.

Déroulement de la procédure :

Actuellement il existe des systèmes de fermeture appelés «pre -closing» qui permettent d'introduire les endoprothèses par voie transcutanée sous anesthésie locale , L'EVAR est réalisé en salle de cathétérisme sous anesthésie locorégionale ou générale. L'introduction du matériel se fait par abord fémoral bilatéral selon la technique de Seldinger modifiée [180].

Un cathéter guide est navigué dans l'aorte sous contrôle fluoroscopique. L'endoprothèse est ensuite déployée en préservant la perméabilité des artères rénales et mésentériques.

Des endoprothèses aorto-bi-iliaques ou aorto-uni-iliaques sont le plus souvent utilisées. Leur axe principal doit être aligné au centre du flux sanguin. Un contrôle final par angiographie permet de vérifier le bon positionnement et l'absence de fuite de type I ou III [168].

Fermeture cutanée par fil résorbable. Pansement cutané (figure 42)

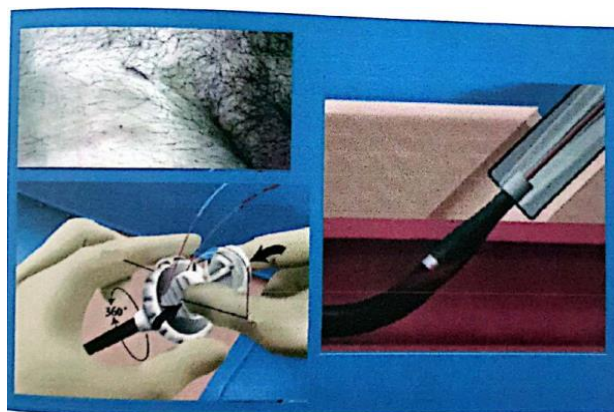


Figure42: Système de fermeture pre-closing avec insertion transcutanée d'endo prothèse. [157].

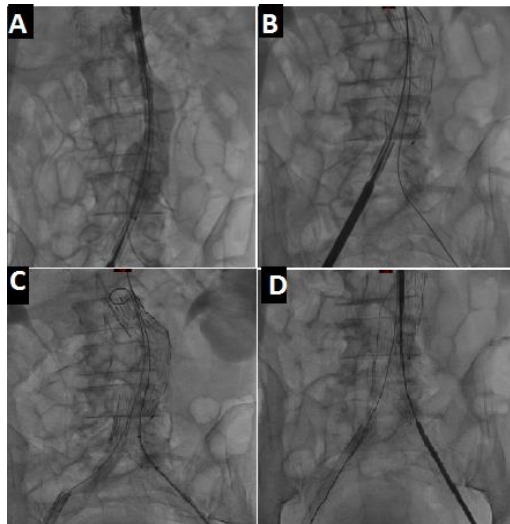


Figure 43 : Traitement endovasculaire d'un AAA (EVAR) :
 (A) Insertion initiale de l'endo prothèse, (B) déploiement proximale de l'endo prothèse au collet, (C) déploiement du module iliaque controlatérale, (D) deployment de la partie endo iliaque ipsilatérale.
 [servie de radiologie interventionnelle pitié salpêtrière].



Figure44 : contrôle de prothèse aortique mise par voie endo vasculaire aorto bi iliaque
 [servie de radiologie interventionnelle pitié salpêtrière].



Figure 45 : Mise en place d'endo prothèse aortique par voie transvasculaire.

Avantages du traitement endovasculaire :

- La réduction de la morbi-mortalité
- La réduction de pertes sanguines
- La diminution de la durée d'hospitalisation
- La récupération fonctionnelle plus rapide.

Complications du traitement endovasculaire :

Le traitement endovasculaire des anévrismes de l'aorte abdominale par pose d'endoprothèse est associé à un risque de complications tardives résumés dans le tableau 03 ,les fuites péri-prothétiques ou "endofuites" constitue la complication majeur [169].

Les endofuites correspondent à une persistance de perfusion du sac anévrisimal à partir des branches collatérales ou des extrémités de la prothèse. On distingue :

Les fuites de type I : Un flux direct persistant dans le sac anévrisimal en raison d'une étanchéité proximale inadéquate (type IA) ou distale (type IB) de la greffe de stent est dangereux et associé à un risque élevé de rupture de l'anévrisme. Ce flux direct peut également survenir en raison d'un manque d'étanchéité dans une prothèse iliaque (type IC), dans une réparation aorto-uni-iliaque et dans une greffe croisée.

L'endofuite de type I doit être traitée rapidement, dans le but d'exclure l'anévrisme de la circulation sous pression. Les options endovasculaires comprennent la dilatation du ballonnet de la greffe ou l'insertion d'un stent métallique nu, ainsi que l'apposition du tissu de la greffe de stent avec les agrafes endovasculaires sont utilisées contre la paroi aortique si la greffe est de taille adéquate, n'a pas migré et qu'il existe une zone d'atterrissage appropriée pour obtenir une étanchéité. Plus fréquemment, une extension de la zone d'atterrissage est nécessaire avec l'insertion d'un manchon tubulaire ou fenêtré au niveau proximal, ou une extension iliaque distale. Si aucune option endovasculaire n'est disponible dans un délai raisonnable et que le patient est apte à une chirurgie ouverte, une conversion ouverte peut être réalisée avec des résultats acceptables [170].

Les fuites de type II : fuite à partir d'une branche collatérale (artère lombaire, mésentérique inférieure). Le risque évolutif est moindre la radiologie interventionnelle joue un rôle central dans la prise en charge des endofuites de type II en permettant une embolisation des artères nourricières par voie endovasculaire sous angiographie. L'utilisation

de coils, d'agents liquides ou de plugs va permettre l'occlusion des vaisseaux responsables de la fuite. L'approche endovasculaire est généralement privilégiée car elle est moins invasive. Cependant, dans les cas où l'intervention endovasculaire échoue, une conversion à la chirurgie ouverte (OSR) peut être nécessaire. Cette dernière option est plus invasive et réservée aux situations spécifiques où l'endovasculaire n'a pas réussi à résoudre l'endofuite [170], [171].

Les fuites de type III : correspond à une déconnexion entre deux éléments de l'endoprothèse ou à une perméabilité du tissu de recouvrement. Le risque de croissance anévrismale est important, ces endofuites exposent l'anévrisme à une pression aortique directe, avec un risque ultérieur de rupture. Par conséquent, une intervention rapide est nécessaire, principalement par relining endovasculaire partiel ou total. Une conversion ouverte peut devenir nécessaire si les options endovasculaires ont échoué. [170].

Les fuites de type IV : microsuintements au travers du tissu de l'endoprothèse, sans conséquence clinique, dans la littérature jusqu'en 2008, aucun cas de rupture liée à une endofuite de type IV n'a été trouvé. Le type IV d'endofuite est rare avec la plupart des dispositifs modernes et ne nécessite aucune réintervention. [170]

Dépistage et suivi des endofuites :

Le diagnostic précoce des endofuites est capital pour prévenir le risque de progression et de rupture anévrismale. Le suivi radiologique après mise en place d'une endoprothèse aortique pour AAA sous-rénal comprend généralement un scanner abdomino-pelvien avec injection de produit de contraste aux temps suivants : à 1 mois post-opératoire, à 6 mois post-opératoire Puis annuellement à vie [170].

La prévention, le dépistage précoce et le traitement efficace des endofuites conditionnent le succès à long terme du traitement endovasculaire des anévrismes aortiques. La radiologie interventionnelle y joue un rôle clé par l'occlusion percutanée des fuites les plus à risque.

Tableau 03 : Complications après pose d'endoprothèse d'après les recommandations européennes.

Complications	Définition	Fréquence après 5 ans de suivi
Endofuite de type I	Persistance d'un flux sanguin en dehors de la prothèse et au sein du sac anévrysmal provenant des zones d'ancrage	5%
Endofuite de type II	Persistance d'un flux sanguin en dehors de la prothèse et au sein du sac anévrysmal provenant des branches collatérales de l'anévrysme (artère mésentérique inférieure ou lombaires)	20-40 % 10 % persistants à 2 ans
Endofuite de type III	Persistance d'un flux sanguin en dehors de la prothèse et au sein du sac anévrysmal provenant des zones de jonction ou d'un defect sur la prothèse	1-3 %
Endofuite de type IV	Persistance d'un flux sanguin en dehors de la prothèse et au sein du sac anévrysmal provenant d'une porosité des endoprothèses dans les 30 premiers jours après sa pose	1 %
Endotension	Augmentation de la taille du sac anévrysmal sans endofuite visualisée	< 1%
Migration	Mouvement de l'endoprothèse par rapport aux zones d'ancrage proximal ou distal	1 %
Kinking ou occlusion des jambages	Thrombose ou sténose de jambage	4-8 %
Les infections	Infection de la prothèse	0.5-1%
Rupture	Rupture aortique	1-5%

5 Techniques de l'intelligence artificielle :

L'intelligence artificielle fait souvent référence à l'imitation du raisonnement humain, avec la capacité d'apprendre, de stocker des informations et de décider. Cependant, le terme "intelligence" en anglais désigne la collecte et l'analyse de données, alors qu'en français il renvoie plutôt à l'intelligence humaine.

L'intelligence artificielle regroupe de nombreux outils d'analyse de données comme le data mining, le clustering, les algorithmes génétiques, la logique floue et les réseaux de neurones artificiels. Aujourd'hui, l'intelligence artificielle fait surtout référence au machine learning, des machines capables d'apprendre à partir des données. Ces systèmes utilisent les réseaux de neurones artificiels et l'apprentissage profond.

Dans ce travail, deux outils d'intelligence artificielle sont utilisés : la logique floue pour représenter la réalité de façon symbolique comme le raisonnement humain, et les réseaux de neurones artificiels pour leur capacité d'apprentissage à la base du deep learning et du machine learning.

5.1. Logique floue :

5.1.1. Introduction

Les phénomènes des sciences médicales se caractérisent par leur complexité, leur incertitude et leur imprécision. De nombreux facteurs interviennent dans ces processus, mais leur effet est souvent mal connu. La modélisation mathématique classique (équations différentielles, biostatistiques) ne permet pas de représenter l'ensemble des paramètres. Les analyses statistiques ne font que donner un résultat significatif ou non, ignorant toute une gamme de mesures. Ces modèles numériques sont rigides et difficiles à maîtriser par les utilisateurs.

De nouveaux outils basés sur l'intelligence artificielle permettent d'analyser l'imprécis et l'incertain : logique floue, réseaux de neurones, systèmes neuro-flous, algorithmes génétiques, colonies de fourmis [171][172].

Nous appliquons ici la logique floue pour analyser les données sur les anévrismes. Nous présentons les principes de base sans développer la théorie, pour en garder les éléments nécessaires à la compréhension et l'application.

5.1.2. L'incertain et le raisonnement humain

L'esprit humain ne fait pas de distinction franche entre le précis, l'incertain et le net. Il approxime les événements en combinant des paramètres incomplets pour en déduire un résultat net. La décision est une synthèse, sans limite franche entre précis et incertain. L'esprit mathématique cartésien n'admet pas le doute, les valeurs doivent être nettes et précises, ce qui ne résout pas la complexité des phénomènes naturels.

Le cerveau humain est adapté aux situations de la vie quotidienne. Garer une voiture prend une minute à l'humain, de façon approximative, alors que l'ordinateur a besoin de milliers de calculs complexes (Figure 46). L'esprit humain manipulant l'information subjective et vague raisonne en flou. Il formalise le traitement de l'ignorance partielle et de l'inconsistance. Il peut tirer une valeur nette d'un environnement incertain, comprendre des phénomènes, faire des prédictions, générer des hypothèses et prendre des décisions.

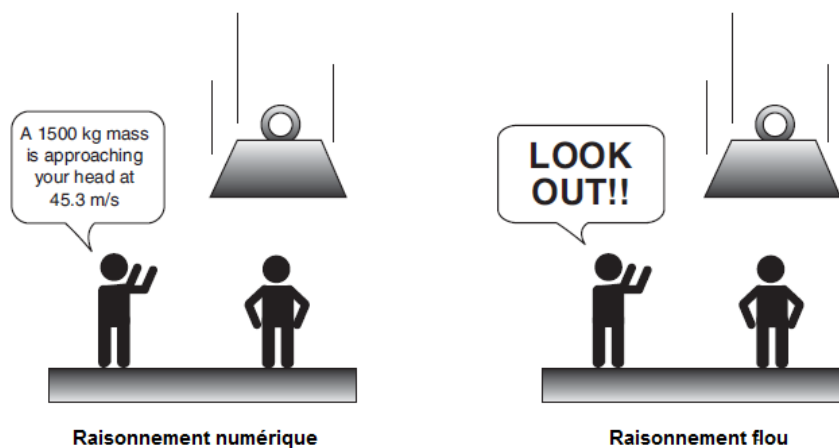


Figure 46 : Raisonnement numérique et flou [173].

Les mathématiciens se sont rendus compte qu'il existe autant de logiques que d'axiomatics choisies. La logique floue, qui peut sembler choquante, dépasse la logique classique supposée nette et précise.

En intelligence artificielle, les systèmes experts tentent de reproduire le savoir de l'expert, qui sait utiliser le flou de la réalité pour faire des prévisions avec des données incomplètes. Depuis 1950, l'évolution de la logique a été considérable avec le développement de l'informatique. Les logiciens ont dû résoudre les contradictions de la logique classique et proposer des logiques évolutives. Le paradoxe du barbier de Russell a montré les limites de la logique classique. Russell a alors développé une théorie d'incomplétude, jusqu'à ce que Gödel et Church démontrent les limites de tous les systèmes formels. Dans la logique classique, une

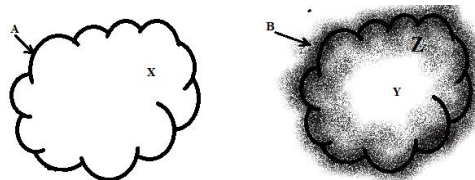
proposition est vraie, fausse ou inconnue. Mais le raisonnement humain s'appuie sur des connaissances inexactes, incertaines ou imprécises. [174].

Le progrès s'accompagne d'une complexité croissante dans tous les domaines. Cela nécessite de nouvelles théories pour traiter cette complexité, ainsi que des données de plus en plus imprécises. Dans les sciences de la vie, les informations sont incertaines et imprécises par nature. La logique floue est donc nécessaire pour analyser ces systèmes complexes aux données incomplètes. [175] ;[176] ; [177].

5.1.3. Théorie des ensembles flous

Dans la théorie des ensembles classique, un élément appartient ou n'appartient pas à un ensemble. Cela ne permet pas de rendre compte de situations graduelles fréquentes. Il est facile de définir l'ensemble des pommes, mais plus difficile celui des pommes mûres, la maturité étant progressive. Pour traiter ces situations, la notion d'ensemble flou a été créée [178]. La théorie des ensembles flous repose sur l'appartenance partielle ou graduelle aux ensembles. Les contours des ensembles flous sont "flous" ou "gradués" [179].

En logique classique, un élément x appartient ou non à un ensemble X . En logique floue, x peut appartenir à un ensemble flou avec un degré d'appartenance (ex: 0.8). Cette idée est importante car définir un intervalle $[a,b]$ exclut strictement b , ce qui peut entraîner une perte d'information. (figure 47).



Ensemble classique (A)

Ensemble flou (B)

$X \in (A)$; $Y \in (B)$; $X \notin (B)$; $Y \notin (A)$; $Z \in \equiv (B)$ ou $Z \notin \equiv (B)$

Figure 47: Comparaison d'un ensemble classique et un ensemble flou [180].

Principes de la logique floue.

La logique floue est une branche des mathématiques et à ce titre, toute une série de notions fondamentales sont développées. Ces notions permettent de justifier et de démontrer certains principes de base. Dans ce qui suit, on ne retiendra que les éléments indispensables à la compréhension du principe de son application. Ces éléments sont :

- les variables floues
- les règles d'inférences

5.1.4. Variables floues

Contrairement aux variables binaires qui sont définies par les deux états « vrai » ou « faux », en binaire le (1 et 0), les variables floues présentent toute une gradation entre la valeur « vrai » et la valeur « faux » [181-187]. Si l'on désire classer le jour par degré en définissant la variable « nuit » entre (20h et 5h) du matin, la variable « jour » entre (5h et 20h), la logique binaire donne la représentation de la (figure X) pour les deux variables «nuit» et «jour»

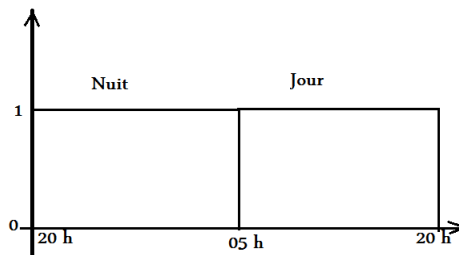


Figure 48 : Représentation des variables suivant la logique binaire

Cette fonction peut être définie par :

$$\text{singleton } (x) = \begin{cases} 1 & \text{si } x = x_0 \\ 0 & \text{si } x \neq x_0 \end{cases}$$

La représentation binaire de la logique classique (vrai/faux) pour décrire le passage du jour à la nuit est très éloignée de la réalité et du raisonnement humain. Celui-ci n'opère pas de distinction franche entre "nuit" et "jour", le passage se fait de manière progressive. On parlera de "plutôt nuit" aux alentours de 4-5h du matin, et "plutôt jour" un peu après.

La logique binaire est simple mais peu naturelle. Avec la logique floue, les variables ne sont plus binaires mais présentent une infinité de valeurs possibles entre "jour" et "nuit". Chaque variable doit alors être "fuzzyfiée", c'est-à-dire décrite par des fonctions d'appartenance graduelles. Cela permet de mieux représenter la réalité.

• *Fuzzyfication* :

Il s'agit là de convertir les variables numériques de mesure en variables linguistique en langage humain. Toutes les variables d'entrée et de sortie du système sont ainsi fuzzyfiées [188] ; [189]. La liaison des entrées à la sortie du système obéissent aux règles d'inférences.

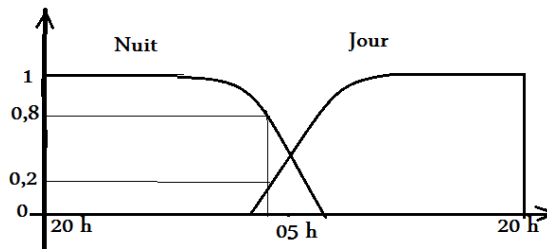


Figure 49 : Représentation des variables suivant la logique floue

On constate que cette représentation est beaucoup plus proche à celle de ce que se produit réellement puisqu'elle permet de faire intervenir des notions telles que « plutôt jour », « presque nuit » ... Cet avantage se fait, évidemment, au détriment de la simplicité de la représentation. Un autre exemple illustratif de l'incapacité de la logique classique de répondre à la vie de tous les jours. Si l'on désire classer les âges des personnes en définissant la variable « Bébé » entre 0 et 2 ans par exemple, la variable « Enfant » entre (2 et 10 ans), la variable « Jeune » entre (10 et 20 ans), la variable « Adulte » entre (20 et 50 ans) et la variable « Vieux » au-delà de (50 ans). La logique binaire donne la représentation de la (figure 50) pour les variables de l'âge.

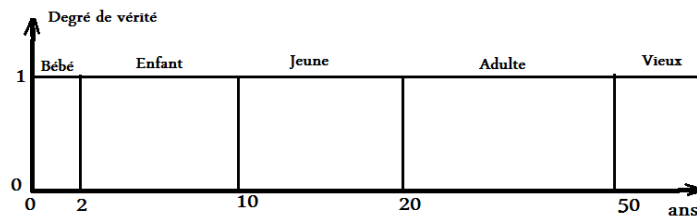


Figure 50 : Représentation des variables suivant la logique binaire

Avec la logique floue, le passage entre catégories comme "Jeune" et "Adulte" n'est pas une transition franche mais s'effectue de manière progressive. On parlera de "plutôt jeune" ou "plutôt adulte" pour les âges intermédiaires. Les variables ne sont plus binaires mais présentent une infinité de valeurs possibles entre les catégories. Cela permet de mieux représenter la réalité d'un continuum plutôt que des catégories strictes séparées. (Figure 51).

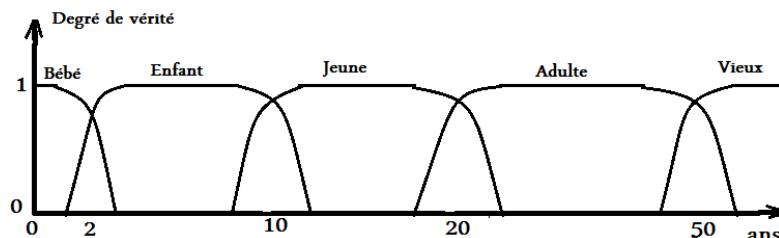


Figure 51 : Représentation des variables suivant la logique floue

On constate que cette représentation est beaucoup plus proche à la réalité humaine puisqu'elle permet de faire intervenir des notions telles que « très jeune », « un peu adulte » ...

Autre exemple. Supposons que nous voulions définir l'ensemble des personnes de «poids moyen». En logique classique, nous conviendrons par exemple que les personnes de poids moyen sont celles dont le poids est compris entre (60 kg et 80 kg). La fonction caractéristique de l'ensemble donne «0» pour les tailles hors de l'intervalle (60 kg ; 80 kg) et «1 » dans cet intervalle. L'ensemble flou des personnes de «poids moyen » sera défini par une «fonction d'appartenance » qui diffère d'une fonction caractéristique par le fait qu'elle peut prendre n'importe quelle valeur dans l'intervalle (0, 1). A chaque poids possible correspondra un «degré d'appartenance » à l'ensemble flou des «poids moyens», compris entre (0 et 1). (figure 52 et 53).

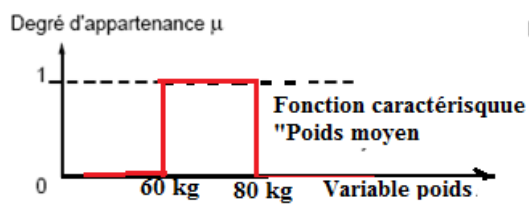


Figure 52 : Représentation Classique

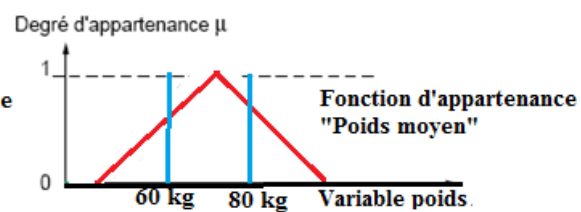


Figure 53. Représentation floue

La logique floue permet d'introduire de la gradualité grâce aux fonctions d'appartenance. Plusieurs ensembles flous peuvent être définis sur une même variable. Par exemple, les ensembles "poids léger", "poids moyen" et "obèse" pour le poids. Une personne de 80 kg peut appartenir à l'ensemble "obèse" avec un degré 0,4 et à "poids moyen" avec un degré 0,6. Autre exemple : dire qu'une personne est de sexe masculin et assez jeune avec une probabilité de 0,4. Le degré d'appartenance aux ensembles "masculin" et "jeune" peut être défini de manière graduelle après observation (par exemple 0,89 pour "jeune").

Le concept de degré d'appartenance est crucial en logique floue et permet de définir toutes ses structures. (Figure 54).

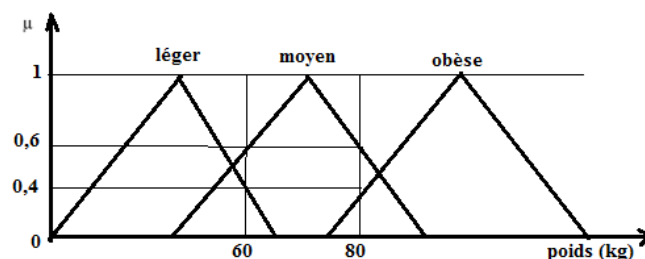


Figure 54 : Fonction d'appartenance, variable et terme linguistique

On peut évidemment choisir n'importe quelle forme pour les fonctions d'appartenance. Cependant, les formes les plus utilisées sont les formes triangulaires et trapézoïdales. On peut définir une fonction d'appartenance trapézoïdale à l'aide de paramètres réels a, b, c, d par :

$$f(x) = \begin{cases} 0 & \text{si } x \leq a - c \text{ ou si } x \geq b + d \\ \frac{x}{c} + (1 - \frac{a}{c}) & \text{si } a - c < x < a \\ \frac{-x}{d} + (1 + \frac{b}{d}) & \text{si } b < x < b + d \end{cases}$$

Si $a = b$, la courbe est triangulaire.

Il n'existe pas de règles générales pour le choix entre ces formes de représentation. La représentation par trapèze est facile à construire et à manipuler, et elle évite toute ambiguïté avec la représentation de la densité de probabilité de distributions statistiques. (figure 55).

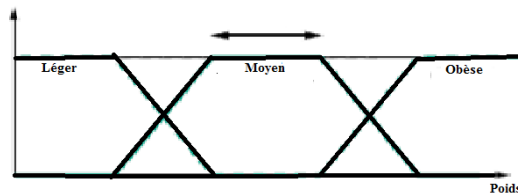


Figure 55 : Fonction d'appartenance linéaire par morceau

Fuzzyfication de la fonction d'appartenance

Tout sous-ensemble flou A de U peut être défini par une fonction mathématique particulière qui donne une pondération à chaque élément $X \in U$. Cette fonction est appelée fonction d'appartenance, elle est notée par $\mu_A(X)$: $\mu_A : x \in U \rightarrow \mu_A(x) \in [0,1]$

La valeur prise par cette fonction désignée par facteur d'appartenance (degré d'appartenance), traduit la mesure d'appartenance des éléments génériques $X \in U$ dans le sous-ensemble flou A . Il s'agit d'établir une relation entre le degré de vérité de la variable floue et la grandeur d'entrée correspondante (figure 56). On parle de *fuzzyfication*. Cette opération permet de passer du domaine réel au domaine du flou. Elle consiste à déterminer le degré d'appartenance d'une valeur (mesurée par exemple) à un ensemble flou. Par exemple si la valeur courante de la variable «Température» est de 10, le degré d'appartenance à la fonction d'appartenance «température froide» est égale à 0,5 qui sont le résultat de la fuzzyfication. On peut aussi dire que la proposition «Température froide» est vraie à 0,5. On parle alors de

degré de vérité de la proposition. Degré d'appartenance et degré de vérité sont donc des notions similaires.

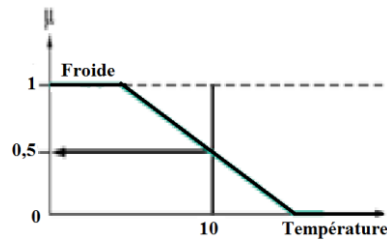


Figure 56 : Fuzzyfication d'une fonction d'appartenance

Règles d'inférences

Une implication floue entre deux propositions élémentaires est une relation R entre les deux ensembles U_1 et U_2 , quantifiant le degré de vérité de la proposition :

$$si (x \text{ est } A) \text{ alors } (y \text{ est } B)$$

Où, A et B sont des sous-ensembles de U_1 et U_2 respectivement. En logique floue, il existe plusieurs manières pour générer les implications floues, les plus souvent utilisées sont celles de Mamdani et Larsen.

On appelle règles d'inférence l'ensemble des différentes règles reliant les variables floues d'entrée d'un système aux variables floues de sortie de ce système. Elles doivent être définies par le concepteur de système de détection en fonction de son expérience.

Une règle est du type : **SI** «prédicat » **ALORS** «conclusion ».

«**SI** température élevée **ET** air sec **ALORS** Bon confort».

La base des règles relie les entrées à la sortie selon les relations enregistrées par l'expert.

Exemple des relations entre les facteurs de risque de l'anévrisme (Figure 57).

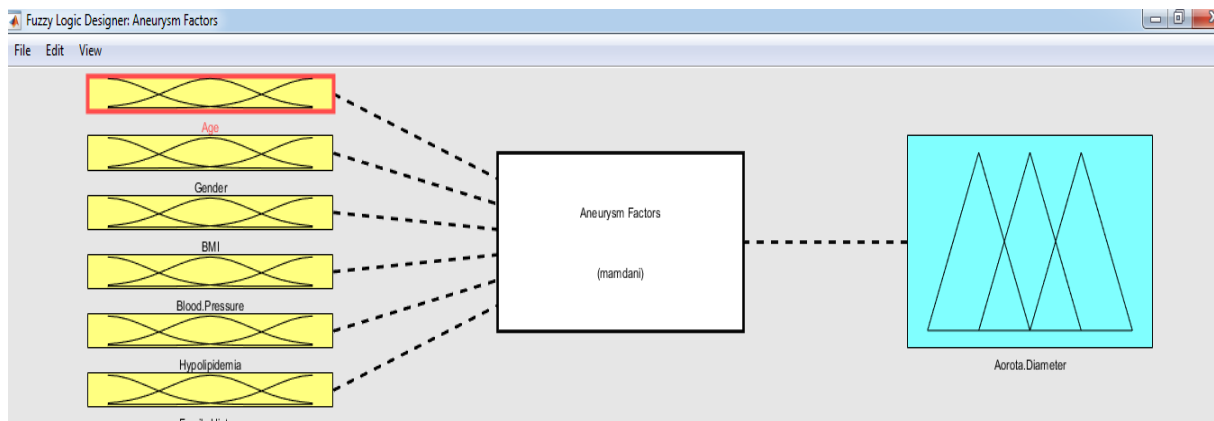


Figure 57: Base des règles d'un système de contrôle appliqué au diagnostic médicale

Combinaison des règles

L'ensemble des règles se présente sous la forme d'une énumération du type :

Si condition 1 et condition 2 (et) alors action sur les sorties

Si condition 3 et condition 4 (et) alors action sur les sorties ...

Ces règles permettent de relier les variables floues d'entrée aux variables floues de sortie à l'aide de différents opérateurs. Elles doivent être définies par le concepteur du système en fonction des résultats de mesures effectuées ou des valeurs prélevées du milieu naturel.

Agrégation

L'ensemble flou global de sortie est construit par agrégation des ensembles flous obtenus par chacune des règles concernant cette sortie. L'exemple suivant présente le cas où deux règles agissent sur une sortie. On considère que les règles sont liées par un «OU» logique, et on calcule donc le maximum entre les fonctions d'appartenance résultantes pour chaque règle. (Figure 58).

L'opérateur choisi dans ce cas d'étude est l'opérateur **ET** réalisé par le calcul du minimum et représente l'intersection : $A \cap B = \{x / x \in A \wedge x \in B\}$

Représenté par la fonction : $\mu_{A \cap B}(x) = \mu_A(x) \wedge \mu_B(x) = \min(\mu_A(x), \mu_B(x))$.

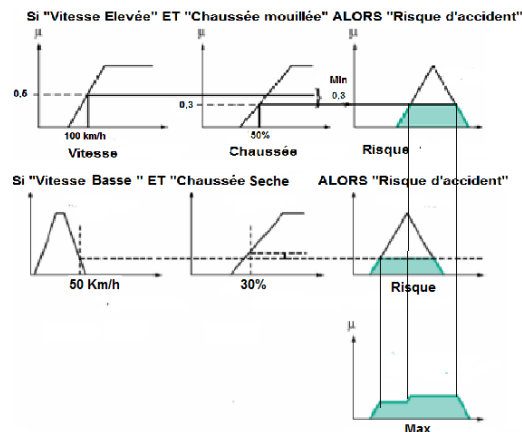


Figure 58: Agrégation des règles

Défuzzification

Un système flou multi-entrées multi-sorties (mimo), avec n entrées et m sorties peut être représenté par une collection de m systèmes flous multi-entrées mono-sortie (MISO) comme le montre la figure X. Où chaque règle a la forme suivante :

$$R^l : \text{si } \left(x_1 \text{ est } A_1^{j_{1l}} \right) \text{ et } \dots \text{ et } \left(x_n \text{ est } A_n^{j_{nl}} \right) \text{ alors } \left(y_j \text{ est } B^{jl} \right), \quad l=1,2,\dots,M$$

Les valeurs obtenues lors de la combinaison des règles appliquées aux intervalles flous de la variable de sortie définissent une fonction d'appartenance. Il s'agit de convertir cette information en une grandeur physique. Après un raisonnement et la composition d'un résultat flou, nous sommes souvent obligés de déduire une valeur unique des résultats à des fins d'interprétation ou de comparaison. Cette valeur unique peut être obtenue à l'aide des méthodes de décomposition des nombres flous appelées défuzzyfication. La défuzzyfication est la dernière étape du raisonnement flou. Cette variable de sortie doit être convertie en une grandeur.

Défuzzyfication par centre de gravité :

Plusieurs façons de faire peuvent être envisagées. La plus souvent utilisée est la défuzzyfication par calcul du centre de gravité. Cela consiste à trouver le point d'équilibre de la région de solutions floues en utilisant l'expression :

$$y = \frac{\sum_{i=1}^n y_i \cdot \mu(y_i)}{\sum_{i=1}^n \mu(y_i)}$$

Où, n représente le nombre de niveaux de quantification de la sortie.

Il s'agit là de calculer le centre de gravité de la fonction d'appartenance de la variable de sortie (Figure 59). Le calcul du centre de gravité permet bien d'obtenir une seule valeur pour la grandeur de sortie [190].

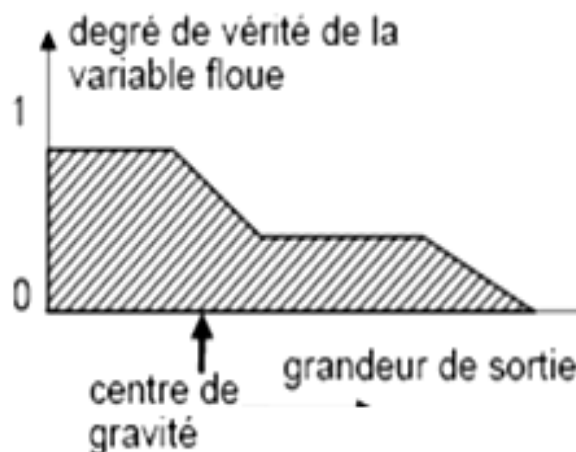
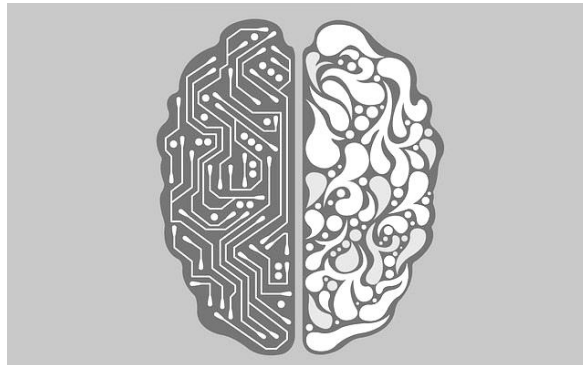


Figure 59: Représentation graphique de la méthode du centre de gravité

5.2. Réseaux de neurones artificiels (RNA)



5.2.1 Introduction aux réseaux de neurones artificiels (RNA)

Nous présentons ici une technique d'analyse basée sur les réseaux de neurones artificiels. Un premier chapitre expose les principes de base et concepts clés des RNA, illustrés par des exemples d'application. L'objectif est de fournir une technique accessible aux non-experts pour analyser des systèmes complexes.

5.2.2 Généralités :

Les réseaux de neurones artificiels (RNA) s'inspirent du fonctionnement du cerveau et des neurones. Ils sont capables d'apprendre à partir de données.

Les RNA trouvent des applications dans différents domaines, dont les sciences médicales.

Leur capacité à analyser des données expérimentales permet de résoudre des systèmes complexes.

Les RNA apprennent à faire correspondre un espace d'entrée (données) à un espace de sortie (résultats). Cela permet par exemple de poser un diagnostic médical à partir de symptômes, le réseau apprenant la correspondance symptômes-diagnostic sur des cas réels.

Les techniques connexionnistes des RNA sont ainsi utilisées pour traiter des problèmes médicaux complexes, notamment en diagnostic d'urgence, à partir de l'analyse de données.

5.2.3. Définition

Les réseaux de neurones artificiels (RNA) sont composés de processeurs élémentaires fonctionnant en parallèle et fortement interconnectés. Chaque processeur calcule un résultat unique à partir du signal d'entrée. L'ensemble forme une hiérarchie constitutive du réseau.

Les cerveaux biologiques, même simples, résolvent des fonctions complexes inaccessibles aux ordinateurs, comme la reconnaissance et la généralisation. La compréhension des mécanismes de réflexion naturels, comme le stockage d'informations sous forme de modèles, permet de s'en inspirer.

La programmation classique ne permet pas de modéliser ces processus. Les RNA parallèles peuvent résoudre des situations complexes, réagir, s'auto-organiser, apprendre voire oublier. Ils imitent ainsi le fonctionnement des systèmes neuronaux biologiques. [191].

A travers cette dynamique de lecture des données expérimentales, la résolution des situations complexes [192]. La principale caractéristique de ces réseaux est l'apprentissage [193]. Des études montrent la capacité de ces réseaux à représenter variables et structures de données. [194] ; [195]. [196].

Bien que des percées récentes démontrent que les réseaux de neurones sont remarquablement adeptes du traitement, de l'apprentissage séquentiel et l'apprentissage par renforcement, les scientifiques cognitifs et les neuroscientifiques font valoir que les réseaux de neurones sont limités dans leur capacité à représenter variables et structures de données [197].

5.2.4 Analogie avec le cerveau

Le neurone

a. Structure

Le cerveau humain reste en partie mystérieux mais on sait qu'il contient environ 100 milliards de neurones interconnectés. Sa puissance vient du nombre de neurones et de leurs multiples connexions.

Les systèmes biologiques peuvent effectuer des tâches complexes sans opérations quantitatives, et sont capables d'apprendre et de généraliser. Ces propriétés rendent les neurones biologiques attractifs comme modèles de calcul pour traiter des données complexes.

Le neurone se compose d'un corps cellulaire avec des dendrites qui acheminent l'information vers le corps, et d'un axone qui transmet l'information traitée vers d'autres neurones. La transmission se fait via les synapses qui sont les jonctions entre les dendrites et axones de neurones différents. (Figure 60a, b).

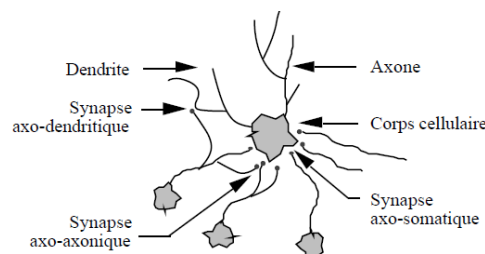


Figure 60a : Un neurone avec son arborisation dendritique

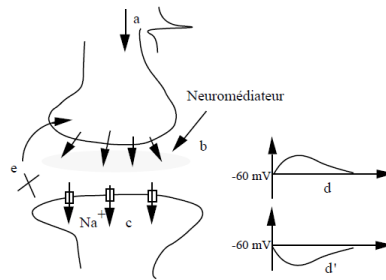


Figure 60b. Fonctionnement au niveau synaptique

- a) Arrivée d'un potentiel d'action.
- b) Libération du neuromédiateur dans l'espace synaptique.
- c) Ouvertures des canaux ioniques dues au neuromédiateur.
- d) Génération d'un potentiel évoqué excitateur.
- d') Génération d'un potentiel évoqué inhibiteur. Les synapses inhibitrices empêchent la génération de potentiel d'action.
- e) Fermeture des canaux, élimination ou recapture du neuromédiateur

Les neurones biologiques sont extrêmement complexes dans leur fonctionnement. Ils transmettent l'information via des neurotransmetteurs et il existe de nombreux types de neurones. Ensemble ils forment un processus non binaire, instable et asynchrone que les systèmes artificiels ne peuvent reproduire.

Les réseaux de neurones artificiels (RNA) ne tentent de reproduire que les éléments les plus basiques des neurones biologiques, de façon très primitive. Ce sont des modèles mathématiques inspirés du système nerveux.

Tous les neurones naturels ont les mêmes composants de base : dendrites (entrées), soma (traitement), axone et synapses (sortie). Les RNA simplifient cela en entrées traitant un signal et produisant une sortie transmise à d'autres neurones artificiels. Ils ne capturent qu'une partie très basique du fonctionnement neuronal biologique.

Le neurone artificiel

Structure

Un neurone artificiel est constitué d'un processeur élémentaire. Les neurones en amont lui transmettent un nombre de variables d'entrées. Chaque entrée est associée à un coefficient mathématique qui la distingue appelé poids (weight) (Figure 61).

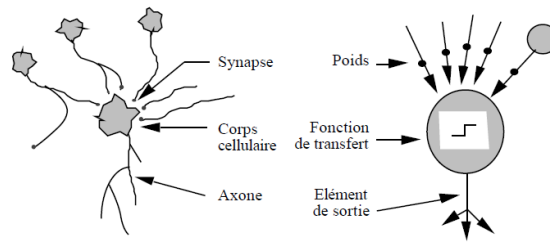


Figure 61. Equivalence entre le réseau biologique et artificiel [198].

Différentes entrées du réseau sont représentés par des symboles $x(n)$. Chacune de ces entrées est multipliée par un poids de connexion. Ces poids sont représentés par $w(n)$. Dans le cas le plus simple ces produits sont simplement additionnés , transmis à travers une fonction de transfert et un résultat à la sortie est généré. Ce processus est rendu possible par de différentes fonctions de sommation ainsi que d'autres fonctions de transfert.

5.2.5 Présentation :

Dans un réseau de neurones artificiels, l'information se propage de la couche d'entrée vers la couche de sortie, en passant par zéro, une ou plusieurs couches intermédiaires (dites couches cachées). Chaque neurone est connecté à tous les neurones des couches précédente et suivante (sauf entrée/sortie).

Les RNA peuvent stocker de la connaissance empirique dans les poids synaptiques, obtenus par apprentissage. Ils ressemblent au cerveau : connaissance acquise par apprentissage et stockée dans les connexions (poids).

Le perceptron (un neurone) fait des opérations simples mais est limité. Le Perceptron Multi-Couches (PMC) est plus complexe et performant. Les RNA assemblent des neurones formels en réseaux pour traiter l'information de manière inspirée du cerveau. (Figure 62).



Figure 62 : Schématique d'un réseau de neurones multi couches [199].

Ces réseaux à perceptron multicouches sont les plus utilisés. Mais il en existe d'autres types, notamment les réseaux récurrents qui sont des réseaux qui bouclent sur eux-mêmes.

Le neurone mathématique

Le neurone formel est donc une modélisation mathématique qui reprend les grands principes du fonctionnement du neurone biologique et particulièrement, la sommation des entrées. Sachant qu'au niveau biologique, les synapses n'ont pas toutes la même «valeur». L'algorithme pondère la somme de ses entrées par des poids synaptiques (coefficients de pondération). Chaque neurone est caractérisé par la fonction f connu comme fonction de transfert.

Le principe du neurone artificiel peut être simplifié dans la figure 63. Ce neurone peut être considéré comme un opérateur (ou un élément processeur) qui reçoit plusieurs entrées et fournit une sortie seulement lorsque la somme dépasse un certain seuil interne. L'évaluation de la sortie se fait par la somme pondérée des entrées. Mathématiquement, ceci peut être modélisé par les équations suivantes :

$$Y = f\left(\sum_{j=1}^n w_j x_j - f(s)\right)$$

Où : x_j sont les vecteurs d'entrée

w_j sont les vecteurs des poids synaptiques.

Le terme $(x_0 \cdot w_0)$ représente la valeur du seuil interne qui doit être dépassée pour l'activation du neurone.

$f(s)$: représente la fonction d'activation.

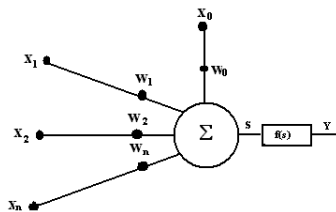


Figure 63. Structure d'un réseau de neurones avec (n) entrées et une sortie

Ainsi, lorsque les signaux d'entrée x_1, x_2, \dots, X_n atteignent le neurone avec les poids w_1 associés, w_2, \dots, w_n , respectivement, l'entrée résultant du neurone est nette et la somme pondérée est $\sum_{i=1}^n w_i x_i$. Si le seuil est b et la fonction d'activation f , la sortie sera alors :

$$y = f\left(\sum_{i=1}^n w_i x_i - b\right)$$

Les sorties sont binaires et la fonction f comme fonction échelon sera :

$$f(x) = \begin{cases} 1 & \text{if } x \geq 0 \\ 0 & \text{if } x < 0 \end{cases}$$

Pour ce faire, l'unité de base de réseaux de neurones artificiels est de simuler les quatre fonctions de base de neurones naturels. La figure 64, montre une représentation d'un neurone artificiel.

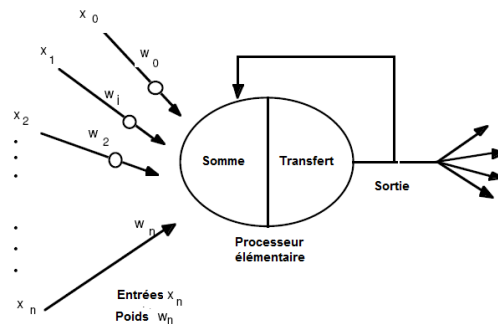


Figure 64 : Principe de base d'un neurone artificiel [200].

Fonctions d'activation

Plusieurs fonctions d'activation monotones croissantes et bornées peuvent être utilisées. Ce vaste choix de fonctions permet aux modèles neuronaux de posséder des caractéristiques très variées. Le sigmoïde reste la fonction d'activation la plus utilisée.

L'un de ses avantages est sa dérivabilité. Historiquement, cette propriété a eu un impact important ; du fait qu'elle a permis de développer des algorithmes d'apprentissage à base du gradient pour les réseaux multicouches. La sigmoïde trouve également sa place dans d'autres applications dont plusieurs de celles-ci exigent une sortie continue plutôt qu'une sortie de type tout/rien [201].

La fonction d'activation de la couche cachée est nécessaire afin d'introduire la non linéarité du réseau et le rendre ainsi capable de capturer la relation entre l'entrée et la sortie du réseau. Pour l'unité de la sortie, la sélection de la fonction d'activation est basée sur la distribution des valeurs cibles désirées. Malgré ses propriétés avantageuses, la non linéarité sigmoïdale présente certains inconvénients liés essentiellement à l'évaluation et à l'implémentation des termes exponentiels.

La sigmoïde binaire, ayant deux niveaux de saturation (0 et 1), est définie comme suit

$$d(s) = \frac{1}{1 + e^{-gs}}$$

Sa dérivée est donnée par :

$$d'(s) = g.\theta + [1 - f(s)] > 0$$

Une sigmoïde bipolaire peut être exprimée par la tangente- hyperbolique :

$$d(s) = \tanh(cs) = \frac{1 - e^{-gs}}{1 + e^{-gs}}$$

Sa dérivée est donnée par :

$$d'(s) = \frac{df(s)}{ds} = \frac{1}{2}[1 - f(s)^2]$$

Les neurones ayant des fonctions d'activation bipolaires sont appelés «neurones de McCulloch-Pitts» [202].

Le gain [g] détermine la forme de la sigmoïde, c'est à dire la pente de la région de transition. On note que lorsque le gain [g] s'approche de l'infinie, la sigmoïde tends vers un élément tout/rien. Yamada, T. et Yabuta, Y., (1992) ont suggéré une méthode du gradient pour l'ajustement automatique de la forme optimale de la sigmoïde [203].

De toute façon, la sortie de la fonction de sommation est considérée une entrée à la fonction de transfert. Le rôle de la fonction de transfert et la binarisation à sa sortie après comparaison à la valeur seuil. La fonction la plus utilisée est la sigmoïde.

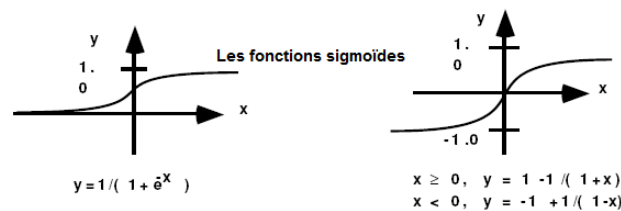


Fig 65: Les fonctions sigmoïdes [204].

Les différents types de RNA

Les réseaux "feed-forward" :

Les Perceptrons :

Le Perceptron monocouche :

C'est historiquement le premier RNA, c'est le Perceptron de Rosenblatt. C'est un réseau simple, puisque il ne se compose que d'une couche d'entrée et d'une couche de sortie. Il est calqué, à la base, sur le système visuel et de ce fait a été connu dans un but premier de reconnaissance des formes. Cependant, il peut aussi être utilisé pour faire de la classification et pour résoudre des opérations logiques simples (telle "ET" ou "OU"). Sa principale limite est qu'il ne peut résoudre que des problèmes linéairement séparables. Il suit généralement un apprentissage supervisé selon la règle de correction de l'erreur (ou selon la règle de Hebb).

Le Perceptron multicouches (PMC) :

C'est une extension du précédent, avec une ou plusieurs couches cachées entre l'entrée et la sortie. Chaque neurone dans une couche est connecté à tous les neurones de la couche précédente et de la couche suivante (excepté pour les couches d'entrée et de sortie) et il n'y a pas de connexions entre les cellules d'une même couche. Les fonctions d'activation utilisées dans ce type de réseaux sont principalement les fonctions à seuil ou sigmoïde.

Comme notre application utilise ce type de réseaux de neurones, on se limite à la seule typologie de ce neurone sans pour autant s'étaler sur les autres réseaux tel que les réseaux à fonction radiale, les réseaux 'feed-back', les réseaux de Hopfield ou les réseaux ART (adaptive resonance theory).

5.2.6 L'apprentissage des réseaux de neurones

L'apprentissage est une phase clé du développement d'un réseau de neurones artificiels (RNA). Il consiste à modifier le comportement du RNA jusqu'à l'obtention du comportement désiré, généralement par ajustement des poids des connexions.

L'apprentissage utilise des exemples de comportements souhaités. On distingue l'apprentissage supervisé, où les exemples sont des couples entrée/sortie, de l'apprentissage non supervisé où seules les entrées sont fournies.

Après apprentissage, les poids sont fixés pour la phase d'utilisation. Certains RNA ont un apprentissage permanent pour s'adapter aux fluctuations des données.

L'apprentissage est donc l'ajustement des poids synaptiques pour que le RNA réalise la tâche demandée. C'est la caractéristique principale des RNA, qui peuvent apprendre de différentes manières

.Note: afin de modifier le réseau, il suffit d'intervenir sur les poids $[W]$ qui sont sous forme de nombres réels liant les neurones. Comme ces poids interviennent dans la somme effectuée par chaque neurone (la somme est pondérée), il est possible de modifier le réseau en changeant leurs valeurs sans pour autant changer le réseau lui-même. Ceci dit, il n'est pas évident de savoir de combien il faut modifier ces poids. Le but est d'arriver à converger vers une erreur minimale.

Partie II

Partie Pratique

Nous avons recueilli et analysé dans cette partie les données de 901 patients consécutif ayant bénéficié d'un angioscanner abdominal dans notre service depuis 2021 et ayant remplis les critères d'éligibilité à l'étude déjà fixé au protocole initial.

C'est une étude mono centrique avec un recrutement de toute la wilaya de Sétif des patients orientés dans les différents services de notre hôpital pour une exploration abdominale quelque soit le motif d'appel, la cohorte est formée de population générale d'adultes dont l'âge minimal accepté est de 40 ans.

Dans notre étude nous nous intéressons à étudier la variabilité du diamètre de l'aorte selon la corpulence des personnes. Nous avons donc recueilli pour chaque personne la taille et poids, les différents facteurs de risque de constitution d'AAA, les antécédents personnels et familiaux de maladies cardiovasculaires par un interrogatoire direct des patients et des indications cliniques à partir des demandes formulées par les médecins demandeurs.

Nous avons ensuite pratiqué un angioscanner abdominal pour le motif d'appel ou bien à la suite d'une découverte fortuite d'un AAA.

La mesure du diamètre de l'aorte abdominale sous rénale est systématique et immédiatement enregistré sur logiciel d'analyse et de programmation MATLAB 2016 « Matrix Laboratory » pour étude multi variée avec croisements selon les objectifs ciblés.

La création, l'amélioration et l'optimisation d'une base de données pour l'entraînement des algorithmes de l'intelligence artificielle a été faite avec analyse et discussion des résultats en appliquant deux techniques différentes logique flou et réseaux de neurones artificiels.

Une fois notre base de données finalisée, nous avons créé et optimisé notre modèle de façon progressive en changeant les variables à chaque étape et comparaison des résultats de la précision et de l'évolution de l'erreur d'apprentissage.

Nous terminons ce chapitre par des conclusions et des recommandations.

1. Problématique :

L'anévrisme de l'aorte abdominale est une pathologie fréquente largement sous diagnostiquée, aux conséquences dramatiques en cas de complication.

Un taux de décès de 30 jours est observé dans 59,2% des cas quand celle-ci est uniquement symptomatique selon Howard et coll. Ce taux passe entre 75 et 90% quand l'anévrisme est rompu [205].

Seulement 15% parmi tous les patients consultant aux urgences pour une dégradation brutale de leur AAA étaient déjà connu et surveillés [206].

Devant l'enjeu important de santé publique que constitue l'anévrisme de l'aorte abdominale, un programme de dépistage organisé est déjà établi dans plusieurs pays [207], [208]. [209].

Ce choix est basé principalement sur les résultats de quatre essais contrôlés et randomisés : Chichester study en Angleterre, Western Australian Trial, danoise Viborg study et la MASS study aux états unis [210].

En France, la Haute Autorité de Santé (HAS) a émis en 2012 des recommandations concernant ce dépistage [81], [211], à la différence du cancer colorectal ou du cancer du sein, ce n'est pas un dépistage organisé qui est préconisé, mais un dépistage opportuniste, ciblé et unique.

Cependant, il n'existe pas d'étude ou de programme national de dépistage en Algérie. L'objectif principal de notre étude est d'estimer la prévalence de l'AAA chez tous les patients reçus en service de radiologie du CHU de Sétif pour TDM abdominale durant la période entre 2021 et 2023 afin d'avoir une idée sur l'enjeu de santé publique chez nous et d'alerter les instances nationales en émettant des recommandations appropriées.

Comme le terme « anévrisme » désigne une « augmentation localisée du diamètre artériel avec perte du parallélisme de la paroi des artères », la Société Française de Médecine Vasculaire, l'European Society of Cardiology, ainsi qu'un certain nombre d'auteurs,

considèrent qu'une aorte abdominale est anévrismale quand son diamètre est supérieur à 30 mm ou à 1,5 fois le diamètre normal ou diamètre d'amont. Il existe actuellement un certain nombre de discussions sur la pertinence d'un seuil pathologique fixe. En effet, certains estiment que celui-ci ne permet pas de tenir en compte des variations dites constitutionnelles de la taille des vaisseaux.

D'autres ont montré que l'utilisation d'un seuil à 1,5 fois le diamètre de l'aorte abdominale sous-rénale, couplé à un modèle de prédiction du diamètre aortique basé sur la surface corporelle, permettait de détecter près de 30% d'anévrismes supplémentaires.

Dans ce cadre, nous proposons une analyse intelligente de la variabilité interindividuelle du diamètre de l'aorte abdominale sous rénale en relation avec les facteurs de risque impliqués.

2.Objectifs :

2.1 Objectif principal :

Estimer la prévalence de l'AAAs chez tous les patients reçus en service de radiologie du CHU de Sétif pour TDM abdominale durant la période de l'étude.

2.2 Objectifs secondaires :

1. Étudier la relation entre l'AAAs et les facteurs de risques impliqués ce qui permet de cibler la population concernée par un éventuel dépistage.
2. Évaluer l'utilité de l'échographie abdominale dans le dépistage de l'AAAs vue son coût moindre et son accessibilité comparée au scanner.
3. Proposer une analyse intelligente de la variabilité interindividuelle du diamètre de l'aorte abdominale sous rénale et discuter la pertinence d'un seuil pathologique fixé à 30 mm en relation avec les facteurs de risque impliqués.

3 Matériel et méthodes :

3.1 Type de l'étude :

Il s'agit d'une étude transversale descriptive mono centrique réalisée au Service de radiologie du CHU de Sétif durant la période 2021-2023.

3.2 Population d'étude :

3.2.1 Recrutement :

Notre étude concerne tous les patients se présentant au service de radiologie centrale pour un angioscanner abdominal, quelque soit le motif de consultation.

3.2.2 Critères d'inclusion :

- Age > 40 ans.
- Tout sexe confondu.

3.2.3 Critères de non inclusion :

- Patients aux antécédents de chirurgie vasculaire aortique.
- Patients ayant une pathologie aortique autres que l'anévrisme.
- Patients prenant un traitement immunomodulateur ou immunosuppresseur.
- Allergie aux produits de contraste iodé.

3.2.4 Taille de l'échantillon :

Les valeurs intervenant dans le calcul du nombre de sujet nécessaire sont :

N : le nombre de cas nécessaire.

P : la fréquence des cas retrouvée dans une autre étude ou issue des données de la littérature estimée à 4.8% pour l'AAA.

Z : le niveau de confiance (pour $\alpha= 5\%$, $Z = 1.96$).

I : la marge d'erreur entre 1 et 10 %, dans notre échantillonnage nous avons choisi une précision $i =5\%$.

Formule de calcul du nombre de sujets nécessaires : $N= Z^2 \times P (1-P) / i^2$.

Le calcul indique qu'il faut inclure 70 cas.

La taille réelle de l'échantillon de notre étude était de 901 patients afin de pouvoir analyser le maximum de diamètres aortique en fonction des variantes inters individuels, analyser plus de cas d'anévrismes et de réduire au plus bas la marge d'erreur.

3.3 Moyens :

3.3.1 Personnels :

Les différentes étapes de notre étude (recrutement, exploration, interprétation) ont été réalisées par moi-même en collaboration avec une équipe médicale et paramédicale du service de radiologie et d'imagerie médicale du C.H.U de Sétif.

L'archivage des dossiers et le traitement des données ont été réalisés par moi-même en collaboration avec l'équipe du laboratoire des systèmes intelligents de l'université de Sétif pour la programmation des logiciels d'intelligence artificielle.

Le personnel disponible ayant participé à notre travail était composé de :

- Médecin radiologue.
- Manipulateurs en imagerie médicale.
- Des secrétaires médicales chargées de la programmation des patients au scanner.
- Des réceptionnistes assurant l'accueil et l'orientation des patients.

3.3.2. Matériel :

- Scanner :

Type de machine : OPTIMA CT 540 16 barrettes GE

Date de mise en service le 27/12/2018 CHU de Sétif.

- Injecteur automatique à corps unique équipé d'un système wifi pour commande à distance.

- Produit de contraste : Hydrosoluble, non ionique, avec un dosage de 350mg/l (XENETIX).

- Console de poste traitement :

Nous avons utilisé une console du constructeur Général électrique, dotée d'une application de post traitement pour analyse vasculaire.

- Echodoppler numérique :

Type de machine : LOGIQ P/9 GE.

Date de mise en service le 2/12/2018 CHU de Sétif.

- Supports d'archivage des données :

L'archivage des images traitées avec reconstructions était réalisé sur DVD et disque dur externe.

- moyen de recueil des données :

Fiche d'informations (annexe N: 01)



Figure66 : OPTIMA CT 540 16 barrettes GE, CHU Sétif.



Figure 67 : Injecteur automatique à corps unique CHU Sétif.



Figure 68 : Produit de contraste hydrosoluble, non ionique dosage 350 mg/l.



Figure 69 : Echodoppler numérique LOGIQ P/9 GE, CHU de Sétif.

3.4 Déroulement de l'étude :

3.4.1. Recrutement des patients : à partir des structures suivantes :

- La consultation des urgences chirurgicales du CHU de Sétif.
- La consultation des urgences médicales du CHU de Sétif.
- La consultation des urgences cardiologiques du CHU de Sétif.
- Le service de médecine interne du CHU de Sétif.
- Le service de chirurgie générale du CHU de Sétif.

- Le service de pneumologie du CHU de Sétif.
- Tous les patients externes adressés au service de radiologie du CHU de Sétif dans le cadre d'une exploration abdominale.

3.4.2. Préparation avant l'examen

Réception de la lettre d'orientation écrite par le médecin traitant.

Recueil d'informations pour établir une fiche comportant un numéro d'identification (annexe N: 01).

Vérification de la fonction rénale du patient.

Recherche de notion d'allergie, notamment au produit de contraste iodé.

Consentement éclairé du patient sur les risques liés à l'injection du produit de contraste.

Explication des étapes de réalisation de l'examen.

Confection de la voie d'abord veineuse de 18 ou 20 G, avec raccordement de l'injecteur à une voie anti brachial droite.

Jeûne non nécessaire

3.4.3. Protocole d'acquisition de l'angioscanner de l'aorte :

Après réalisation d'un scanner abdominal sans injection et après injection de produit de contraste pour le motif d'appel initial, l'analyse de l'aorte abdominale se fera systématiquement dans un deuxième temps avec mesure de son diamètre.

Dans le cas de découverte d'un diamètre de l'aorte abdominale sous rénale $>$ à 30 mm, un angioscanner de l'ensemble de l'aorte sera effectué.

Une échographie abdominale sera réalisée ensuite chez le même patient afin d'analyser l'aorte abdominale et la mesurer à nouveau afin de comparer les résultats trouvés avec ceux du scanner.

a. Positionnement du patient :

- Décubitus dorsal. Tête en premier (cranio-caudal).
- Topogramme : face \pm profil (pour la modulation automatique de dose).
- Zone d'intérêt : De la base du cou aux bifurcations fémorales (en dessous des têtes fémorales).
- L'acquisition est réalisée dans un sens cranio-caudal, en mode hélicoïdal volumique, en coupes fines de 1.25 mm. (Figure 55).

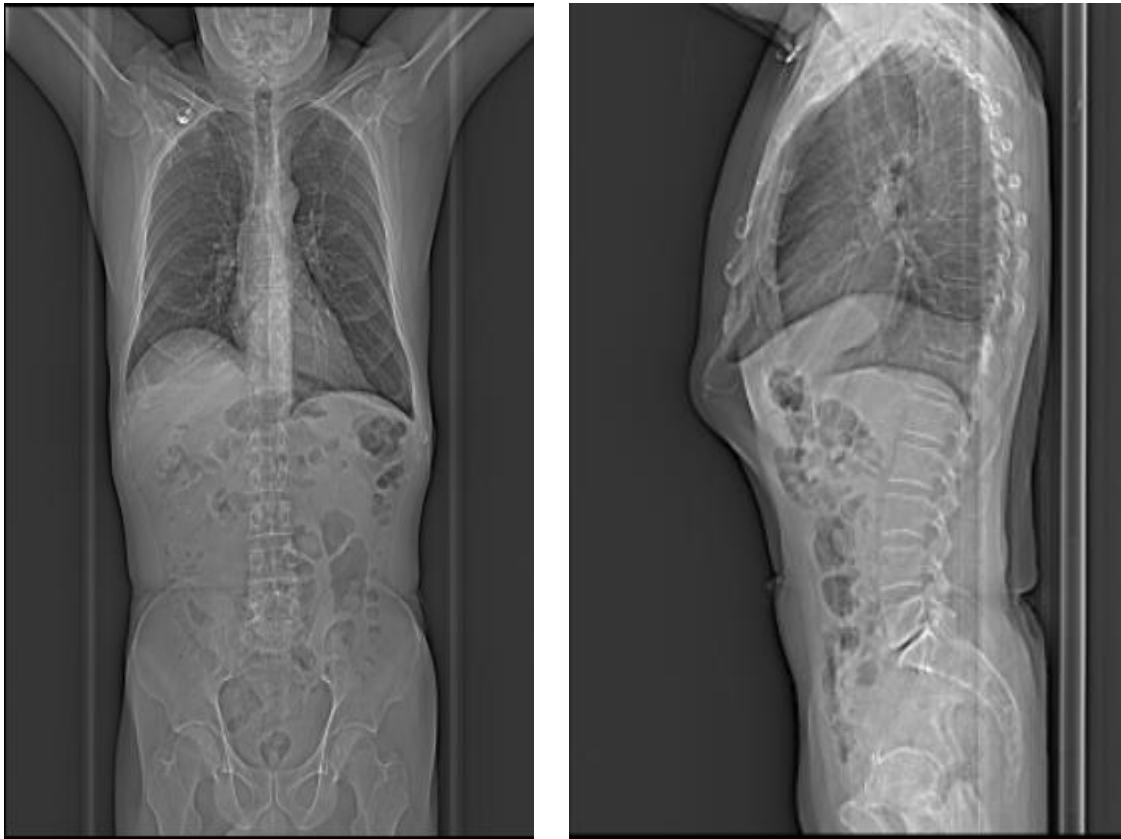


Figure 70 : Topogramme de repérage (scout) de face et de profil.

b. Séquences d'acquisition :

1. Une première acquisition sans injection de produit de contraste :

Permet l'analyse des calcifications, athérome, thrombus mural et recherche d'hématome intra mural ou rétro-péritonéal (Figure 71).



Figure 71: coupe axiale passant par l'AAA en phase sans injection de produit de contraste montrant la présence d'une image hyperdense discrètement arciforme sur la paroi antéro latérale gauche de l'aorte abdominale correspondant à un hématome de la paroi avec hémopéritoine [service de radiologie CHU Sétif].

2. Hélice après injection de 100 ml à 150 ml selon le poids du patient (2cc/kg) de produit de contraste à 300 à 400 mgI/100 ml au débit de 4 ml/s, Dans notre étude, les angioscanners ont été réalisés avec injection de produit de contraste iodé seul,

sans injection de sérum physiologique de rinçage, du fait de l'indisponibilité d'injecteurs à double corps dans le service au moment de l'étude.

. Augmenter la quantité de produit de contraste de 20 ml si l'anévrisme mesure plus de 6 cm (effet réservoir).

- Détection automatique de bolus au niveau de l'aorte ascendante, avec déclenchement de l'acquisition à 120 UH.
- Demander l'apnée dans la mesure du possible (Figure 72).



Figure 72: coupe axiale passant par l'AAA en phase artérielle avec injection de produit de contraste : mise en évidence de la lumière artérielle opacifiée par le produit de contraste, entourée de manière presque circonférentielle par une zone hypodense correspondant à une thrombose pariétale de l'anévrisme) [service de radiologie CHU Sétif].

3. Série tardive (90 s après le début de l'injection) :

Permet la détection de fuites minimales échappant au temps artériel, l'étude du rehaussement pariétal (anévrisme inflammatoire), de la compression de la veine cave inférieure et des veines iliaques (Figure 73).

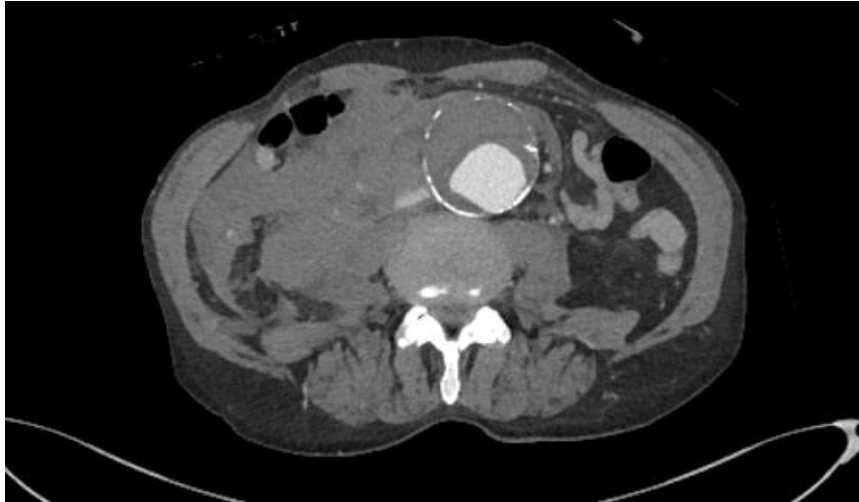


Figure 73: coupe axiale passant par l'AAA en phase tardive 90 sec avec injection de produit de contraste montrant une fuite du produit de contraste signe de rupture mal visualisée en temps artériel chez ce patient [service de radiologie CHU Sétif].

3.4.4 Post- traitement des images:

Les images natives obtenues étaient transférées sur une console secondaire de post traitement et traitées par des applications d'analyse vasculaire :

- Reformat simple.
- Autobone express.
- Os transparent.
- Analyse vasculaire simple.
- Analyse vasculaire avancée.
- Analyse de l'aorte abdominale.

Et ensuite reformatées selon un algorithme en plusieurs reconstructions :

- MPR (multi planar reconstruction).
- MIP (maximum intensité projection).
- MINIP (minimum intensité projection).
- CPR (curviling planar reconstruction).

(Figure 74 - 76).

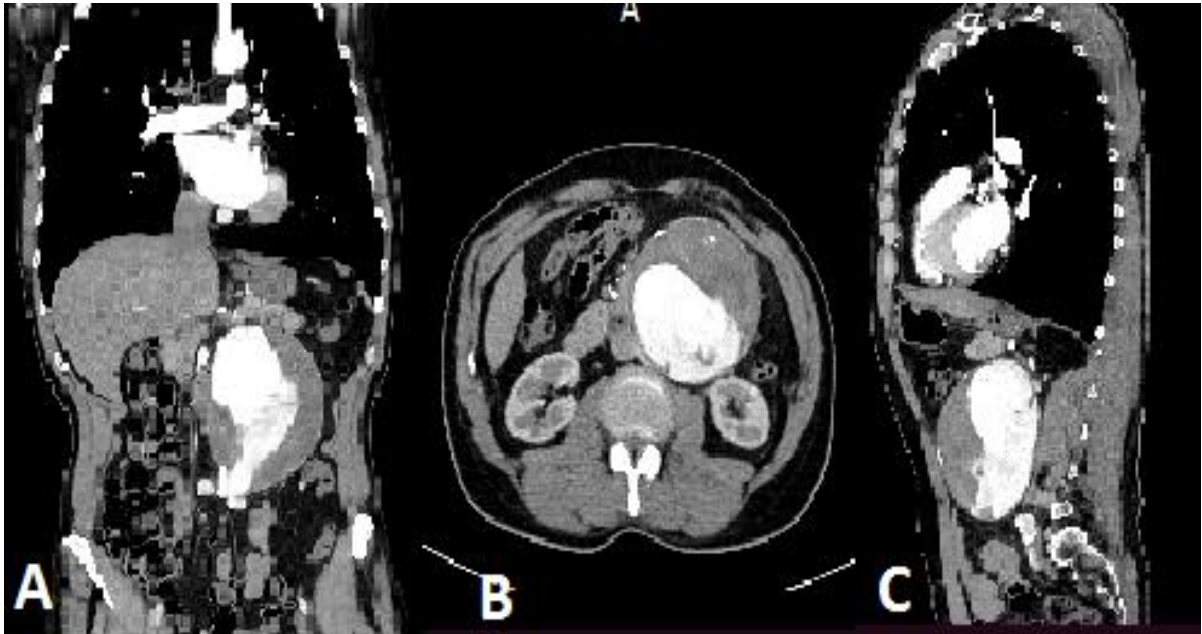


Figure 74: reconstructions MPR montrant un volumineux AAA (B) fusiforme juxta rénal partiellement thrombosé avec reconstruction coronale (A) et sagittale (C) [service de radiologie CHU Sétif].

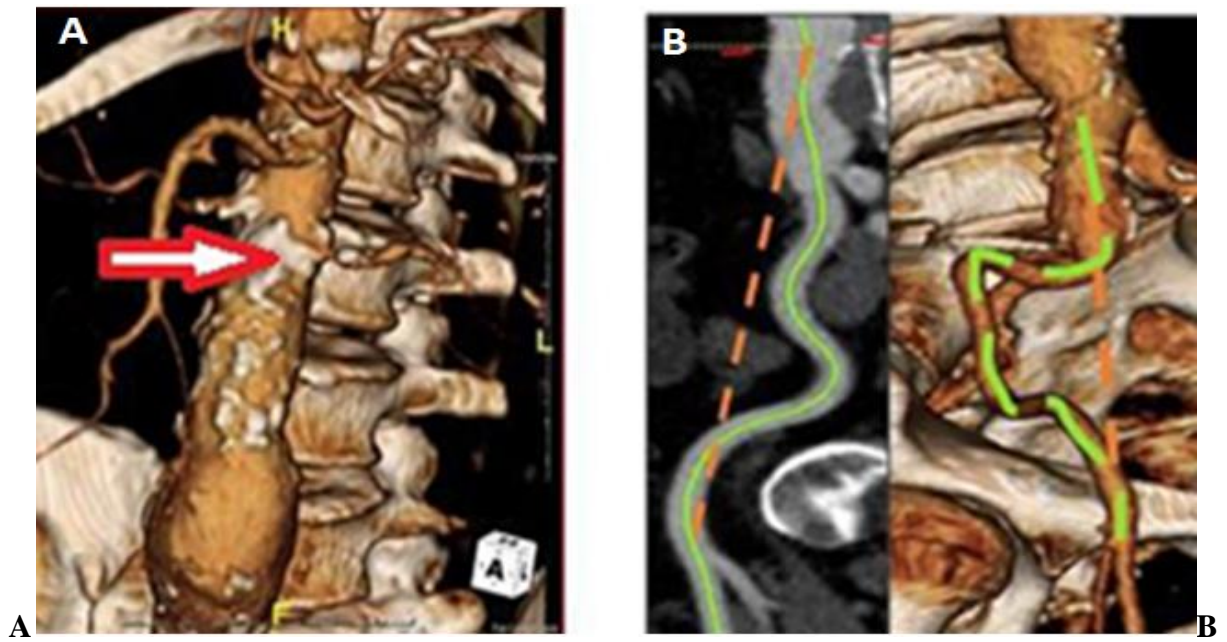


Figure 75: Reconstruction MIP en 3-dimensions de (A) calcification au niveau de l'aorte apparaissant en blanc (flèche rouge) et de (B) sinuosités artérielles (ligne verte)

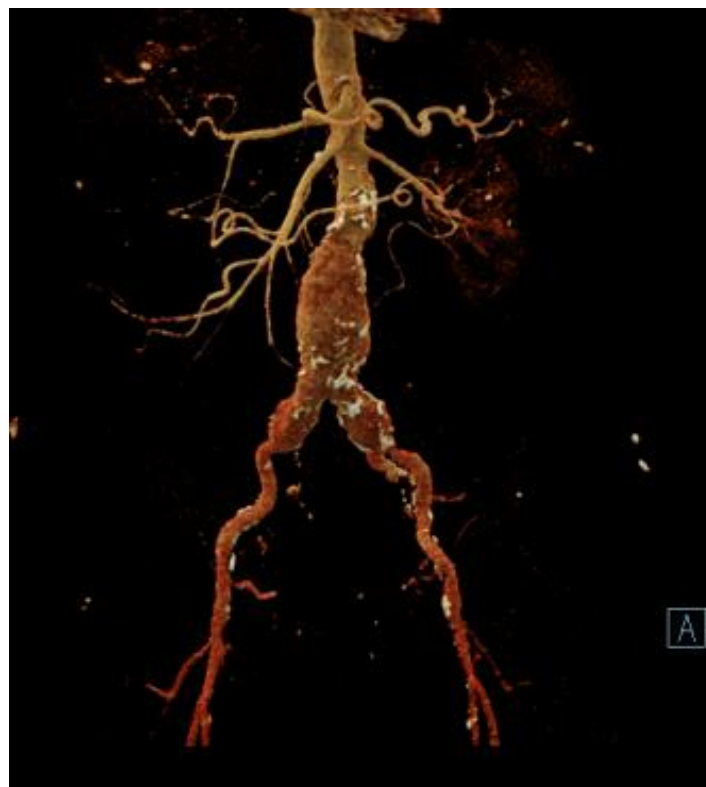


Figure 76 : Reconstruction 03 D VRT avec autobone expresse montrant un AAA fusiforme sous rénale étendu aux deux artères iliaques primitives [service de radiologie CHU Sétif].

3.5 Lecture, recueil et analyse statistique des données :

Une base de données collectée comprend 901 cas. Différents paramètres sont prélevés (Sexe, Age, degré d'atteinte par de l'athérosclérose, taille et poids (IMC), Diabète, Tension artérielle et l'Hyperlipidémie. Ces facteurs sont fonction de l'anévrisme enregistré. (Annexe 01).

L'athérosclérose est codifiée en quatre niveaux selon Jacob T et col : [212].

Grade I (normal) : Surface intimale aortique lisse, régulière et continue, codé 0

Grade II : Épaississement intimal diffus entre 3 et 5 mm , codé 1

Grade III : Plaque athéromateuse faisant protrusion de plus de 5 mm dans la lumière de l'aorte, codé 2 .

Grade IV : Plaque athéromateuse faisant protrusion de plus de 5 mm dans la lumière de l'aorte, avec ulcération ou morphologie pédiculée, codé 3.

- Le sexe est codifié numériquement (1 Mâle ; 2 Femelle).
- L'Indice de masse corporelle IMC est subdivisé en trois tranches
 - $18,5 \leq \text{Poids normal} \leq 24,9 \text{ kg/m}^2$
 - $25 \leq \text{Surpoids} \leq 29,9 \text{ kg/m}^2$
 - $\text{Obèse} \geq 30 \text{ kg/m}^2$
- L'atteinte par le diabète est codifiée numériquement (1 Positif ; 2 Négatif).
- Le tabagisme est codifié numériquement (1 Fumeur ; 2 Non fumeur).
- La pression artérielle est codifiée numériquement (1 Positif ; 2 Négatif).
- L'hyperlipidémie est codifiée numériquement (1 Positif ; 2 Négatif).

- L'anévrisme est représenté par sa taille (cm) et est subdivisé en trois tranches
 - $2,5 \leq \text{Diamètre} \leq 3$ cm
 - $3 < \text{Diamètre} \leq 5$ cm
 - Diamètre ≥ 5 cm

Chaque facteur est mis en correspondance séparément avec l'anévrisme. L'analyse concerne uniquement les cas en rapport avec un anévrisme avéré. Là, différents classement sont à souligner. Certaines classifications parlent d'anévrisme lorsque le diamètre est supérieur à 25 mm selon le classement de Chaikof et coll. [213]. Cela concerne les cas du 858^{ème} patient au 901^{ème} patient, soit 43 cas. Cela représente un taux de 4,7%. D'autres classements envisagent l'anévrisme lorsque le diamètre est supérieur à 27,5 mm. Nordon et coll, [214]. Suggèrent qu'on parle d'anévrisme lorsque le diamètre de l'aorte est supérieur à 27,5 mm. Cela concerne les cas du 865^{ème} patient au 901^{ème} patient, soit 36 cas sur 901. Cela ramène le taux de 3,9%. Aussi, Selon Matti T. et coll [215], on parle d'anévrisme lorsque le diamètre de l'aorte est de 150 % le diamètre moyen de 20 mm, soit 30 mm. Dans ce cas, il s'agit des cas entre le 876^{ème} cas et le 901^{ème} cas. Le nombre enregistré est alors de 26 cas. Le taux d'anévrisme représente alors **2,88%**. Cette classification est celle prise en considération dans notre analyse. Une synthèse des cas enregistrés est présentée sur le tableau 4.

3.5.1 Techniques statistiques employées

- Présentations tabulaires et graphiques.
- Paramètres de réductions : moyenne et écart type.
- Mesure d'association épidémiologique.
- Analyse bivariée avec test du chi²
- Analyse de variance (ANOVA)

- Analyse multivariée : la régression logistique binaire
 - Analyse multivariée : la régression logistique multinomiale
- Techniques d'intelligence artificielle (IA)

3.5.2 Gestion et analyse des données :

Pour la gestion et l'analyse des données recueillies, nous avons utilisé :

- Le logiciel Stata® V14 est un outil puissant qui permet d'importer facilement les sources de données, qu'elles soient en format Excel ou tout autre format couramment utilisé en recherche. Une fois les données importées, il est possible de manipuler les variables numériques et catégorielles grâce aux commandes Stata, qui sont particulièrement simples à utiliser et offrent une grande flexibilité pour répondre aux besoins spécifiques de l'analyse.
- Le Compilateur MATLAB2021b®, utilisé aussi comme outil d'analyse de données, est un outil de programmation très puissant et polyvalent utilisé dans de nombreuses applications scientifiques, notamment pour le développement d'algorithmes d'intelligence artificielle (IA). En utilisant ce Compilateur pour développer un système d'analyse à réseau de neurones artificiels, il nous a été utile dans de nombreuses fonctionnalités avancées du logiciel. Le système d'analyse ainsi développé a été capable d'analyser des données complexes avec une grande précision. Cela nous a permis d'établir une modélisation intelligente et prédictive.

Table 4 : Synthèse des cas enregistrés

Color Code	Age	BMI	Aneurysm
	40 < A < 60	18,5 < B < 24,5	25 < V < 30
	60 < A < 80	24,5 < B < 29,5	30 < V < 50
	80 < A < 100	B > 30	V > 50
Atherosclerosis: low (1) ; Moderate (2) ; High (3) ; Very High (4)			
Sex: Male (1) ; Female (2)			
Diabetes: Positives (1) ; Negatives (2)			
Smoking: Positives (1) ; Negatives (2)			
Blood pressure: Positives (1) ; Negatives (2)			
Hyperlipidemia: Positives (1) ; Negatives (2)			

BMI Categories:

- Underweight = <18.5
- Normal weight = 18.5–24.9
- Overweight = 25–29.9
- Obesity = BMI of 30 or greater

Aneurysm Categories:

- 2,5 < ASI < 3 cm : low risk of rupture
- 3 < ASI < 5 cm :: moderate risk

ID	theroscleros (1/2)	Age (Year)	Sexe (0/1)	Weight (Kg)	Height (cm)	BMI (Kg/cm2)	Diabetes (1/2)	Smoking (1/2)	Blood pressure	yperlipidem (1/2)	Aneurysm (mm)
1	2	46	2	54	149	24,323229	2	2	2	2	11,5
2		52	2	62	158	24,835763	2	2	2	2	13,8
3	1	68	2	79	168	27,990363	2	2	2	2	13,8
4		57	2	64	160	25	2	2	2	2	14
5	2	49	2	94	156	38,625904	2	2	1	2	14
6		68	2	87	165	31,955923	2	2	2	2	14
7		51	2	98	175	32	2	2	2	2	14
8		58	2	89	168	31,533447	2	2	2	2	14
9	1	57	2	64	160	25	2	2	2	2	14
10	2	49	2	94	156	38,625904	2	2	1	2	14
11	1	72	2	65	160	25,390625	2	2	2	2	14
12	1	49	2	84	165	30,853994	2	2	2	2	14
13	1	53	2	98	156	40,26956	2	2	2	2	14
14	1	68	2	87	165	31,955923	2	2	2	2	14
15	1	51	2	98	175	32	2	2	2	2	14
16	1	58	2	89	168	31,533447	2	2	2	2	14
17		66	1	76	175	24,816327	2	2	2	2	14,5
18	1	66	1	76	175	24,816327	2	2	2	2	14,5
19		70	2	68	153	29,048656	2	2	1	2	15
20		70	2	90	167	32,270788	2	2	2	2	15
21	2	51	2	68	159	26,89767	2	2	1	2	15
22	1	46	2	95	175	31,020408	2	2	1	2	15
23	1	57	2	75	165	27,548209	2	2	2	2	15
24		57	2	65	174	21,46915	2	2	2	2	15
25	1	56	2	85	164	31,603212	2	2	2	2	15
858	3	84	1	89	168	31,533447	1	1	1	1	25
859	1	51	1	80	175	26,122449	1	1	2	2	25
860	2	84	1	89	168	31,533447	1	1	1	1	25
861	2	51	1	80	175	26,122449	1	1	2	2	26
862	3	78	1	89	171	30,436716	1	1	1	2	26,5
863	2	69	1	65	168	23,030045	1	1	1	1	27
864	3	84	1	68	169	23,80869	2	2	2	1	27
865	2	60	2	92	165	33,79247	2	2	1	1	27,5
866	2	47	2	57	168	20,195578	1	2	1	1	28
867	3	78	1	89	171	30,436716	1	1	1	2	28
868	3	69	1	65	168	23,030045	1	1	1	1	28,6
869	2	84	1	68	169	23,80869	1	2	2	1	29
870	2	76	2	93	167	33,346481	1	2	2	2	29
871	2	82	1	89	169	31,161374	2	1	1	1	29
872	3	86	1	80	174	26,42357	2	2	1	1	29
873	3	64	1	74	170	25,605536	1	2	1	1	29,4
874	3	78	1	76	175	24,816327	1	1	2	1	29,6
875	1	52	1	68	169	23,80869	2	2	1	2	29,8
876	3	62	1	110	175	35,918367	1	2	1	1	30
877	1	73	1	65	168	23,030045	2	2	2	2	30
878	2	87	1	65	168	23,030045	2	1	1	1	30
879	3	59	1	68	154	28,672626	1	2	1	2	30
880	3	83	1	85	176	27,440599	1	1	2	1	31
881	1	61	1	87	175	28,408163	1	1	1	2	31
882	2	55	1	85	176	27,440599	1	1	1	1	31
883	3	69	1	98	154	41,322314	1	1	2	2	32
884	4	65	1	98	154	41,322314	1	2	2	1	35
885	1	82	1	90	170	31,141869	2	2	1	1	35
886	2	65	1	87	175	28,408163	1	1	1	1	36
887	3	84	2	85	176	27,440599	1	1	2	1	38
888	1	69	1	87	175	28,408163	1	1	1	2	39
889	2	72	1	85	176	27,440599	1	1	1	1	41
890	3	85	1	98	154	41,322314	1	1	2	2	41
891	4	73	2	98	154	41,322314	1	2	2	1	42
892	1	69	1	90	170	31,141869	2	2	1	1	42
893	2	75	1	87	175	28,408163	1	1	1	1	43
894	3	72	1	85	176	27,440599	1	1	2	1	44
895		76	1	80	175	26,122449	1	1	1	1	45
896	1	63	1	74	164	27,513385	1	2	1	2	47
897	1	67	1	71	174	23,450918	1	1	2	2	51
898	2	64	1	71	174	23,450918	1	1	1	1	55
899	2	88	2	76	169	26,609713	2	1	1	1	57
900	4	70	1	76	169	26,609713	2	1	1	1	57
901	1	67	1	70	175	22,857143	1	1	2	1	96

3.6. Analyse par les techniques de l'intelligence artificielle

3.6.1. Analyse par inférence floue

Vue la complexité et l'incertitude de la variabilité individuelle, il est difficile de déterminer précisément les limites entre le segment anévrismal et les portions aortiques indemnes de la pathologie. Dans ce cadre, nous proposons une analyse floue de la variabilité interindividuelle du diamètre de l'aorte abdominale sous rénale en relation avec les facteurs de risque impliqués. L'analyse du diamètre de l'aorte abdominale est effectuée à partir des facteurs de risque et de la corpulence du patient. Il est paraît évident que ces facteurs sont loin d'être précis pour être analysés numériquement. Afin de compenser ces incertitudes et prendre en charge toutes les imprécisions, ces facteurs sont considérés flous. Chaque variable est alors fuzzyfiée. Un système d'analyse flou est proposé. Une base des règles est établie à partir des données réelles des patients diagnostiqués. Pour chaque patient, ses données spécifiques en termes (d'âge, de sexe, de taille, de poids, de son régime alimentaire, de sa zone géographique, de ses antécédents familiaux, de sa comorbidité...etc.) sont prélevées. Le diagnostic en imagerie est relié à ces facteurs. La base des règles doit prendre en charge toutes les combinaisons possibles en reliant les variables d'entrée au résultat de diagnostic en imagerie comme sortie du système.

Une fois le système établi, cela permettra de prévoir avec précision la variabilité interindividuelle du diamètre de l'aorte abdominale sous rénale et se prononcer sur la pertinence du seuil pathologique.

A la différence de l'analyse numérique qui se caractérise par sa rigidité et ne peut prendre en charge toutes les variables qui influence le résultat, ce mode de raisonnement par son analyse des variables linguistiques à l'image du raisonnement humain, les incertitudes sont alors compensées. Cela, lui confère une puissance de traitement de données et le résultat sera le plus précis possible.

3.6.1.1. Système flou

Suite aux résultats de l'analyse statistique de nos données, il s'avère nécessaire d'affiner leur traitement par une technique plus intelligente qui prend en charge toutes les incertitudes et les imprécisions inhérentes aux données.

Le système à inférence floue proposé est construit à partir de valeurs enregistrées. Les facteurs (athérosclérose, sexe, âge, IMC, diabète, tabagisme, pression artérielle, hyperlipidémie) sont considérés comme variables d'entrée du système. Ces variables sont mis en correspondance avec la variable de sortie exprimées par l'anévrisme (diamètre de l'aorte). Matlab 2016a est utilisé dans cette application.

3.6.2. Analyse par les réseaux de neurones artificiels

En dehors de la recherche fondamentale en intelligence artificielle et de la tentative de modélisation du cerveau, les réseaux de neurones artificiels sont utilisés concrètement dans de nombreux cas différents, dont nous allons voir le cas de notre application.

3.6.2.1. Expression du problème

Mise en correspondance de l'espace des paramètres mesurés lors des analyses de laboratoire effectuées sur des patients avant examen radiologique. Ces facteurs sont l'athérosclérose, le sexe, l'âge, l'indice de masse corporelle, le diabète, le tabagisme, la pression artérielle et l'hyperlipidémie. Ces facteurs constituent l'espace d'entrée au réseau neuronal. Ils sont mis en correspondance avec l'espace de sortie du réseau qui exprime le diamètre de l'aorte abdominale (Figure 58).

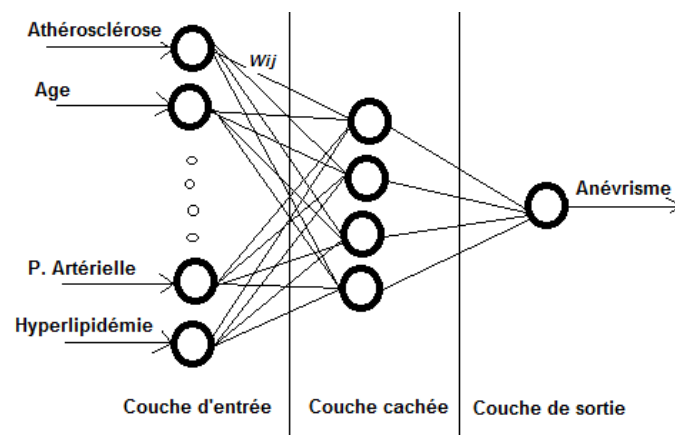


Figure 77. Schématisation d'un réseau de neurones utilisé

Résultats

4. Résultats

4.1 Résultats de l'analyse statistique :

4.1.1 Caractéristiques générales de l'échantillon

L'échantillon utilisé pour cette analyse est composé de 901 patients. L'âge des patients varie entre 41 et 94 ans avec une moyenne à 65,1 ans (écart-type de 10,6). La répartition par sexe retrouve 510 femmes (57%) et 391 hommes (43%).

Concernant les facteurs de risque cardiovasculaire, on retrouve 176 patients diabétiques (19,5%), 122 fumeurs (13,5%), 119 patients hypertendus (13,2%) et 93 patients présentant une hyperlipidémie (10,3%).

L'indice de masse corporelle (BMI) a une moyenne à 28.4 kg/m² (écart-type 5.5).

4.1.2 Prévalence de l'AAAs

La prévalence de l'anévrisme est calculée selon le nombre de cas (26) sur les 901 patients.

Soit : $26/901 = 2,9\%$

L'intervalle de confiance : $IC\ 95\% = p \pm 1,96 \cdot \sqrt{(px(1-p)/n)}$

En remplaçant les valeurs :

$p = 0,029$ $n = 901$

$IC\ 95\% = 0,029 \pm 1,96 \times \sqrt{(0,029 \times (1 - 0,029) / 901)}$

$IC\ 95\% = 0,029 \pm 1,96 \times 0,016$

$IC\ 95\% = [0,014 ; 0,044]$

L'intervalle de confiance à 95% de la prévalence de l'anévrisme dans notre échantillon est donc [1,4% ; 4,4%].

On peut donc dire que la véritable prévalence de l'anévrisme dans la population se situe probablement entre 1,4% et 4,4% avec un niveau de confiance de 95%.

4.1.3 Facteurs de risque de l'AAAs

1. Âge :

1.1. Comparaison de l'âge moyen entre patients avec et sans anévrisme (test de Student)

Tableau 5 : Analyse multivariée : Impact de l'Age sur l'AAAs.

Group	Obs	Mean	Std. Err.	Std. Dev.	[95% Interval]	Conf.
Diamètre <30	875	64.89371	.3596612	10.63892	64.18781 65.59961	
Diamètre >30	26	71.34615	1.768913	9.019722	67.70301 74.9893	
combined	901	65.07991	.3546813	10.64635	64.38381 65.77601	
diff		-6.45244	2.108941		-10.59146	-2.313419
diff = mean(0) - mean(1)				t = -3.0596		
Ho: diff = 0		degrees of freedom = 899				
Ha: diff < 0		Ha: diff != 0		Ha: diff > 0		
Pr(T < t) = 0.0011		Pr(T > t) = 0.0023		Pr(T > t) = 0.9989		

Le test compare l'âge moyen de deux groupes : les patients sans anévrisme (Diamètre <30) et les patients avec anévrisme (Diamètre >30).

On observe que l'âge moyen des patients sans anévrisme est de 64,89 ans, alors que l'âge moyen des patients avec anévrisme est de 71,35 ans.

La différence d'âge moyen entre les deux groupes est de -6,45 ans. Le test de Student visant à comparer ces moyennes donne une p-value de 0,0023.

Etant donné que la p-value est inférieure au seuil de 5%, on peut rejeter l'hypothèse nulle selon laquelle il n'y a pas de différence entre les moyennes des deux groupes.

1.2. Régression linéaire avec l'âge comme variable continue :

Tableau 6 : Analyse multivariée : Impact de l'âge sur l'AAAs.

Source	SS	df	MS	Number of obs = 901 F(1, 899) = 9.36	
Model	.260206004	1	.260206004	Prob > F = 0.0023	
Residual	24.9895165	899	.027797015	R-squared = 0.0103	
Total	25.2497225	900	.028055247	Root MSE = .16672	
				Adj R-squared = 0.0092	
aneurysm1	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]
age	.0015971	.000522	3.06	0.002	.0005726 .0026216
_cons	-.0750834	.0344233	-2.18	0.029	-.1426428 -.007524

Le modèle avec l'âge comme prédicteur de l'anévrisme est statistiquement significatif, avec une p-value du test F inférieure à 0,05.

Le R-carré est faible (0,01), ce qui indique que seul 1% de la variance du diamètre de l'aorte sous rénale est expliqué par l'âge.

Le coefficient de régression pour la variable âge est positif (0,0016) et significatif ($p < 0,05$).

2. Sexe :

2.1. Prévalence de l'anévrisme chez les hommes et les femmes

Dans notre échantillon de 901 patients, la prévalence de l'anévrisme chez les hommes est de 5,9% (23 cas sur 391 hommes) alors que la prévalence chez les femmes est de seulement 0,6% (3 cas sur 510 femmes).

2.2. Test du Chi2 d'association entre sexe et anévrisme

Sexe

Tableau 7 : Impact du facteur sexe sur l'AAAs.

Anévrisme	1	2	Total
Absence d'AAAs.	368	507	875
	42,06	57,94	100,00
Présence d'AAAs.	23	3	26
	88,46	11,54	100,0
Total	391	510	901
	43,40	56,60	100,0

Pearson chi2 (1) = 22,1349

Pr = 0.000

Afin d'évaluer si cette différence de prévalence est statistiquement significative, un test du Chi2 d'indépendance a été réalisé entre la variable sexe et la présence d'AAAs.

Les résultats retrouvent une p-value <0,001, ce qui est très significatif et rejette l'hypothèse nulle d'indépendance entre ces variables.

Il existe donc une association statistiquement significative entre le sexe masculin et la présence d'anévrisme dans notre échantillon.

3. Indice de masse corporelle (IMC) :

3.1. Comparaison de l'IMC moyen entre les deux groupes

T Test de deux échantillons à variances égales

Tableau 8: Analyse multivariée : Impact de l'IMC sur del'AAAs.

Group	Obs	Mean	Std. Err.	Std. Dev.	[95% Conf. Interval]
Absence d'AAAs.	875	28.4017	.1867784	5.524979	28.03511 28.76829
Présence d'AAAs.	26	29.449	.153816	15.88333	27.07267 31.82533
Combiné	901	28.43192	.1843963	5.534962	28.07002 28.79382
diff		-1.047299 1.101563		-3.209234 1.114637	
diff = mean(0) - mean(1)		t = -0.9507			
Ho: diff = 0		degrees of freedom = 899			
Ha: diff < 0		Ha: diff != 0		Ha: diff > 0	
Pr(T < t) = 0.1710		Pr(T > t) = 0.3420		Pr(T > t) = 0.8290	

La moyenne d'IMC des patients sans anévrisme est de 28,40 kg/m² versus 29,45 kg/m² pour les patients avec anévrisme. La différence de moyennes n'est pas statistiquement significative selon le test de Student (p=0,34).

a. Répartition des anévrismes en fonction des catégories d'IMC

IMC_cat1

Tableau 9 : Impact de l'IMC sur l'AAAs.

Anévrisme	Maigre	Corpul.N	Surpoids	Obèse	Total
Absence d'AAAs.	4	299	276	296	875
	0,46	34,17	31,54	33,83	100,00
Présence d'AAAs.	0	5	14	7	26
	0,00	19,23	53,85	26,92	100,00
Total	4	304	290	303	901
	0,44	33,74	32,19	33,63	100,00

Pearson chi2(3) = 6.0497 Pr = 0.109

Il n'y a pas d'association statistiquement significative entre les catégories d'IMC et la présence d'anévrisme au test du Chi2 (p=0,11).

On observe toutefois que la proportion de patients avec surpoids ou obésité semble plus élevée dans le groupe avec anévrisme (54% et 27%) versus sans anévrisme (32% et 34%). Cette tendance devra être confirmée.

b. Régression linéaire avec IMC en continu

Tableau 10 : Analyse multivariée : Impact de l'IMC sur le diamètre de l'aorte sous rénale.

<i>Source</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>Number of obs = 901</i> <i>F(1, 899) = 0,90</i>	
Model	0,025361937	1	0,025361937	Prob > F = 0,3420	
Residual	25,2243606	899	0,028058243	R-squared = 0,0010	
Total	25,2497225	900	0,028055247	Root MSE = 0,16751	
				Adj R-squared = -0,0001	
<i>Anévrisme</i>	<i>Coef.</i>	<i>Std. Err.</i>	<i>t</i>	<i>P> t </i>	<i>[95% Conf. Interval]</i>
IMC	0,0009591	0,0010088	0,95	0,342	-0,0010207 0,0029389
_cons	0,0015883	0,0292193	0,05	0,957	-0,0557576 0,0589342

Dans le modèle de régression linéaire, l'IMC considéré comme variable continue n'est pas significativement associé à la présence d'anévrisme (p=0,34).

4. Diabète

4.1. Prévalence de l'anévrisme chez les patients diabétiques vs non diabétiques

La prévalence d'AAAs. chez les patients diabétiques est de 11.36% (20 cas sur 176 patients) tandis que la prévalence chez les patients non diabétiques est de 0.83% (6 cas sur 725 patients).

On observe donc une prévalence environ 14 fois plus élevée chez les patients diabétiques comparativement aux non diabétiques.

4.2. Test du Chi2 d'association

Diabètes

Tableau 11: Impact du diabète sur l'AAAs.

Anévrisme	1	2	Total
Absence d'AAAs.	156	719	875
	17,83	82,17	100,00
Présence d'AAAs.	20	6	26
	76,926	23,08	100,0
Total	176	725	901
	19,53	80,47	100,0

Pearson chi2(1) = 56.0983 Pr = 0.000

Afin d'évaluer si la différence de prévalence est statistiquement significative, un test du Chi2 d'indépendance a été réalisé entre la variable diabète et la présence d'AAAs.. Les résultats retrouvent une p-value < 0,001, ce qui est très significatif et rejette l'hypothèse nulle d'indépendance entre ces variables.

5. Hypertension artérielle (HTA)

5.1. Prévalence de l'anévrisme chez les patients avec HTA vs sans HTA

Dans notre échantillon de 901 patients, la prévalence de l'AAAs. chez les patients avec HTA est de 13.45% (16 cas sur 119 patients) tandis que la prévalence chez les patients sans HTA est de 1.28% (10 cas sur 782 patients).

On observe donc une prévalence environ 10.51 fois plus élevée chez les patients avec HTA comparativement à ceux sans HTA.

5.2. Test du Chi2 d'association

HTA

Tableau 12 : Impact de l'hypertension artérielle sur l'AAAs.

Anévrisme	1	2	Total
Absence d'AAAs.	103	772	875
	11.77	88.23	100.00
Présence d'AAAs.	16	10	26
	61.54	38.46	100.00
Total	119	782	901
	13.21	86.79	100.00

Pearson khi2(1) = 54.5552 Pr = 0.000

Les résultats retrouvent une p-value $< 0,001$, ce qui est très significatif et rejette l'hypothèse de nulle d'indépendance entre ces variables.

Il existe donc une association statistiquement significative entre l'HTA et la présence d'anévrisme dans notre échantillon.

6. Tabagisme

6.1. Prévalence de l'anévrisme chez les patients chez les patients fumeurs et non-fumeurs

La prévalence de l'AAAs. chez les patients fumeurs est de 14.75% (18 cas sur 122 patients) tandis que la prévalence chez les patients non-fumeurs est de 1.83% (8 cas sur 779 patients).

On observe donc une prévalence environ 8.03 fois plus élevée chez les patients fumeurs comparativement à ceux non-fumeurs.

6.2. Test du Chi2 d'association

Tabagisme **Tableau 13:** Impact du tabagisme sur l'AAAs.

Anévrisme	1	2	Total
Absence d'AAAs.	104	771	875
	11.89	88.11	100.00
Présence d'AAAs.	18	8	26
	69.23	30.77	100.00
Total	122	779	901
	13.54	86.46	100.00

Pearson $\chi^2(1) = 70.9252$ Pr = 0.000

Le test du Chi2 confirme une association statistiquement significative entre le tabagisme et la présence d'AAAs. dans notre échantillon, avec une prévalence significativement plus élevée chez les patients fumeurs.

7. Athérosclérose

Athéroscléroses

Tableau 14 : Impact de l'athérosclérose sur l'AAAs.

Anévrisme	1	2	3	4	Total
Absence d'AAAs.	417	183	46	0	646
	64,55	28,33	7,12	0,00	100,00
Présence d'AAAs.	8	7	7	3	25
	32,00	28,00	28,00	12,00	100,00
Total	425	190	53	3	671
	63,34	28,32	7,90	0,45	100

Pearson chi2(3) = 94.8312 Pr = 0.000

Le test du Chi2 d'association montre une association statistiquement significative entre le degré d'athérosclérose et la présence d'AAAs. (p-value < 0.05).

8. Hyperlipidémie

8.1. Prévalence de l'AAAs. chez les patients avec et sans hyperlipidémie

La prévalence de l'AAAs. chez les patients avec hyperlipidémie est de 19.35% (18 cas sur 93 patients) tandis que la prévalence chez les patients sans hyperlipidémie est de 0.99% (8 cas sur 808 patients).

On observe donc une prévalence environ 19.55 fois plus élevée chez les patients avec hyperlipidémie comparativement à ceux sans hyperlipidémie.

8.2. Test du Chi2

Hyperlipidémie

Tableau 15 : Impact de l'hyperlipidémie sur l'AAAs.

Anévrisme	1	2	Total
Absence d'AAAs.	75	800	875
	8,57	91,43	100.00
Présence d'AAAs.	18	8	26
	69.23	30.77	100.00
Total	93	808	901
	10.32	89.68	100.00

Pearson $\chi^2(1) = 100.3708$ Pr = 0.000

Le test du Chi2 d'association montre une association statistiquement significative entre l'hyperlipidémie et la présence d'anévrisme (p-value < 0.05). La prévalence de l'anévrisme est significativement plus élevée chez les patients présentant une hyperlipidémie dans notre échantillon

4.1.4 Variabilité du Diamètre de l'aorte

Tableau 16 : Analyse multivariée : Impact de différents facteurs sur le diamètre de l'aorte

<i>Source</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>Number of obs = 901</i> <i>F(5, 895) = 82,00</i>	
Model	7208,2896	5	1441,65792	Prob > F = 0,0000	
Residual	15736.0545	895	17.5821838	R-squared = 0,3142	
Total	22944,3441	900	25,4937156	Root MSE = 4,1931	
				Adj R-squared = 0,310	
<i>Anévrisme</i>	<i>Coef.</i>	<i>Std. Err.</i>	<i>t</i>	<i>P> t </i>	<i>[95% Conf. Interval]</i>

age		.0266212	.0175337	1.52	0.129	-.0078072	.0610496
sexel		1.00003	.4059908	2.46	0.014	.2028456	1.797215
hyperlipidemie1		4.998771	.5864495	8.52	0.000	3.847246	6.150296
hta1		1.275309	.5227633	2.44	0.015	.2488351	2.301783
tabacl		2.845003	.5496818	5.18	0.000	1.765673	3.924332
diabetes1		1.640475	.468348	3.50	0.000	.7208488	2.560102
bmi		.0037745	.0327647	0.12	0.908	-.0605608	.0681098
aterosclerosis		.798895	.2871245	2.78	0.006	.2351106	1.362679
_cons		4.307015	1.655785	2.60	0.009	1.055792	7.558238

Le modèle est globalement significatif ($p < 0.001$), avec un R2 ajusté de 0,30. Environ 30% de la variabilité de la présence d'anévrisme est expliquée par les variables incluses.

L'âge n'est plus significativement associé à la présence d'anévrisme ($p = 0.129$) dans ce modèle ajusté.

Le sexe masculin, l'hyperlipidémie, l'HTA, le tabagisme, le diabète et l'athérosclérose sont des facteurs de risque significatifs d'anévrisme dans cette analyse multivariée ($p < 0.05$ ou 0.01).

L'IMC n'est pas significativement associé à la présence d'anévrisme ($p = 0.908$).

En conclusion, l'association entre l'âge et le risque d'anévrisme ne persiste pas lorsqu'on prend en compte les autres facteurs de risque dans le modèle.

Le sexe masculin et les autres facteurs cardiovasculaires semblent être des déterminants plus importants du risque d'anévrisme dans cette population.

L'âge ne ressort donc pas comme un facteur de risque indépendant dans cette analyse multivariée.

4.1.5 Comparaison des mesures de l'AAAs obtenus par échographie et scanner :

L'ensemble des cas diagnostiqués d'AAAs ont bénéficiés d'une échographie abdominale par le même opérateur afin de mesurer les diamètres échographiques de l'AAAs.

Tableau 17 : Comparaison des mesures scannographiques VS échographiques des cas d'AAAs diagnostiqués :

Cas d'AAA diagnostiqués :	Mesures TDM en MM.	Mesures échographiques en MM.
1	30	28.5
2	30	29
3	30	29.5
4	30	30
5	31	30
6	31	30.5
7	31	30
8	32	31
9	35	33
10	35	34

11	36	35
12	38	36
13	39	37
14	41	39
15	41	40
16	42	42
17	42	41
18	43	42
19	44	42
20	45	44
21	47	46
22	51	50
23	55	53
24	57	56
25	57	55
26	96	94

1. Description des mesures :

Chez les 26 patients présentant un AAA., des mesures du diamètre de l'aorte ont été réalisées à la fois par échographie et par scanner par le même opérateur. Les statistiques descriptives des mesures échographiques et scanner sont présentées dans l'annexe 3.

Tableau 18 : Analyse comparative entre les mesures par scanner et par échographie

Variable	Obs	Mean	Std. Dev.	Min.	Max
Mesure TDM	26	41.88462	13.93507	30	96
Mesures écho	26	40.67308	13.69667	28.5	94

On constate que les statistiques descriptives sont très proches entre les deux techniques.

- Les moyennes ne diffèrent que de 1,2 mm (41,88 vs 40,67 mm).
- Les écarts-types sont similaires, traduisant une dispersion comparable des mesures.

Ces éléments descriptifs suggèrent une bonne concordance des mesures de diamètre de l'aorte sous rénale entre le scanner et l'échographie chez ces patients.

2. Corrélation des mesures

Afin d'évaluer la concordance entre les mesures échographiques et scanner, un coefficient de corrélation de Pearson a été calculé.

Tableau 19 : Coefficient de Pearson

Mesures TDM	1.0000	
Mesures écho	0.9991	1.0000
N	26	26
Pearson's R	1,0000	0,9991

Le coefficient de corrélation de Pearson entre Mesure TDM et Mesures écho est de 0,9991.

- Il s'agit d'une très forte corrélation positive entre les deux mesures.
- Le coefficient est très proche de 1, traduisant une relation quasi parfaite entre les mesures scanner et échographiques.
- La p-value associée est très inférieure à 0,001 (très hautement significative).
- On peut donc rejeter l'hypothèse nulle d'absence de corrélation entre ces deux mesures.

Il existe une excellente concordance entre les mesures de diamètre de l'aorte réalisées par TDM et par échographie chez ces patients présentant un anévrisme.

Les deux techniques donnent des résultats très similaires et fortement corrélés.

L'échographie semble être un outil de mesure fiable par rapport au scanner.

4.2 Cas d'AAA compliqués :

Lors de cette étude transversale, 2 cas compliqués sur les 26 analysés ont été observés. Bien que le très petit nombre de ces cas ne permette pas une analyse statistique, leur existence mérite d'être soulignée et suggère que des études plus approfondies sur les complications de l'AAA chez cette population pourraient être pertinentes.

Cas N°01 : Homme de 69 ans consultant pour des lombalgies

Coupes TDM injectées en fenêtre parenchymateuse et osseuse montre une rupture chronique contenue d'un anévrisme de l'aorte abdominale sous rénale avec scalloping vertébrale par l'hématome. (Figure78)

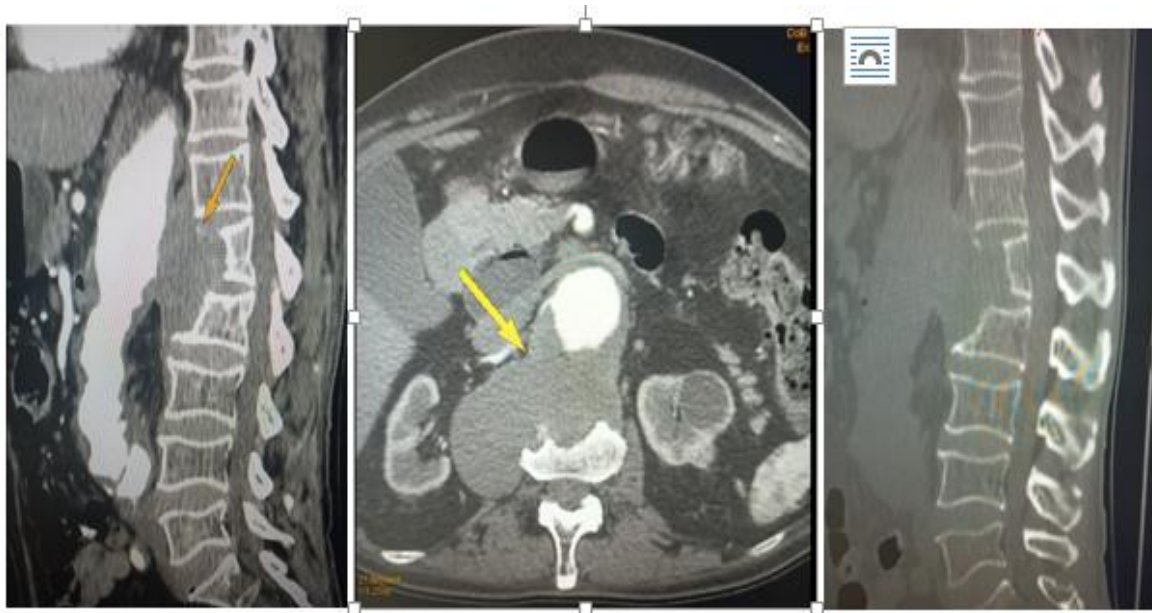


Figure 78 : Cas compliqué 1.

Cas N°02 : Homme de 70 ans, anévrisme découvert suite à une douleur abdominale brutale mesurant 57 mm. Rupture avec hématome pariétal associé à un hémopéritoine de moyenne abondance sans fuite artérielle active de produit de contraste visualisée.

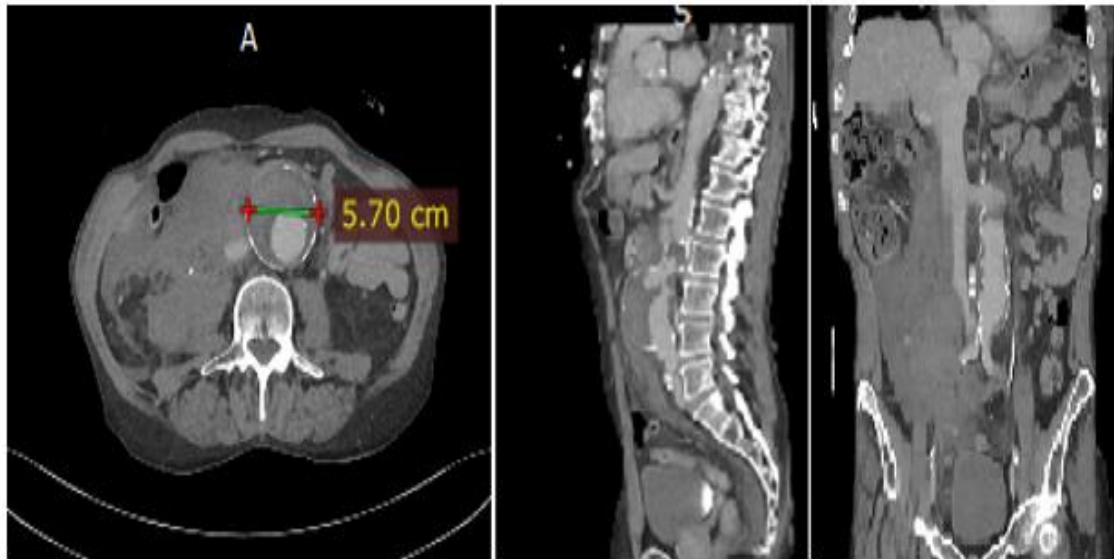


Figure 79 : Cas compliqué 2.

4.3. Résultats obtenus par l'intelligence artificielle

4.3.1. Analyse par inférence floue

Comme il s'agit de traiter les données en termes flous, nous avons considéré un diamètre minimal au-delà duquel un AAA est diagnostiqué. Vue la complexité du système, d'autres facteurs physiologiques sont spécifiques à chaque individu.

Le système construit comprend alors huit (8) entrées et une sortie (Figure 80).

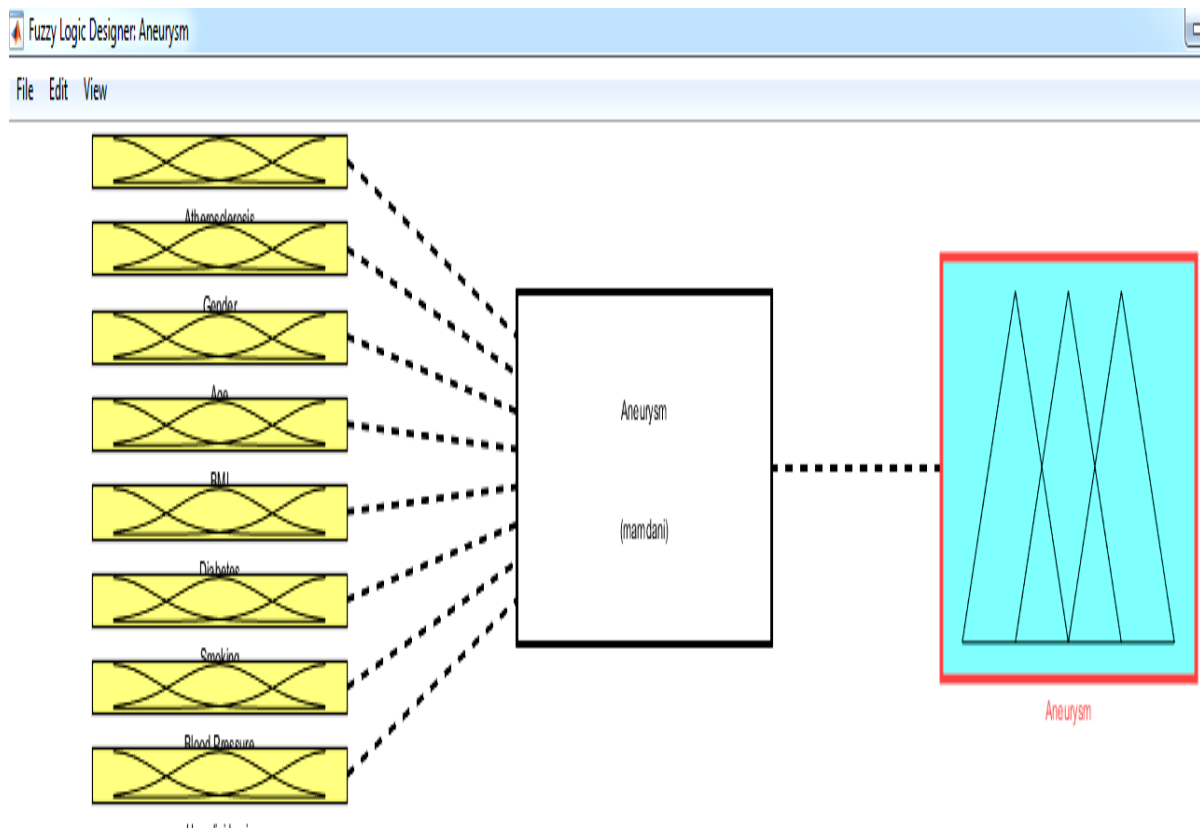


Figure 80 : Schéma bloc du système

4.3.1.1.Fuzzyfication des variables

Comme les variables sont exprimées en termes numériques, la première phase d'analyse consiste en leur conversion en valeurs linguistiques. Cette conversion est dite (fuzzyfication). Il s'agit là de permettre au système d'analyser les variables en langage humain.

Cela permet de compenser les incertitudes et les imprécisions relatives aux spécificités individuelles.

a. Fuzzyfication des variables d'entrée

- ***La variable 'Athérosclérose' :***

L'athérosclérose est mesurée en terme présence ou absence. Dans notre traitement de données, nous les avons traduit en (1 : Positif, 2 : Négatif). On constate que cette façon de faire est purement binaire. L'aspect graduel est totalement absent.

Alors que dans la réalité l'athérosclérose varie graduellement d'une personne à une autre. Le mode binaire ne peut en aucun cas traduire la réalité.

Là, est l'une des insuffisances de l'analyse numérique qui ne peut traduire la réalité et par conséquent les résultats d'analyse numérique par les techniques statistiques reste dans le domaine du probable.

Dans le but de palier à cette insuffisance, cette variable est traduite en terme linguistique exprimée en degrés d'appartenance entre le (1) et le (2) comme suite :

- L'athérosclérose est considéré faible dans l'intervalle [0 – 2]
- L'athérosclérose est considéré élevée dans l'intervalle [1 – 3]

Comme cette façon d'attribuer des intervalles reste approximative, une zone de chevauchement entre les deux fonctions d'appartenances (faible et élevée) est créée. Une zone floue où l'appartenance est commune aux deux fonctions, mais à des degrés d'appartenance différents. Cela est pris en considération lors de l'établissement des règles d'inférence. Il sera alors nécessaire de considérer deux règles qui traduisent les deux possibilités (Figure 81).

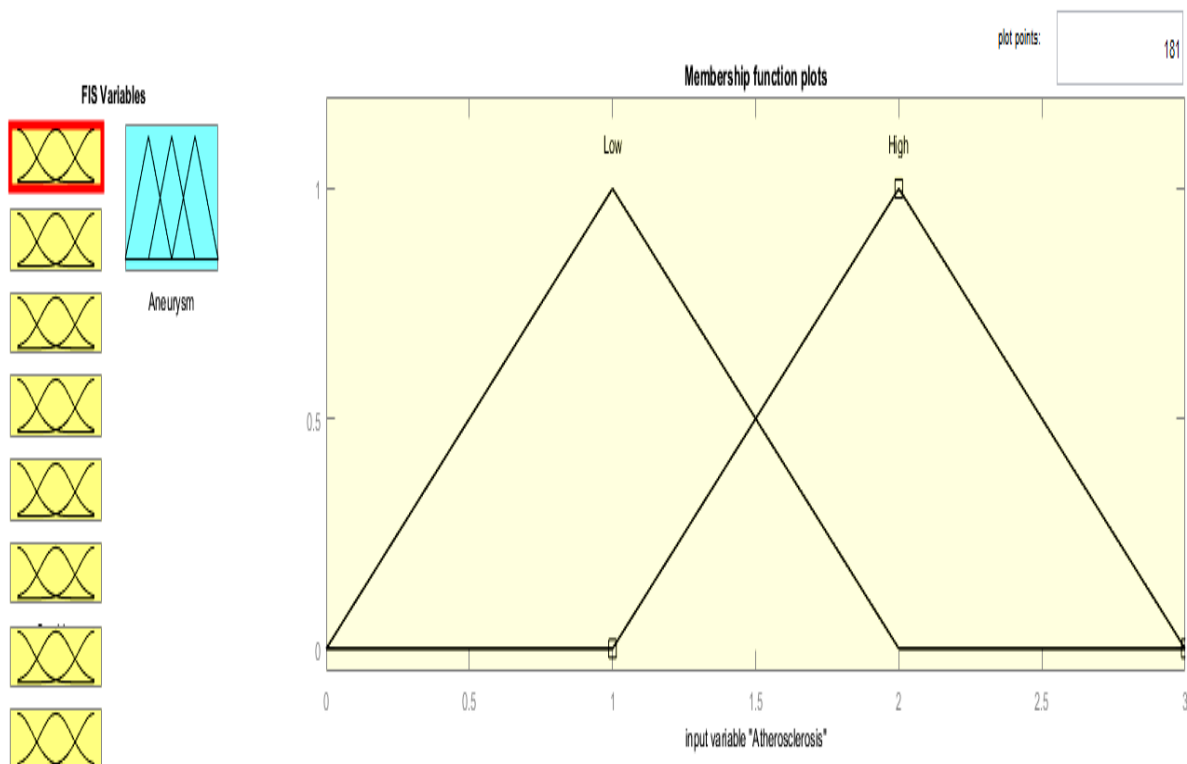


Figure 81 : Fuzzyfication de la variable 'Athérosclérose'

- ***La variable 'Age' :***

A partir des cas traités dans nos analyses, on constate que l'âge minimal des personnes diagnostiquées est de 47 ans et l'âge maximal est de 86 ans.

L'estimation de la répartition de cette variable en termes de moyenne, de médiane et d'écart type présentée précédemment, sur Dans notre traitement de données, nous considérons une tranche d'âge de 40 à 100 ans. Aussi, il est à noter que le rapport âge-anévrisme n'est pas directement proportionnel. Car, plusieurs autres facteurs interviennent dans le processus.

Si le poids de certains facteurs est ignoré, d'autres facteurs sont totalement inconnus. De là, il devient nécessaire de traiter cette variable comme variable floue. Les valeurs numériques de l'âge sont traduites en termes linguistiques par le procédé de fuzzyfication.

On attribue alors :

- 40 ans < Adulte < 60 ans
- 50 ans < Vieux < 80 ans
- 70 ans < Très vieux < 100 ans

Des zones floues sont créées entre deux fonctions d'appartenances voisines. Par cette approche, les imprécisions sont compensées. A l'âge de 72 ans par exemple, la personne appartient à l'ensemble 'Vieux' avec un degré d'appartenance de 0,2 et à l'ensemble 'Très Vieux' avec un degré d'appartenance de 0,8.

Aussi, dans cet intervalle flou, deux règles expriment le rapport de l'âge à l'anévrisme (Figure 82).

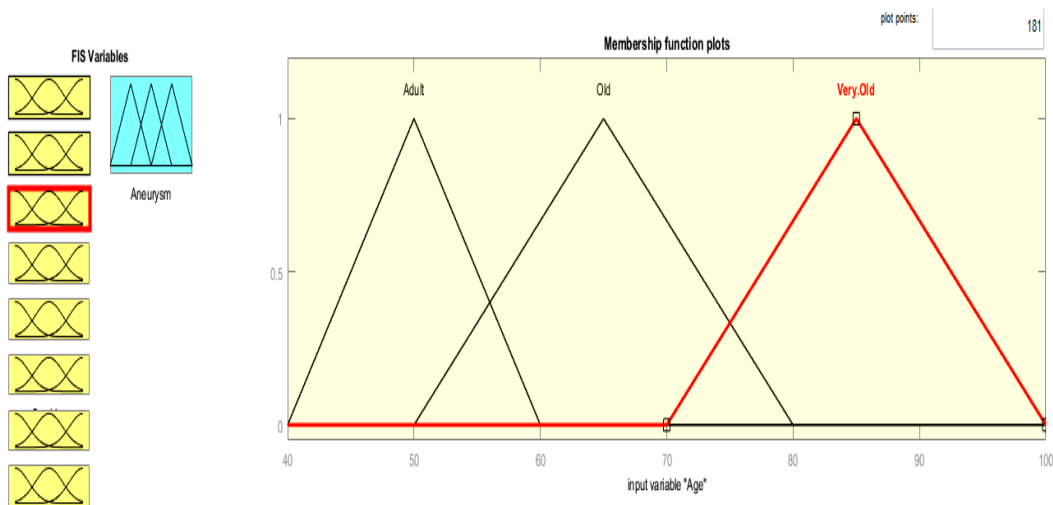


Figure 82: Fuzzyfication de la variable 'Age'

- ***La variable 'Sexe':***

La variable 'Sexe' est exprimée en binaire. La valeur (1) est attribuée au sexe masculin et la valeur (2) est attribuée au sexe féminin.

Il paraît évident que cette variable ne peut être fuzzyfiée. Cette représentation est maintenue dans notre analyse (Figure 83).

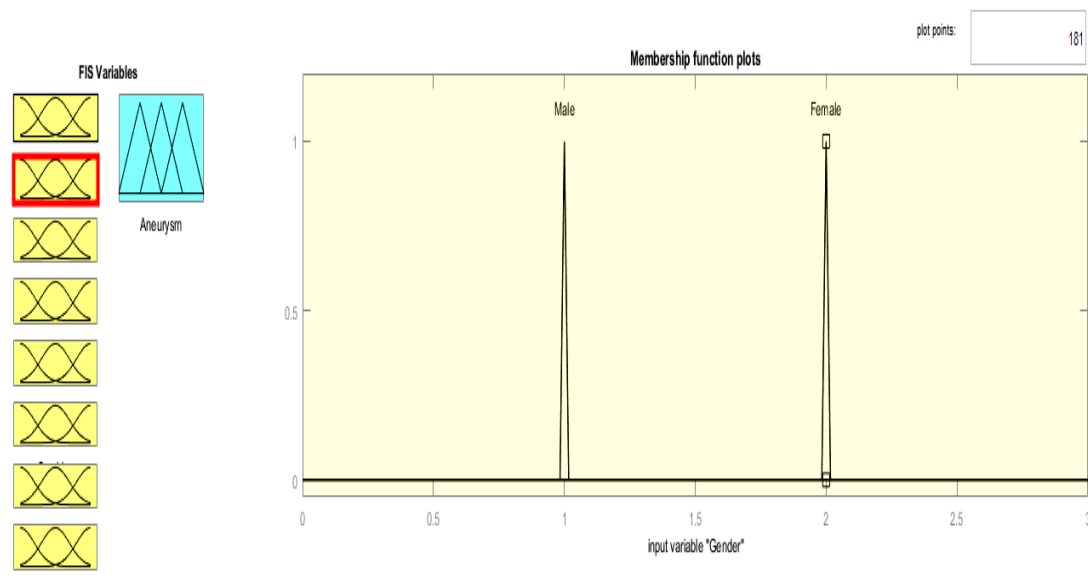


Figure 83 : Représentation de la variable ‘Sexe’

- ***La variable ‘IMC’:***

A partir des analyses statistiques, l’indice de masse corporelle minimal enregistré est de 20,19 kg/cm² et la valeur maximale est de 58,82 kg/cm². Aussi, à partir de la valeur moyenne et de son écart type, la variable IMC est fuzzyfiée en trois intervalles flous. Car, il est évident que la relation cause à effet ne peut être envisagée d’une façon stricte.

Le processus est beaucoup plus complexe pour être réduit à une analyse numérique. Son analyse symbolique est alors adéquate.

Cette variable est fuzzyfiée en quatre intervalles flous aux alentours de la classification comme suite :

- Insuffisance pondérale < 20 kg/cm²
- 16 kg/cm² < Poids normal < 28 kg/cm²
- 26 kg/cm² < Surpoids < 32 kg/cm²

- Obèse > 29 kg/cm² (Figure 84)

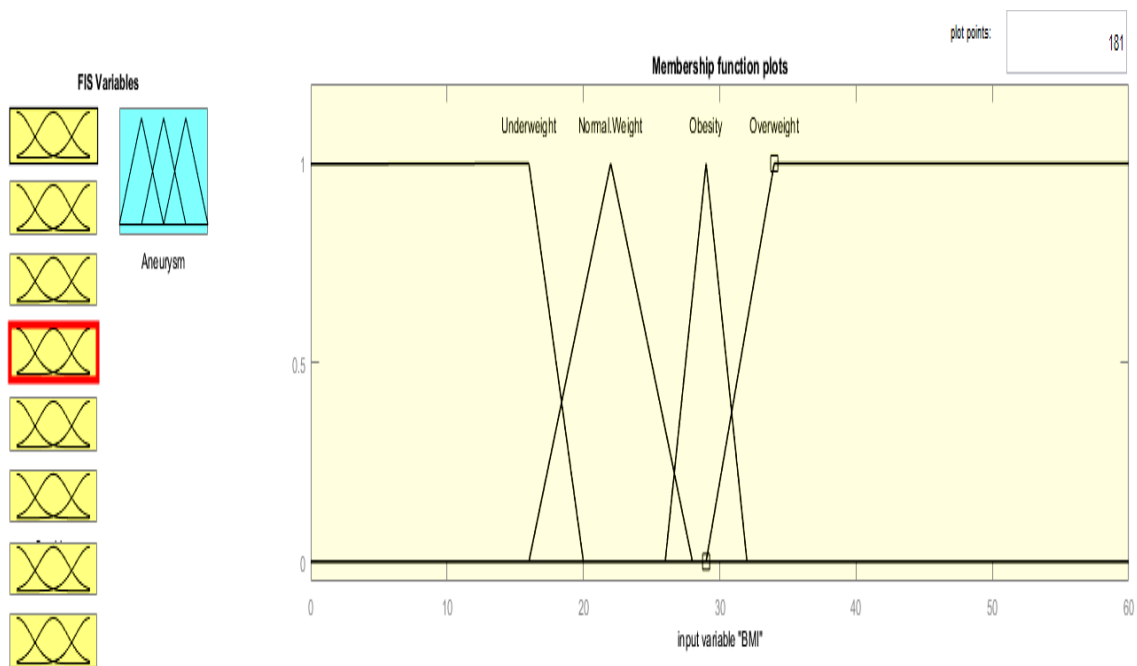


Figure 84 : Fuzzyfication de la variable 'IMC'

- ***La variable 'Diabète':***

Les personnes diagnostiquées sont distinguées par la présence ou l'absence du diabète. Cela est codifié numériquement par positif (1) et négatif (2).

Dans la réalité, il existe plusieurs niveaux de diabète selon leur degré d'atteinte. On constate que cette représentation numérique ne traduit pas l'état réel du patient.

Il devient alors nécessaire de considérer le diabète comme variable floue et varie sur une large gamme de degrés d'appartenance à l'ensemble des diabétiques.

Groupe 1- Diabétique

Groupe 2- Non Diabétique

De là, il est plus judicieux de représenter la variable ‘diabète’ en termes symboliques exprimant toute la plage avec des intervalles flous pour compenser l’imprécision vue la complexité du phénomène.

Alors, la variable diabète est fuzzyfiée comme suite : (Figure 85)

- $0 < \text{Positif} < 2$
- $1 < \text{Négatif} < 3$

Chaque fonction d’appartenance représentée par des codes numériques.

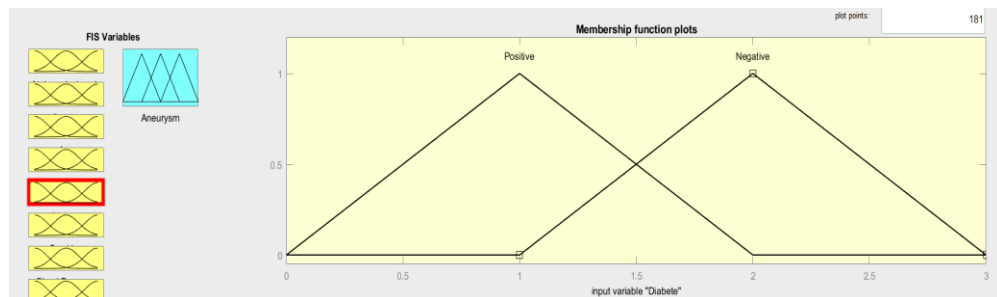


Figure 85 : Fuzzyfication de la variable ‘Diabète’

- ***La variable ‘Tabagisme’:***

La variable ‘Tabagisme’ est codifiée en (1) positif et (2) négatif. Aussi, on constate que cette façon de raisonner est loin de traduire fidèlement le phénomène.

le degré du tabagisme varie d’une personne à une autre. Soit en termes de nombre de cigarette par jour, soit par la qualité de celle-ci, soit par la réaction physiologique de la personne au tabac.

Le phénomène est très complexe pour être réduit à cette représentation binaire. De là, la variable ‘tabagisme’ est considérée comme variable floue. Ce mode de

traitement de donnée est le plus proche à la réalité. Ainsi, sa fuzzyfication est comme suite : (Figure 86)

- $0 < \text{Positif} < 2$
- $1 < \text{Négatif} < 3$

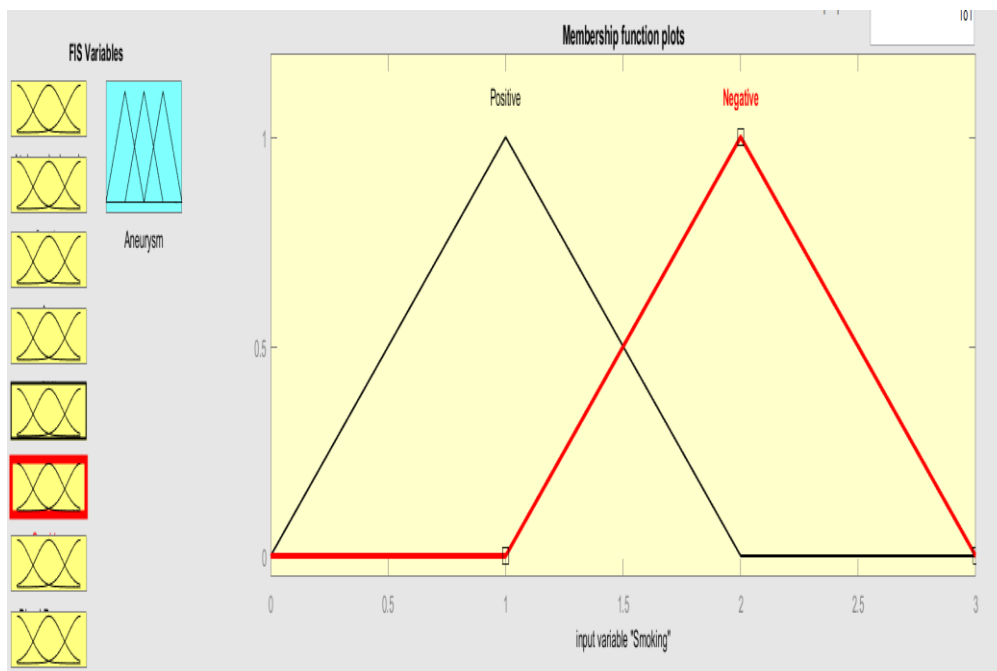


Figure 86: Fuzzyfication de la variable ‘Tabagisme’

- ***La variable ‘Pression artérielle’:***

De la même façon, les personnes présentées au diagnostic présentent leurs résultats d’analyse de leurs tensions artérielles. Celle-ci est exprimée par la présence ou l’absence de cette tension.

Autrement dit si la personne est hypertendue ou non. Là, nous les avons traduits préalablement en codification binaire (1) positif, (2) négatif.

Il paraît évident que cette représentation n'est pas fidèle. L'hypertension artérielle en réalité se distingue par des niveaux d'atteinte et ça varie d'une personne à une autre.

Sa représentation considérée plus proche à la réalité est son expression par des degrés d'appartenance à l'ensemble 'hypertension'. Sa fuzzyfication en termes symbolique est : (Figure 87).

- $0 < \text{Positif} < 2$
- $1 < \text{Négatif} < 3$

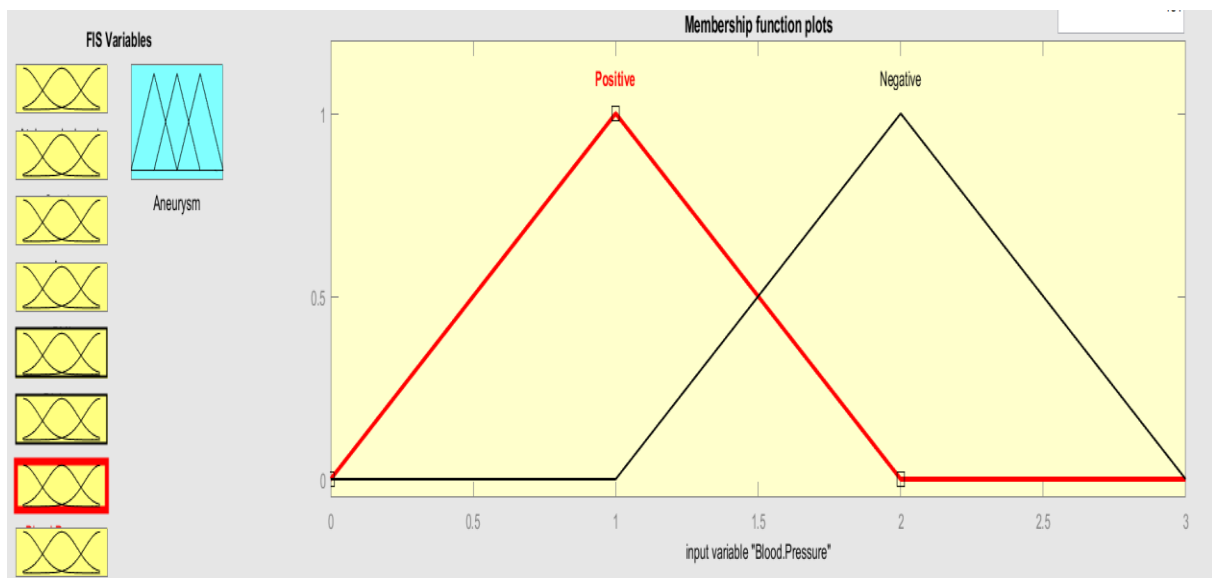


Figure 87 : Fuzzyfication de la variable 'Tension artérielle'

• ***La variable 'Hyperlipidémie':***

Selon le même raisonnement, les valeurs enregistrées sont l'absence ou la présence de l'hyperlipidémie. Cette formulation binaire en (1) positif et (2) négatif ne reflète pas la réalité. Nous avons également considéré cette variable comme variable floue.

Ainsi différents niveaux d'hyperlipidémie sont représentés. Et à l'image du raisonnement précédent, les zones floues créées entre deux fonctions voisines permettent de compenser l'imprécision liée à la complexité du phénomène.

Cette variable est alors fuzzyfilée comme suite : (Figure 88).

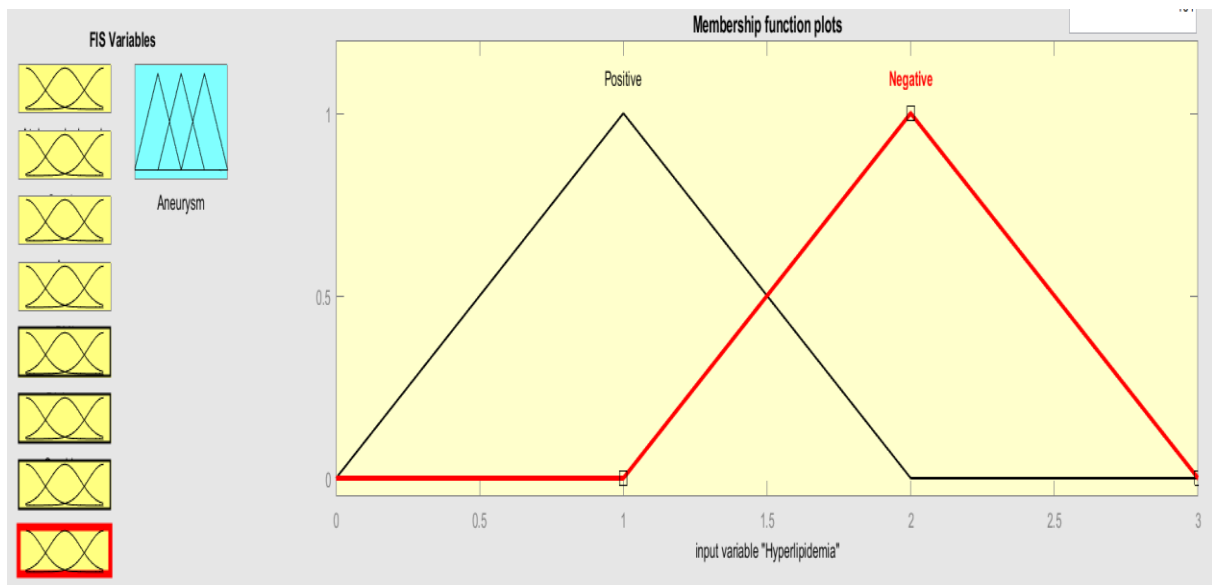


Figure 88 : Fuzzyfication de la variable 'Hyperlipidémie'

Fuzzyfication de la variable de sortie

La variable de sortie du système exprime l'estimation de la taille de l'aorte sous rénale.

Afin d'affiner l'analyse, nous avons adopté la classification qui considère la limite minimale à 25 mm pour le diagnostic de l'AAAs. Ainsi, selon le diamètre de sortie, trois situations se présentent. (Des personnes nécessitant une imagerie de dépistage qui sont supposés avoir un diamètre de l'aorte supérieure à 30 mm, des personnes qui ne nécessitent pas imagerie dont le diamètre est inférieure à 25 mm, et le groupe des personnes dont le diamètre est compris entre 25 et 30 mm chez qui l'imagerie est souhaitable sans notion d'urgence.

Sa fuzzyfication est représentée comme suite : (Figure 89)

- Imagerie non nécessaire < 30
- Imagerie nécessaire > 25

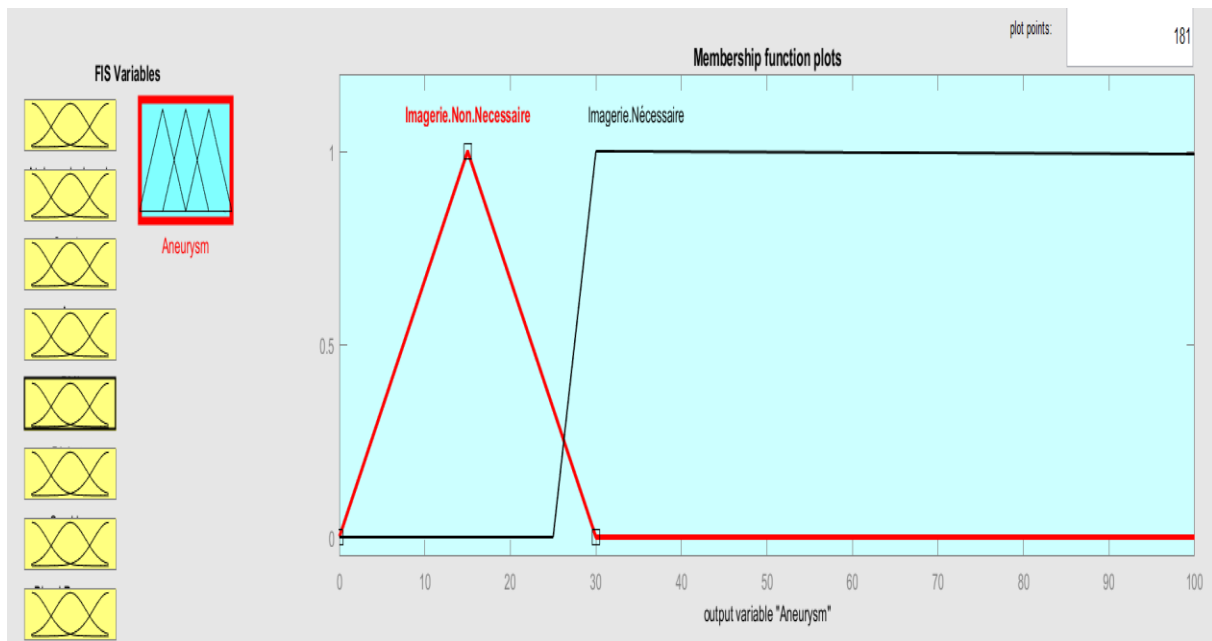


Figure 89: Fuzzyfication de la variable de sortie ‘Anévrisme’

4.3.1.2. Règles d’inférence

La base des règles est établie à partir des valeurs enregistrées. Il s’agit là de mettre en correspondance les variables d’entrée et la variable de sortie. Le principe général de d’une règle est :

IF Atherosclerosis IS...AND Gender IS...AND Age IS...AND BMI IS...AND Diabetes IS...AND Smoking IS...AND Blood pressure IS...AND Hyperlipidemia IS...THAN Imaging IS...

La base des règles doit englober les principales combinaisons possibles à partir des valeurs enregistrées (Figure 90).

4.3.1.3. Defuzzyfication

Il est à noter que le résultat à la sortie est calculé à partir de la combinaison de la participation de toutes les règles. L'agrégation de toutes les règles permettent d'extraire une valeur nette à la sortie après déffuzzyfication.

.

Code algorithmique

```
[System]
```

```
Name='Aneurysm Factors'
```

```
Type='mamdani'
```

```
Version=2.0
```

```
NumInputs=6
```

```
NumOutputs=1
```

```
NumRules=0
```

```
AndMethod='min'
```

```
OrMethod='max'
```

```
ImpMethod='min'
```

```
AggMethod='max'
```

```
DefuzzMethod='centroid'
```

```
[Input1]
```

```
Name='Age'
```

Range=[0 1]

NumMFs=3

MF1='mf1': 'trimf', [-0.4 0 0.4]

MF2='mf2': 'trimf', [0.1 0.5 0.9]

MF3='mf3': 'trimf', [0.6 1 1.4]

[Input2]

Name='Gender'

Range=[0 1]

NumMFs=3

MF1='mf1': 'trimf', [-0.4 0 0.4]

MF2='mf2': 'trimf', [0.1 0.5 0.9]

MF3='mf3': 'trimf', [0.6 1 1.4]

[Input3]

Name='BMI'

Range=[0 1]

NumMFs=3

MF1='mf1': 'trimf', [-0.4 0 0.4]

MF2='mf2': 'trimf', [0.1 0.5 0.9]

MF3='mf3': 'trimf', [0.6 1 1.4]

[Input4]

Name='Blood.Pressure'

Range=[0 1]

NumMFs=3

MF1='mf1': 'trimf', [-0.4 0 0.4]

MF2='mf2': 'trimf', [0.1 0.5 0.9]

MF3='mf3': 'trimf', [0.6 1 1.4]

[Input5]

Name='Hypolipidemia'

Range=[0 1]

NumMFs=3

MF1='mf1': 'trimf', [-0.4 0 0.4]

MF2='mf2': 'trimf', [0.1 0.5 0.9]

MF3='mf3': 'trimf', [0.6 1 1.4]

[Input6]

Name='Family.History'

Range=[0 1]

NumMFs=3

```
MF1='mf1': 'trimf', [-0.4 0 0.4]
```

```
MF2='mf2': 'trimf', [0.1 0.5 0.9]
```

```
MF3='mf3': 'trimf', [0.6 1 1.4]
```

```
[Output1]
```

```
Name='Aorota.Diameter'
```

```
Range=[0 1]
```

```
NumMFs=3
```

```
MF1='mf1': 'trimf', [-0.4 0 0.4]
```

```
MF2='mf2': 'trimf', [0.1 0.5 0.9]
```

```
MF3='mf3': 'trimf', [0.6 1 1.4]
```

A la fin de l'application, il sera possible d'introduire aléatoirement des variables à l'entrée pour lire automatiquement et instantanément le résultat à la sortie qui exprime le diamètre de l'aorte abdominale sous rénal. Ce résultat sera le plus précis possible. Car, il sera obtenu à partir de l'agrégation de l'ensemble des règles qui incluent l'ensemble des variables à l'entrée. D'autant que ces variables sont considérées incertaines et donc floues. Par conséquent, toutes les incertitudes sont compensées. Exemple présenté sur la figure 91.

1. If (Atherosclerosis is Low) and (Gender is Male) and (Age is Adult) and (BMI is Underweight) and (Diabetes is Non.Diabetic) and (Smoking is No.Effect) and (Blood.Pressure is Medium) and (Hyperlipidemia is Medium) then (Aneurysm is Low.Risk) (1)

2. If (Atherosclerosis is Low) and (Gender is Male) and (Age is Adult) and (BMI is Underweight) and (Diabetes is Non.Diabetic) and (Smoking is No.Effect) and (Blood.Pressure is Medium) and (Hyperlipidemia is Medium) then (Aneurysm is Low.Risk) (1)

3. If (Atherosclerosis is Low) and (Gender is Male) and (Age is Adult) and (BMI is Underweight) and (Diabetes is Non.Diabetic) and (Smoking is Medium.Effect) and (Blood.Pressure is Medium) and (Hyperlipidemia is Medium) then (Aneurysm is Low.Risk) (1)

4. If (Atherosclerosis is Low) and (Gender is Male) and (Age is Adult) and (BMI is Underweight) and (Diabetes is Groupe5) and (Smoking is No.Effect) and (Blood.Pressure is Medium) and (Hyperlipidemia is Medium) then (Aneurysm is Low.Risk) (1)

5. If (Atherosclerosis is Low) and (Gender is Male) and (Age is Adult) and (BMI is Normal.Weight) and (Diabetes is Groupe5) and (Smoking is No.Effect) and (Blood.Pressure is Medium) and (Hyperlipidemia is Medium) then (Aneurysm is Moderate.Risk) (1)

6. If (Atherosclerosis is Low) and (Gender is Male) and (Age is Adult) and (BMI is Normal.Weight) and (Diabetes is Groupe5) and (Smoking is No.Effect) and (Blood.Pressure is Medium) and (Hyperlipidemia is High) then (Aneurysm is Moderate.Risk) (1)

7. If (Atherosclerosis is Low) and (Gender is Male) and (Age is Adult) and (BMI is Normal.Weight) and (Diabetes is Groupe5) and (Smoking is No.Effect) and (Blood.Pressure is High) and (Hyperlipidemia is High) then (Aneurysm is Moderate.Risk) (1)

8. If (Atherosclerosis is Low) and (Gender is Male) and (Age is Adult) and (BMI is Normal.Weight) and (Diabetes is Groupe5) and (Smoking is Medium.Effect) and (Blood.Pressure is High) and (Hyperlipidemia is High) then (Aneurysm is Moderate.Risk) (1)

9. If (Atherosclerosis is Low) and (Gender is Male) and (Age is Adult) and (BMI is Normal.Weight) and (Diabetes is Groupe4) and (Smoking is Medium.Effect) and (Blood.Pressure is High) and (Hyperlipidemia is High) then (Aneurysm is Moderate.Risk) (1)

10. If (Atherosclerosis is Low) and (Gender is Male) and (Age is Adult) and (BMI is Normal.Weight) and (Diabetes is Groupe4) and (Smoking is Medium.Effect) and (Blood.Pressure is High) and (Hyperlipidemia is Medium) then (Aneurysm is Moderate.Risk) (1)

11. If (Atherosclerosis is Low) and (Gender is Male) and (Age is Adult) and (BMI is Normal.Weight) and (Diabetes is Groupe4) and (Smoking is Medium.Effect) and (Blood.Pressure is High) and (Hyperlipidemia is High) then (Aneurysm is High.Risk) (1)

12. If (Atherosclerosis is Low) and (Gender is Male) and (Age is Adult) and (BMI is Normal.Weight) and (Diabetes is Groupe4) and (Smoking is Medium.Effect) and (Blood.Pressure is Medium) and (Hyperlipidemia is High) then (Aneurysm is High.Risk) (1)

13. If (Atherosclerosis is Low) and (Gender is Male) and (Age is Adult) and (BMI is Normal.Weight) and (Diabetes is Groupe4) and (Smoking is Great.Effect) and (Blood.Pressure is Medium) and (Hyperlipidemia is High) then (Aneurysm is High.Risk) (1)

14. If (Atherosclerosis is Low) and (Gender is Male) and (Age is Adult) and (BMI is Normal.Weight) and (Diabetes is Groupe4) and (Smoking is Great.Effect) and (Blood.Pressure is High) and (Hyperlipidemia is High) then (Aneurysm is High.Risk) (1)

15. If (Atherosclerosis is Low) and (Gender is Male) and (Age is Adult) and (BMI is Normal.Weight) and (Diabetes is Groupe3) and (Smoking is Great.Effect) and (Blood.Pressure is High) and (Hyperlipidemia is High) then (Aneurysm is Moderate.Risk) (1)

16. If (Atherosclerosis is Low) and (Gender is Male) and (Age is Adult) and (BMI is Normal.Weight) and (Diabetes is Groupe3) and (Smoking is Great.Effect) and (Blood.Pressure is Moderate) and (Hyperlipidemia is High) then (Aneurysm is Low.Risk) (1)

17. If (Atherosclerosis is Low) and (Gender is Male) and (Age is Adult) and (BMI is Normal.Weight) and (Diabetes is Groupe3) and (Smoking is No.Effect) and (Blood.Pressure is Moderate) and (Hyperlipidemia is High) then (Aneurysm is Low.Risk) (1)

and and and and and Then

BMI is Diabetes is Smoking is Blood.Pressure is Hyperlipidemia is Aneurysm

Non.Diabetic
Groupe5
Groupe4
Groupe3
Groupe2
Groupe1
none

No Effect
Medium.Effect
Great.Effect
none

Moderate
Medium
High
none

Weak
Medium
High
none

Low.Risk
Moderate.Risk
High.Risk
none

not not not not not

Connection: or and

Weight: 1

Delete rule Add rule Change rule << >>

FIS Name: Aneurysm Help Close

Figure 90 : Base des règles

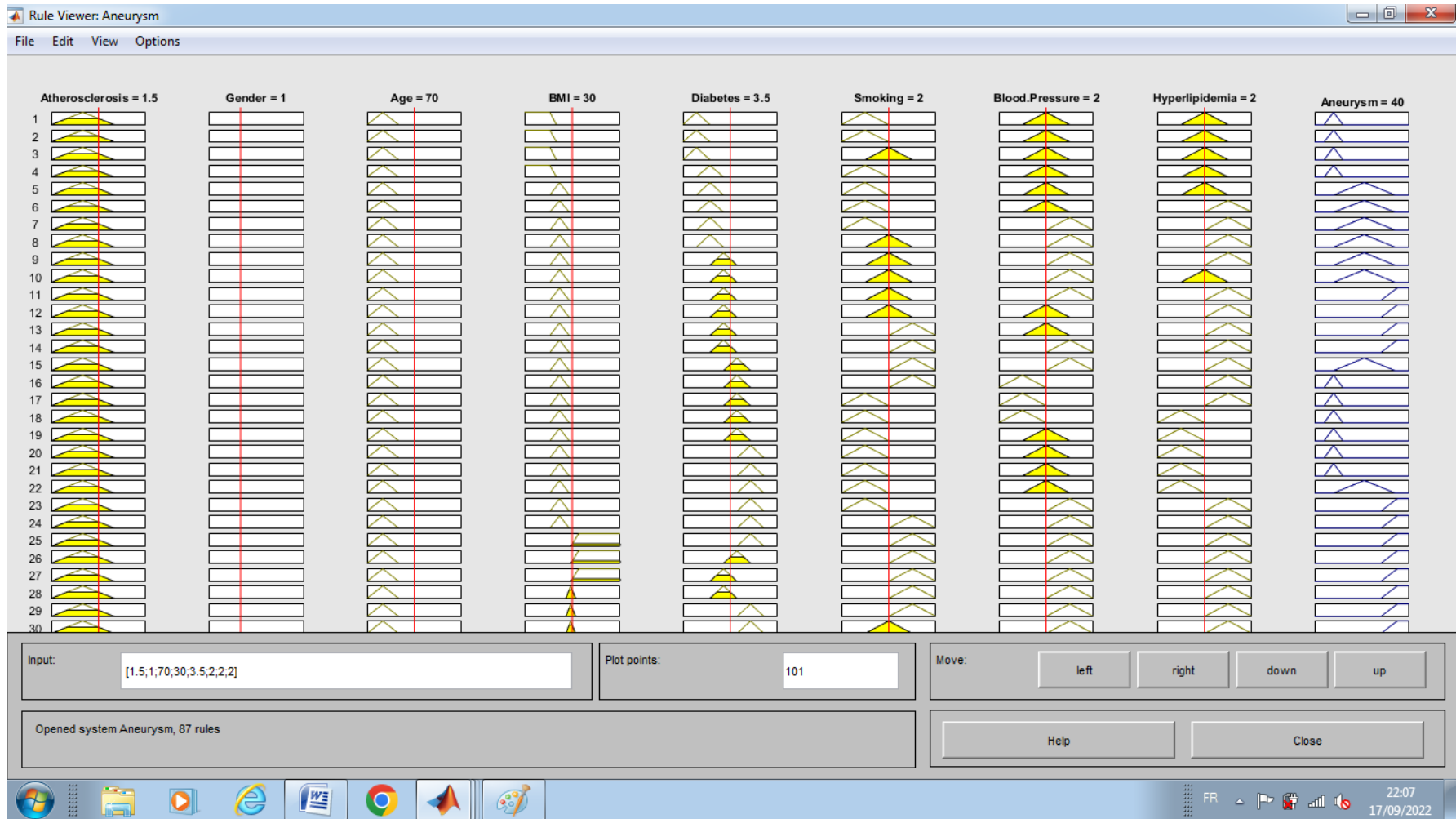


Figure 91 : Exemple d'applicatio

4.3.2. Analyse par les réseaux de neurones artificiels

L'étude porte sur une population de 901 cas diagnostiqués, Les paramètres âge, sexe, diabète, dyslipidémie, tension artérielle, indice de masse corporelle, tabagisme et athérosclérose sont répertoriés. Afin d'établir un diamètre moyen de l'aorte abdominale sous rénale dans cette population, une analyse intelligente reliant ces facteurs au diamètre de l'aorte abdominale sous rénale est appliquée. Comme le système est très complexe à analyser à l'aide de techniques mathématiques classiques, l'utilisation des principes des réseaux de neurones artificiels est justifiée.

La base de règles qui relie les variables d'entrée au diamètre de l'aorte abdominale sous rénale est créée à partir des analyses effectuées.

Nous avons choisi de conserver 500 tests ($\cong 50\%$) tandis que 401 autres tests sont utilisés pour l'apprentissage. A priori, la relation entre ces deux espaces est complexe (en particulier non linéaire) ce qui justifie l'utilisation du réseau multicouche.

4.3.2.1. Apprentissage du réseau de neurones

Il s'agit dans notre cas d'introduire des données d'analyses enregistrées. Le diamètre de l'aorte abdominal sous rénale mesuré est considéré variable de sortie.

Pour réaliser cela, la méthode est en quelque sorte une imitation du cerveau : si la réponse est correcte, c'est bien, mais s'il y a une *erreur*, il faut *modifier* le réseau afin de ne pas réitérer l'erreur. Chaque facteur est mis en correspondance avec la variable de sortie. On recommence

plusieurs centaines de fois l'opération, jusqu'à ce que le réseau ait la plus petite valeur d'erreur possible. Dans notre cas 1000 répétitions.

- *Age*

Le réseau construit est multi couche (figure 92). Avec une boucle d'ajustement de la fonction de transfert de 1000 en modifiant les poids pour arriver au minimum d'erreur. On constate que juste à 115 itérations on arrive à minimiser l'erreur à 10^{-7} .

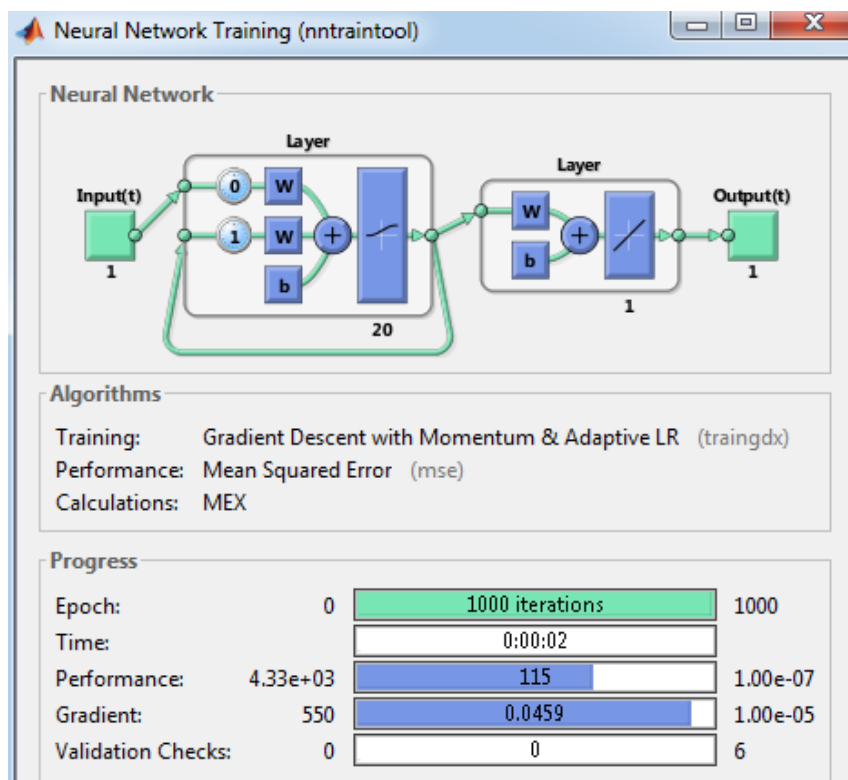


Figure92. Schématique du système de correction d'erreur lors de l'apprentissage du réseau 'Age'

Note: afin de modifier le réseau, il suffit d'intervenir sur les poids [W] qui sont sous forme de nombres réels liant les neurones. Comme ces poids interviennent dans la somme effectuée par chaque neurone (la somme est pondérée), il est possible de modifier le réseau en changeant leurs valeurs sans pour autant changer le réseau lui-même. Ceci dit, il n'est pas évident de savoir de combien il faut modifier ces poids. Le but est d'arriver à converger vers une erreur minimale.

- *Diabète*

Le réseau construit est multi couche . Avec une boucle d’ajustement de la fonction de transfert de 1000 en modifiant les poids pour arriver au minimum d’erreur.

On constate que pour réduire l’erreur à son minimum, on atteint les 1000 itérations on arrive à minimiser l’erreur à 10^{-7} . (Figure 93)

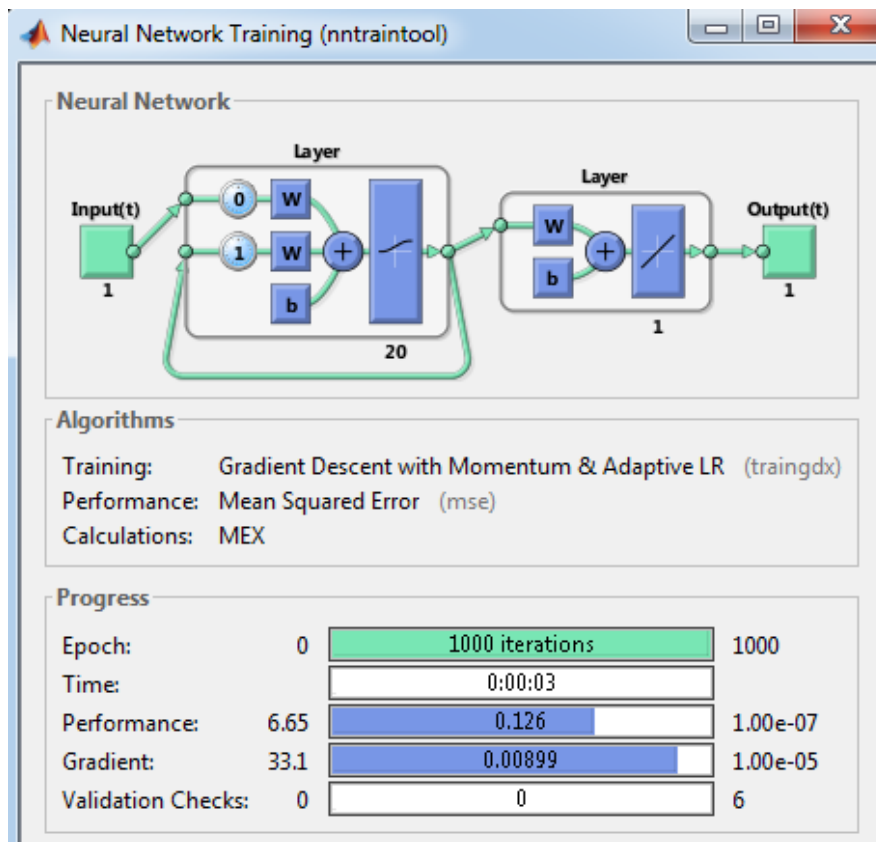


Figure 93: Schématique du système de correction d’erreur lors de l’apprentissage du réseau ‘Diabète’

L’ensemble des facteurs sont ainsi analysés.

L'architecture globale du programme est :

Neural Network object:

architecture:

numInputs: 3

numLayers: 2

biasConnect: [1; 1]

inputConnect: [1; 0]

layerConnect: [1 0; 1 0]

outputConnect: [0 1]

targetConnect: [0 1]

numOutputs: 1 (read-only)

numTargets: 1 (read-only)

numInputDelays: 0 (read-only)

numLayerDelays: 1 (read-only)

subobject structures:

inputs: {1x1 cell} of inputs

layers: {2x1 cell} of layers

outputs: {1x2 cell} containing 1 output

targets: {1x2 cell} containing 1 target

biases: {2x1 cell} containing 2 biases

inputWeights: {2x1 cell} containing 1 input weight

layerWeights: {2x2 cell} containing 2 layer weights

functions:

adaptFcn: 'trains'

initFcn: 'initlay'

performFcn: 'mse'

trainFcn: 'traingdx'

parameters:

adaptParam: .passes

initParam: (none)

performParam: (none)

trainParam: .epochs, .goal, .lr, .lr_dec,

.lr_inc, .max_fail, .max_perf_inc, .mc,

.min_grad, .show, .time

weight and bias values:

IW: {2x1 cell} containing 1 input weight matrix

LW: {2x2 cell} containing 2 layer weight matrices

b: {2x1 cell} containing 2 bias vectors

other:

userdata: (user stuff)

La fonction $f(x)$ créée et ajustée avec des coefficients dits de poids.

Cette fonction prend en compte toutes les variables et permet d'introduire des valeurs aléatoires en entrée à lire à la sortie le diamètre de l'aorte correspondante.

Exemple (Figure 94) : Les valeurs fixées au hasard (1:55:2) font référence à un sujet masculin, âgé de 55 ans et diabétique. Le diamètre de l'aorte probable correspondant sera 38,5 mm.

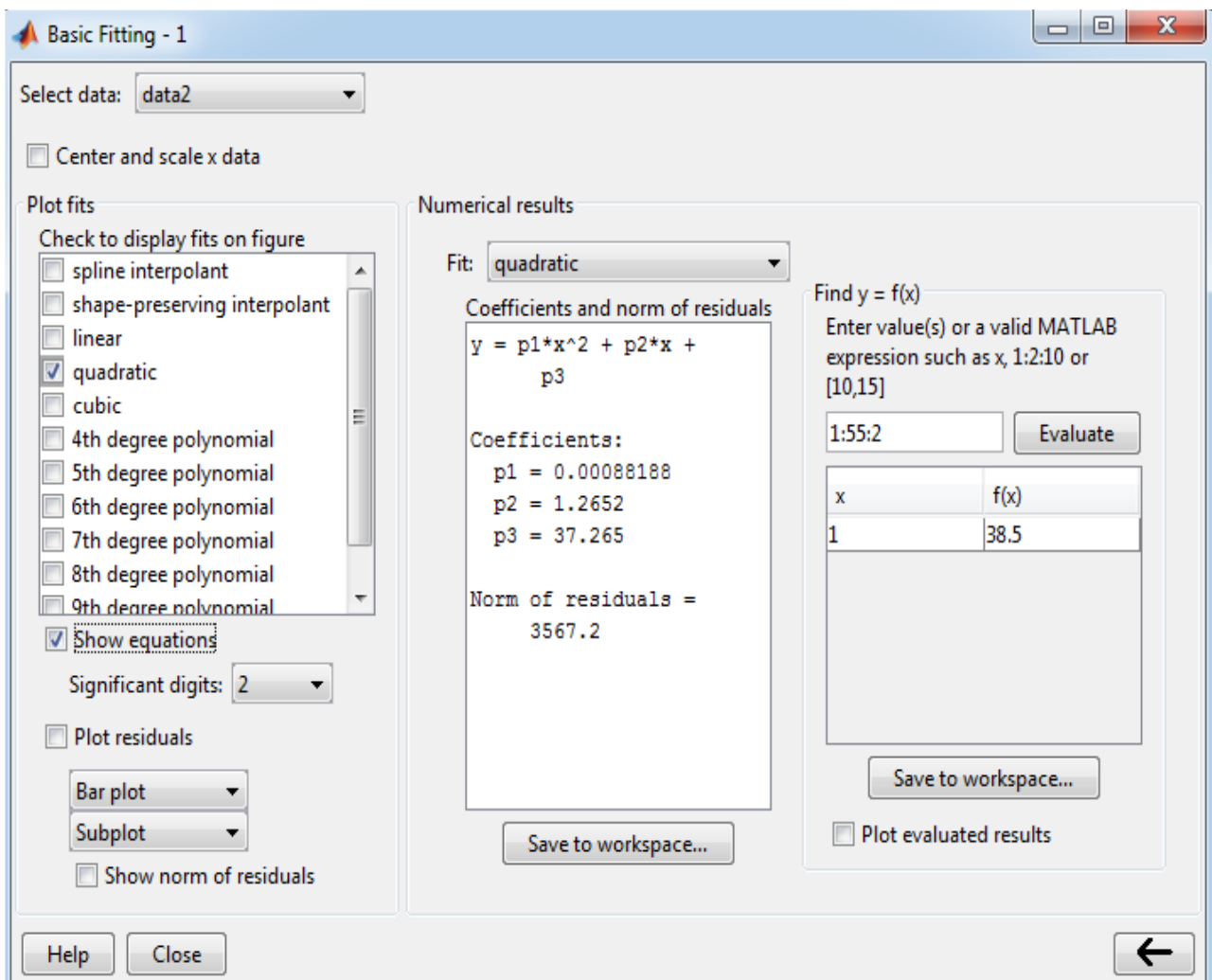


Figure 94 Exemple d'application RNA

Hyperlipidémie :

Selon le même principe d'analyse, Le système construit est illustré à la figure 95.

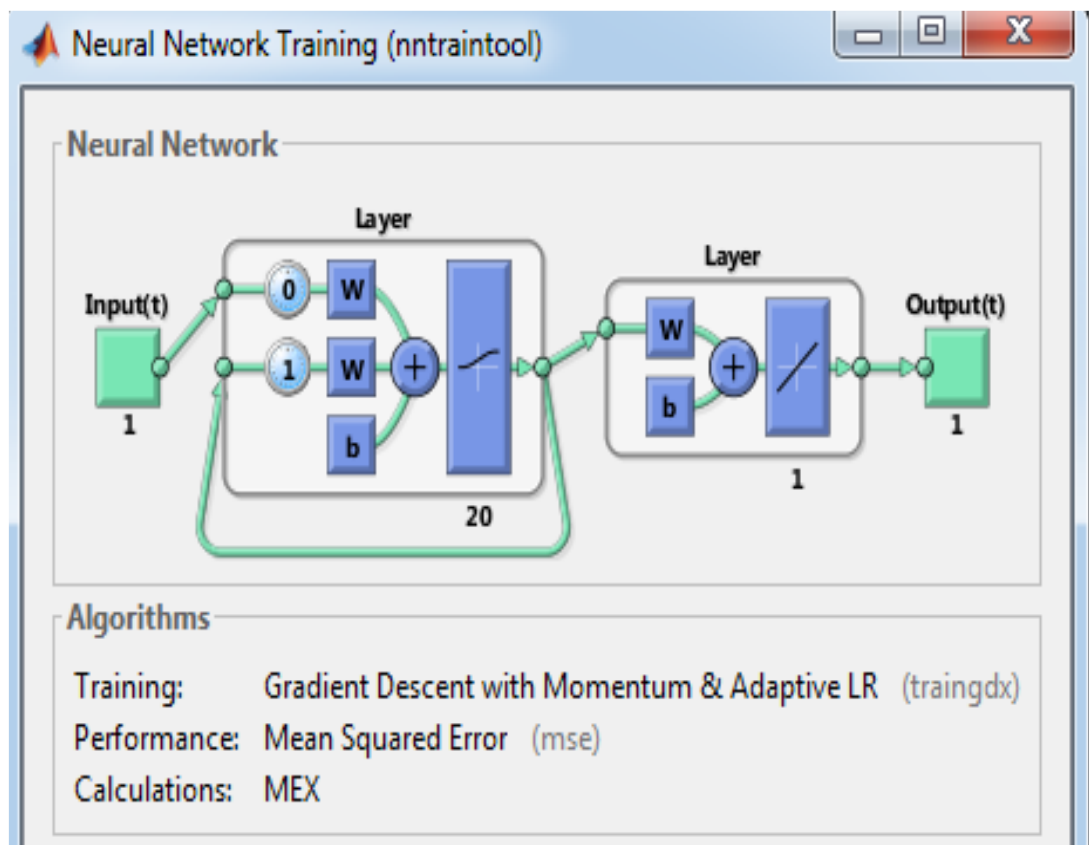


Figure 95 : Schéma bloc du système

Pour chaque patient diagnostiqué, les paramètres prises en relation avec l'hyperlipidémie et mises en correspondance avec les diamètres de l'aorte mesurés, une fonction de transfert est créée.

Avec plusieurs cas considérés dans l'apprentissage, la fonction est donc réajustée à son minimum d'erreur. Dans notre cas, 1000 itérations en boucle sont prévues afin d'obtenir une erreur minimale.

Il a été constaté qu'à 100 itérations, le résultat optimal est atteint avec une erreur de 1.10^{-7} (Figure 96).

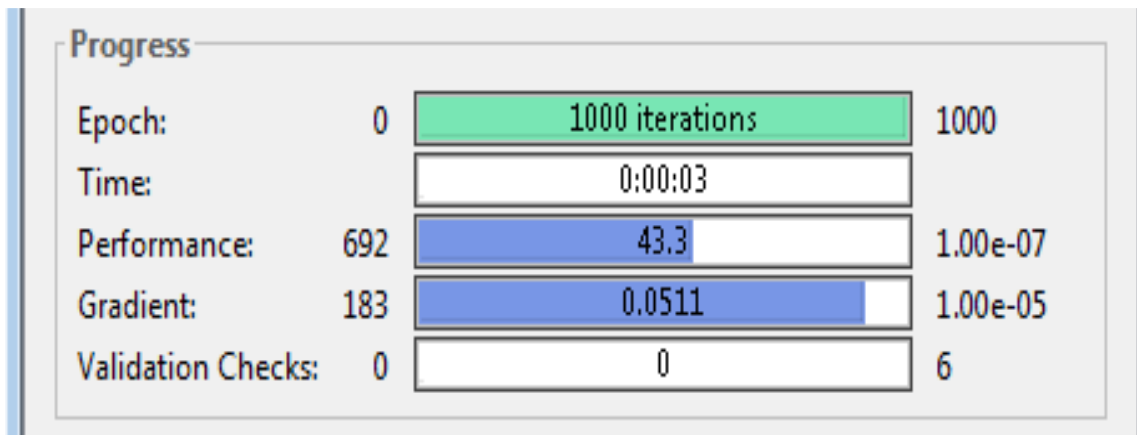


Figure 96. Schéma du système de correction d'erreur lors de l'apprentissage du Réseau "Hyperlipidémie"

Il devient alors possible de calculer le diamètre de l'aorte abdominale à partir de la fonction illustrée à la figure 97.

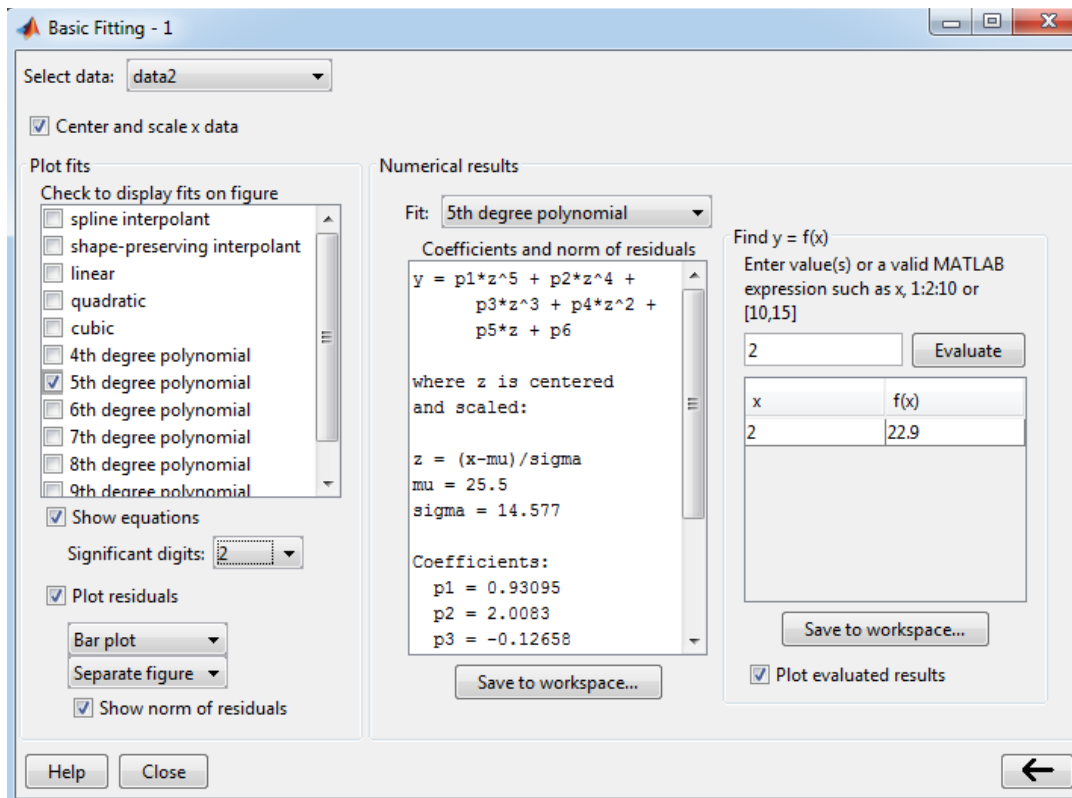


Figure 97. Exemple de calcul du diamètre de l'aorte

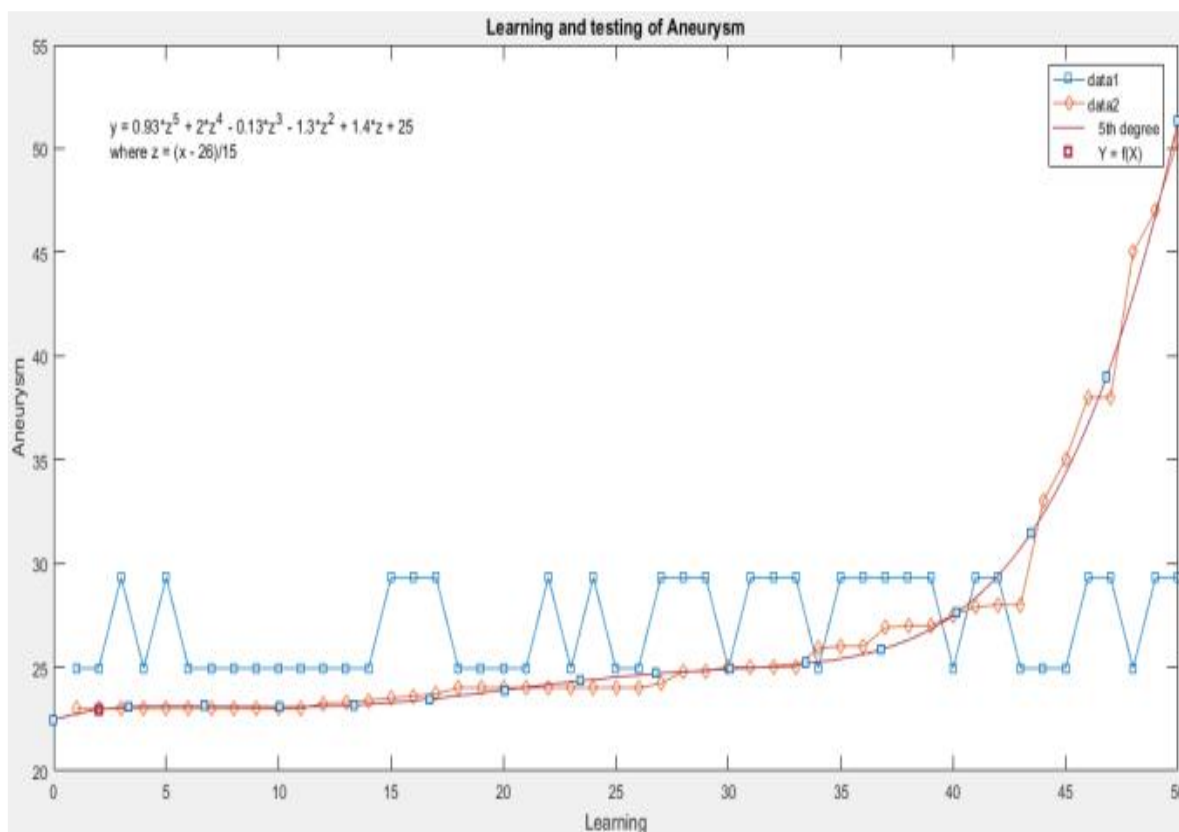


Figure 98. Variation de l'anévrisme en fonction de la variable "Hyperlipidémie"

La figure 95 illustre la variation du diamètre de l'aorte abdominale en fonction de l'absence ou de la présence d'hyperlipidémie. Ce que l'on remarque, c'est qu'après optimisation de la fonction, les valeurs de test se confondent avec les valeurs d'apprentissage.

Le système complété permet d'attribuer une valeur à la présence ou à l'absence d'hyperlipidémie et de lire automatiquement la valeur probable du diamètre l'aorte abdominale sous rénale prédit.

Hypertension artérielle

Dans la population d'étude, une mise en correspondance entre l'espace d'entrée qui constitue les valeurs d'hypertension artérielle avec l'espace de sortie du système qui exprime le diamètre de l'aorte abdominale sous rénale. La fonction de transfert créée lors de la phase d'apprentissage est ajustée à son erreur minimale. Cela aidera à prédire le développement de l'anévrisme en fonction de la pression artérielle, ce qui facilitera la mise en place d'un programme de suivi.

500 cas sont pris par intermittence et utilisés pour l'apprentissage en réseau, soit 50%. Les 401 autres sont utilisés pour les tests (Figure 99).

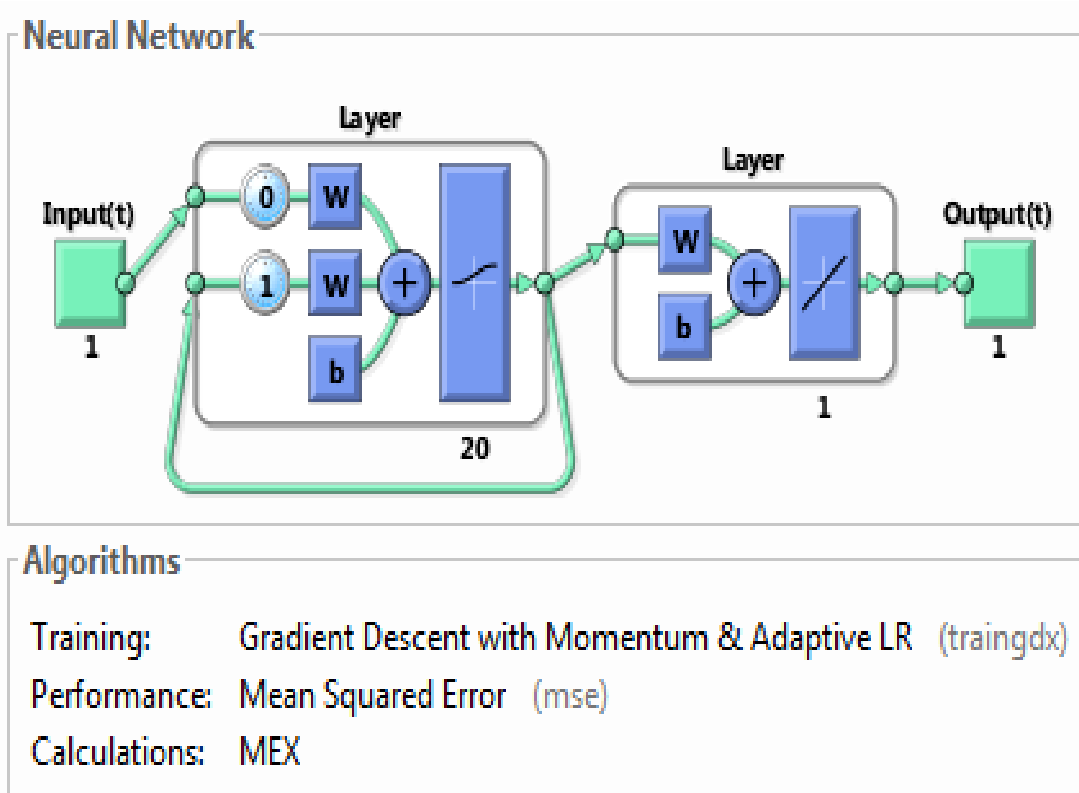


Figure 99. Schéma fonctionnel du système

Afin de minimiser l'erreur autant que possible, un nombre de 1000 itérations sont effectuées.

Le système est bouclé 1000 fois la correction d'erreur (Figure 100).

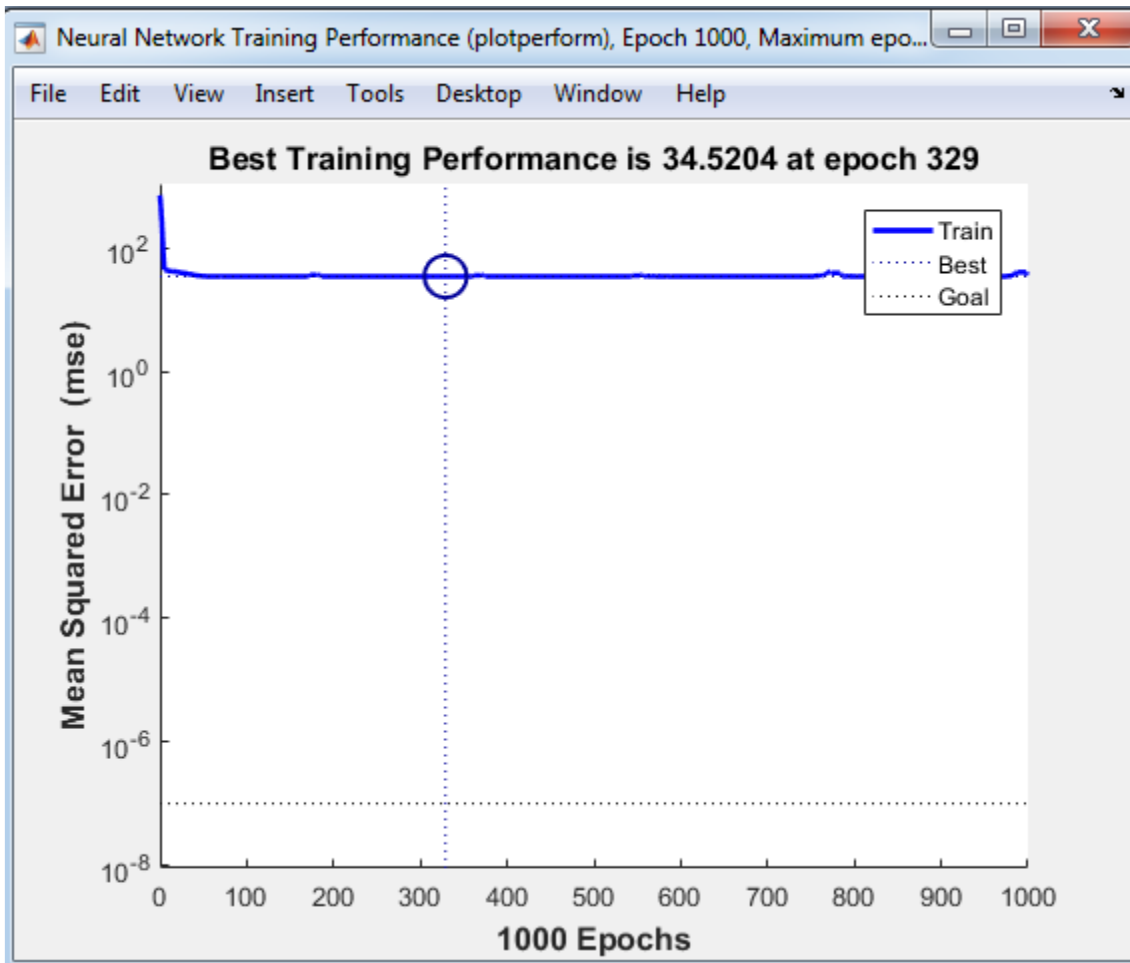


Figure 100. Meilleures performances du système

Nous pouvons voir qu'à 329 itérations, le système atteint son optimum avec un taux d'erreur est réduit à 10^{-7} (Figure 101).

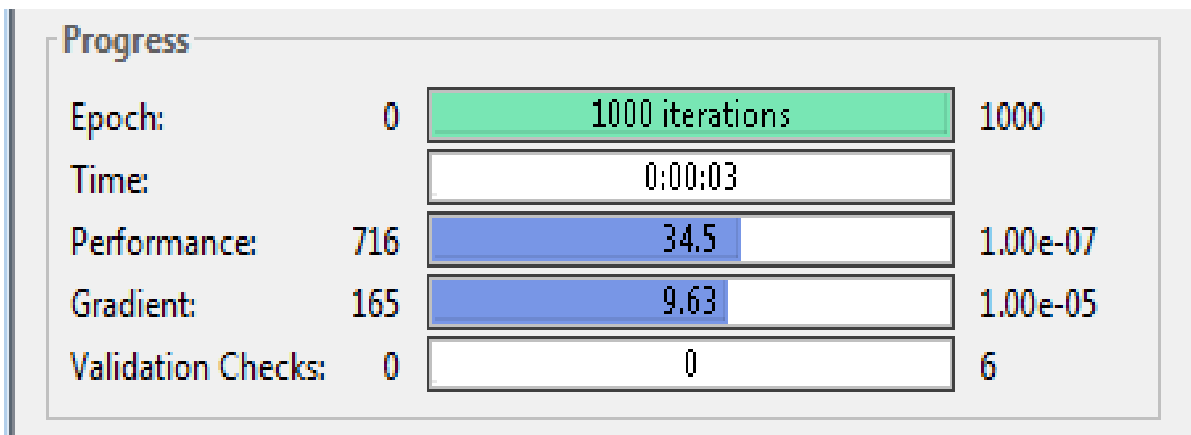


Figure 101 . Performances d'apprentissage

Nous constatons que les valeurs tests coïncident parfaitement avec les valeurs d'apprentissage (Figure 102). Comme la présence de tension artérielle est codée par la valeur (1) et son absence par la valeur (2), on voit la variation du diamètre de l'aorte abdominale sous rénale entre ces deux valeurs. La fonction tendancielle de l'évolution de l'anévrisme est présentée sur sa courbe de variation.

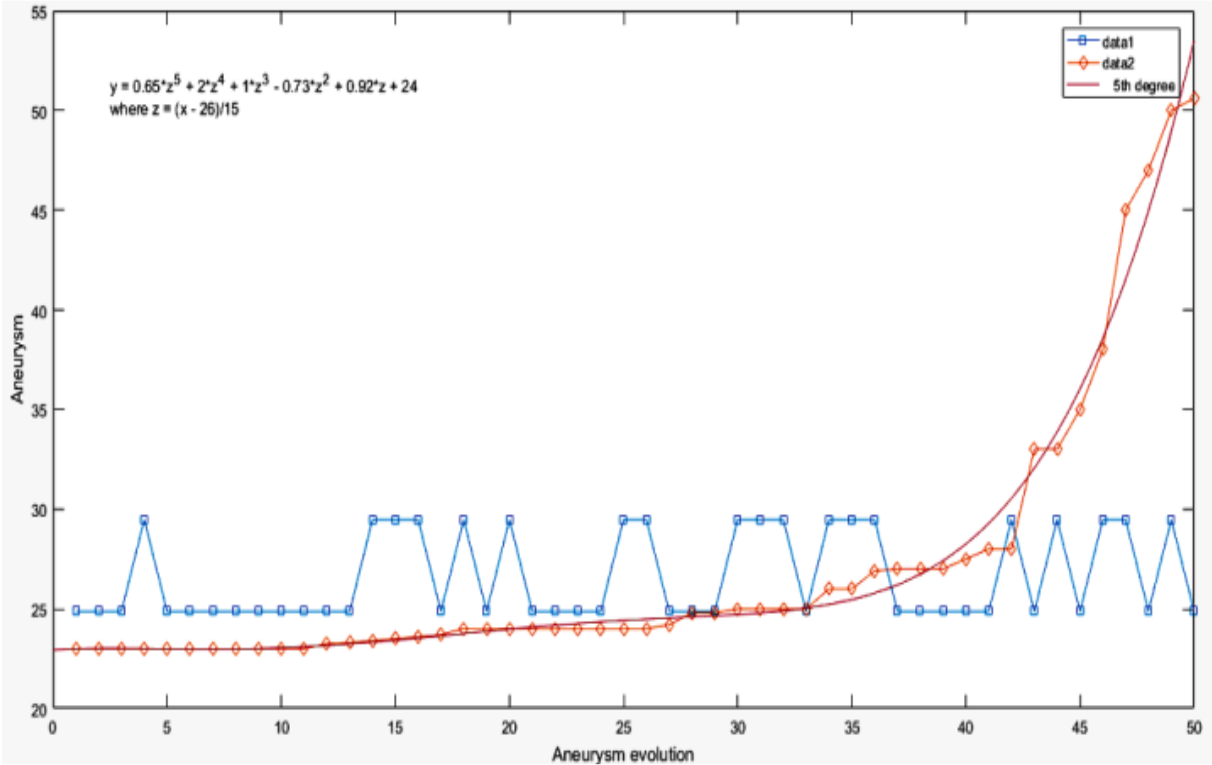


Figure 102. Tendence du diamètre de l'aorte abdominale sous rénale

Une fois le système établi, il devient possible de fixer la valeur de la variable d'entrée pour lire automatiquement la valeur à la sortie. (Figure 103)

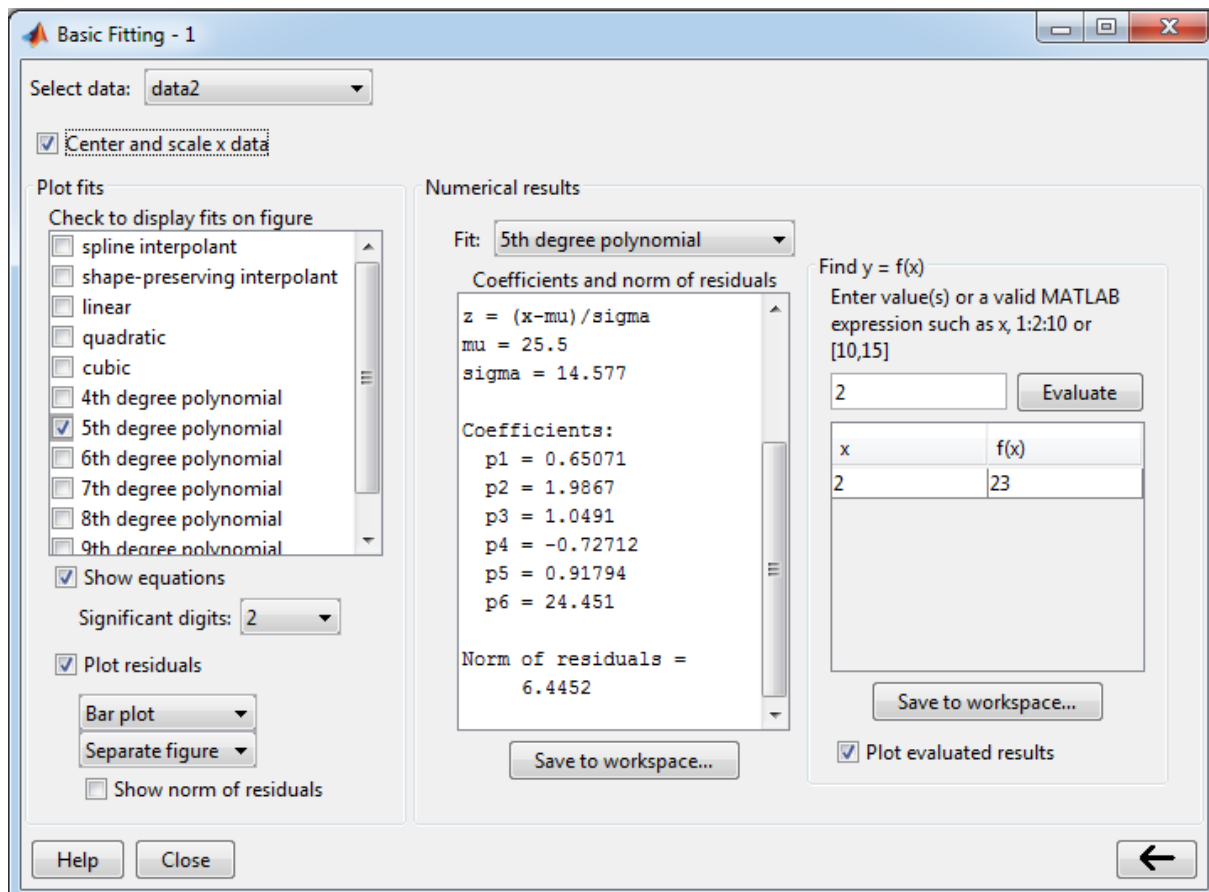


Figure 103. Valeur du diamètre de l'aorte abdominale sous rénale en fonction de l'HTA

Les autres paramètres sont analysés selon le même principe. A l'issue de notre analyse, une application visuelle est mise au point.

Dans celle-ci, il suffit de fixer aléatoirement des variables à l'entrée du système pour lire le résultat à la sortie en diamètre de l'aorte abdominale sous rénale.

Le résultat affiché à la sortie est la contribution de l'ensemble des variables à l'entrée du système.

Chaque variable est considérée floue. Cela compense l'imprécision de la limitation de facteurs pris. Car, d'autres effets peuvent influencer la variation du diamètre de l'aorte abdominale sous rénale et qui ne sont pas pris en charge.

Une fois ces variables fuzzyfiées, elles sont introduites dans un réseau neuronal multicouches.

Le système proposé est alors un système hybride -ANFIS- (Adaptative Neuro Fuzzy Inference System). Ces combinaisons de variables sont ajustées et optimisées par modélisation neuronale.

4.3.3 Synthèse des résultats obtenu par l'intelligence artificielle :

Dans cette étude, on a développé un logiciel de dépistage de l'anévrisme de l'aorte abdominale (AAAs) basé sur un système d'intelligence artificielle. Le système permet d'introduire diverses variables comme l'âge, le sexe, les facteurs de risque etc. et donne en résultat le diamètre estimé de l'aorte abdominale sous-rénale.

Ce diamètre estimé est obtenu en agrégeant l'ensemble des règles incluant toutes les variables d'entrée, ce qui permet d'avoir un résultat aussi précis que possible. Nous avons considéré comme AAAs un diamètre supérieur à 25 mm. Ainsi, selon le diamètre de sortie estimé, trois situations se présentent :

Diamètre > 30 mm : Imagerie de dépistage recommandée car risque élevé d'AAAs

Diamètre < 25 mm : Pas d'imagerie nécessaire

Diamètre entre 25 et 30 mm : Imagerie souhaitable sans caractère d'urgence

Ce logiciel de dépistage permet donc d'orienter la nécessité ou non d'exams d'imagerie pour dépister un AAA de façon personnalisée en fonction des caractéristiques du patient.

Situation 01 :

La figure 104.a présente le résultat obtenu avec le logiciel de dépistage de l'AAA sous rénale dans le cas où le diamètre estimé est inférieur à 25mm.

Après saisie des caractéristiques du patient, le système a calculé un diamètre de sortie de l'aorte abdominale sous-rénale.

D'après les seuils établis, un diamètre inférieur à 25mm indique un faible risque d'anévrisme aortique abdominal sous rénale . Dans ce type de situation, le logiciel considère qu'aucune imagerie de dépistage n'est nécessaire pour le moment.

Cela correspond au premier cas de figure pouvant être renvoyé par ce système d'intelligence artificielle : pas de nécessité d'examens d'imagerie complémentaires lorsque l'analyse personnalisée des facteurs de risque du patient ne détecte pas de signe de suspicion d'AAA.

Un suivi médical régulier est cependant recommandé, une nouvelle évaluation par le système pouvant être effectuée ultérieurement si besoin.

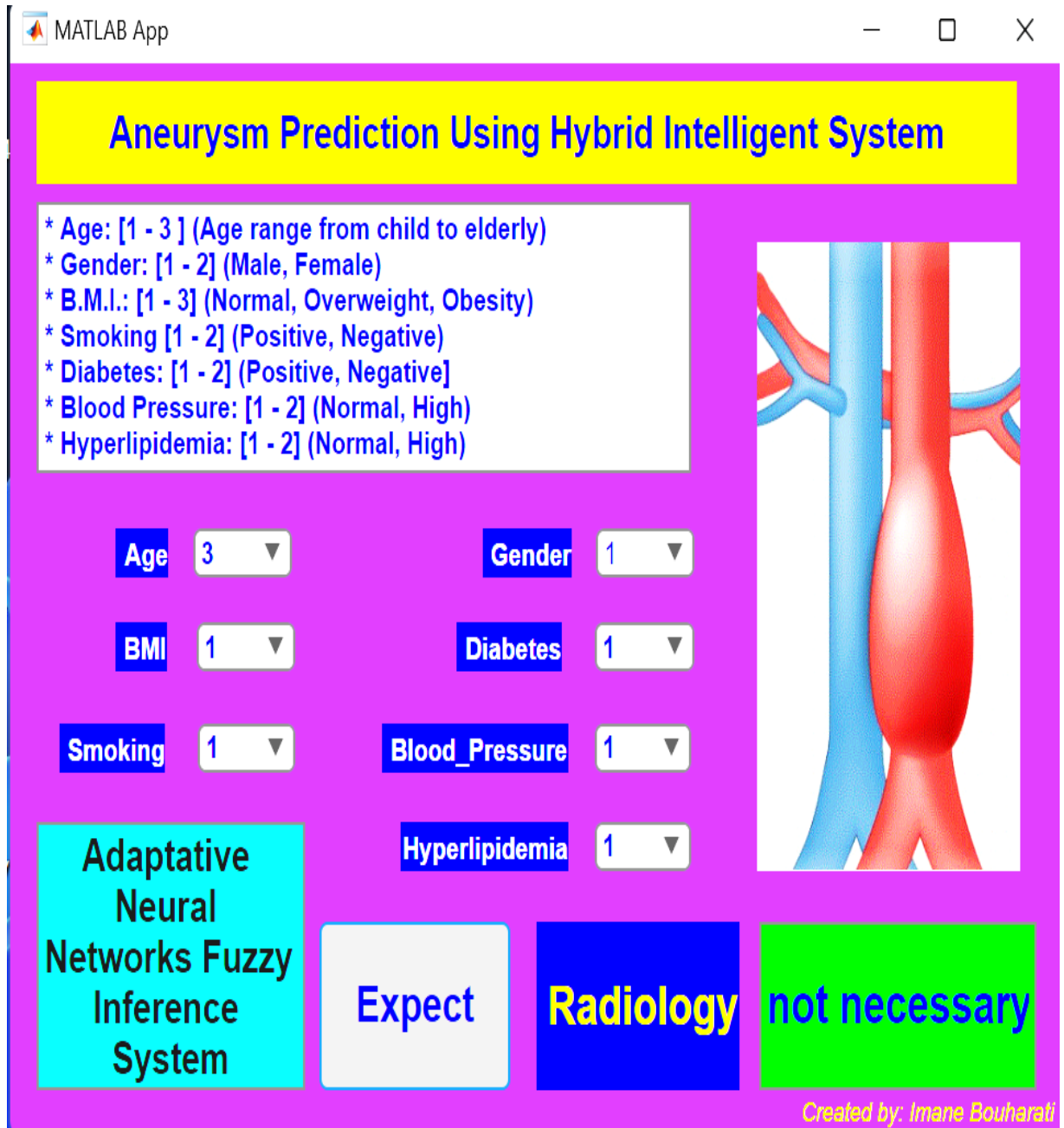


Figure 104.a L'application est générée par Matlab2020b designer.

Première éventualité : imagerie non nécessaire.

Situation 02 :

La figure 104.b présente le résultat obtenu avec le logiciel de dépistage de l'AAA sous rénale dans le cas où le diamètre montre le résultat obtenu par le logiciel dans le cas où le diamètre estimé est compris entre 25 et 30 mm.

Après analyse des variables du patient, le système a calculé un diamètre de sortie pour l'aorte abdominale sous-rénale.

Selon les seuils définis, un diamètre entre 25 et 30 mm indique un risque intermédiaire d'anévrisme aortique abdominal. Dans cette situation, le logiciel suggère qu'une imagerie de dépistage est souhaitable, sans toutefois revêtir un caractère d'urgence.

Cela correspond à la deuxième possibilité issue de ce système d'intelligence artificielle la réalisation d'examens d'imagerie est conseillée devant un risque modéré d'AAAs détecté d'après l'évaluation personnalisée du patient, mais sans notion d'urgence.

Un suivi médical est également préconisé dans ce type de cas.

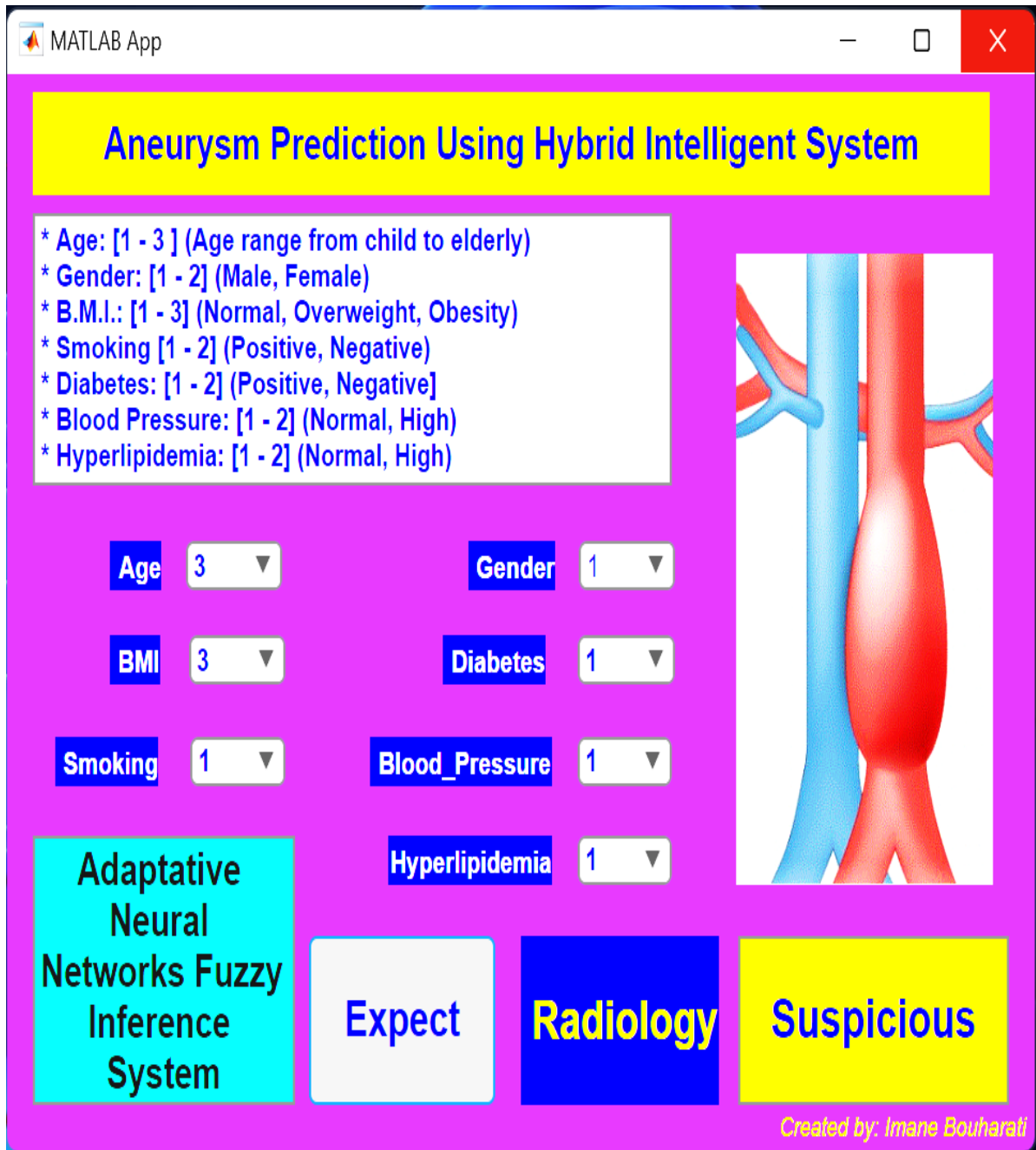


Figure 104.a L'application est générée par Matlab2020b designer.

Deuxième éventualité : imagerie souhaitable.

Situation 03 :

La figure 104.c présente le résultat obtenu avec le logiciel de dépistage de l'anévrisme de l'aorte abdominale sous rénale développé, on peut voir le résultat obtenu dans le cas où le diamètre estimé est supérieur à 30mm.

Les variables d'entrée du patient ont été saisies, comme l'âge, le sexe, la présence de facteurs de risque etc. Le système a ensuite agrégé l'ensemble des règles en fonction de ces paramètres et a calculé un diamètre de sortie de l'aorte abdominale sous-rénale.

Selon les seuils établis, un diamètre supérieur à 30mm indique un risque élevé d'anévrisme de l'aorte abdominale. Dans ce cas, le logiciel recommande donc une imagerie de dépistage afin de confirmer ou infirmer la présence d'un AAAs.

Cette situation correspond à la troisième possibilité issue de ce système d'intelligence artificielle : imagerie recommandée en présence d'un risque important d'AAAs détecté suite à l'analyse personnalisée des facteurs de risque du patient.

Dans ce cas de figure, une échographie abdominale devrait être prescrite en première intention afin de confirmer ou non la présence d'un AAAs. Si l'échographie confirme un AAA avec un diamètre supérieur à 30mm, un scanner abdominal avec injection devrait alors être réalisé en vue d'une planification thérapeutique ou en cas d'AAAs compliqué.

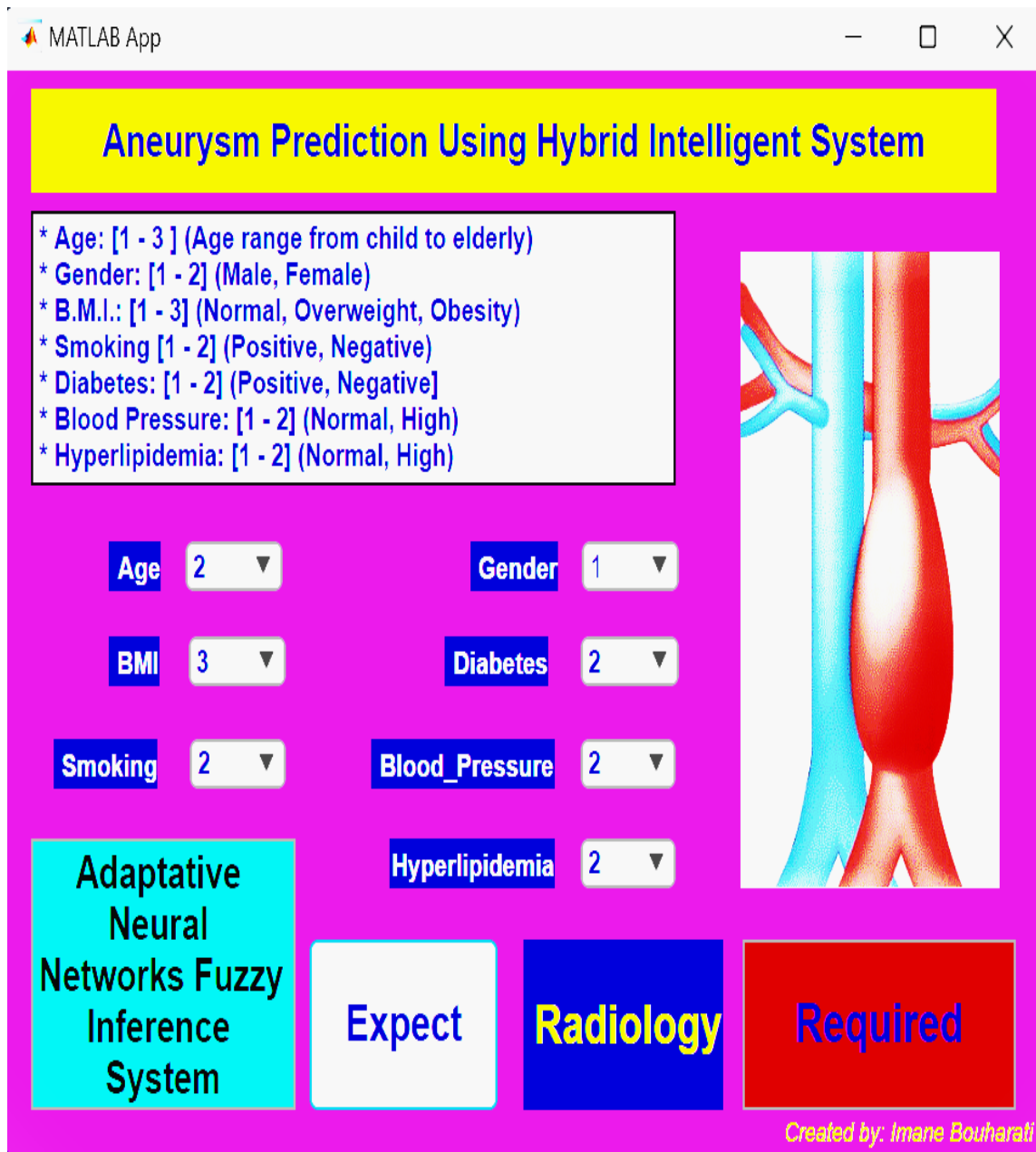


Figure 104.c : L'application est générée par Matlab2020b designer, troisième éventualité imagerie recommandé.

La même application est reproduite sous forme d'interface sous forme de smartphone Application.

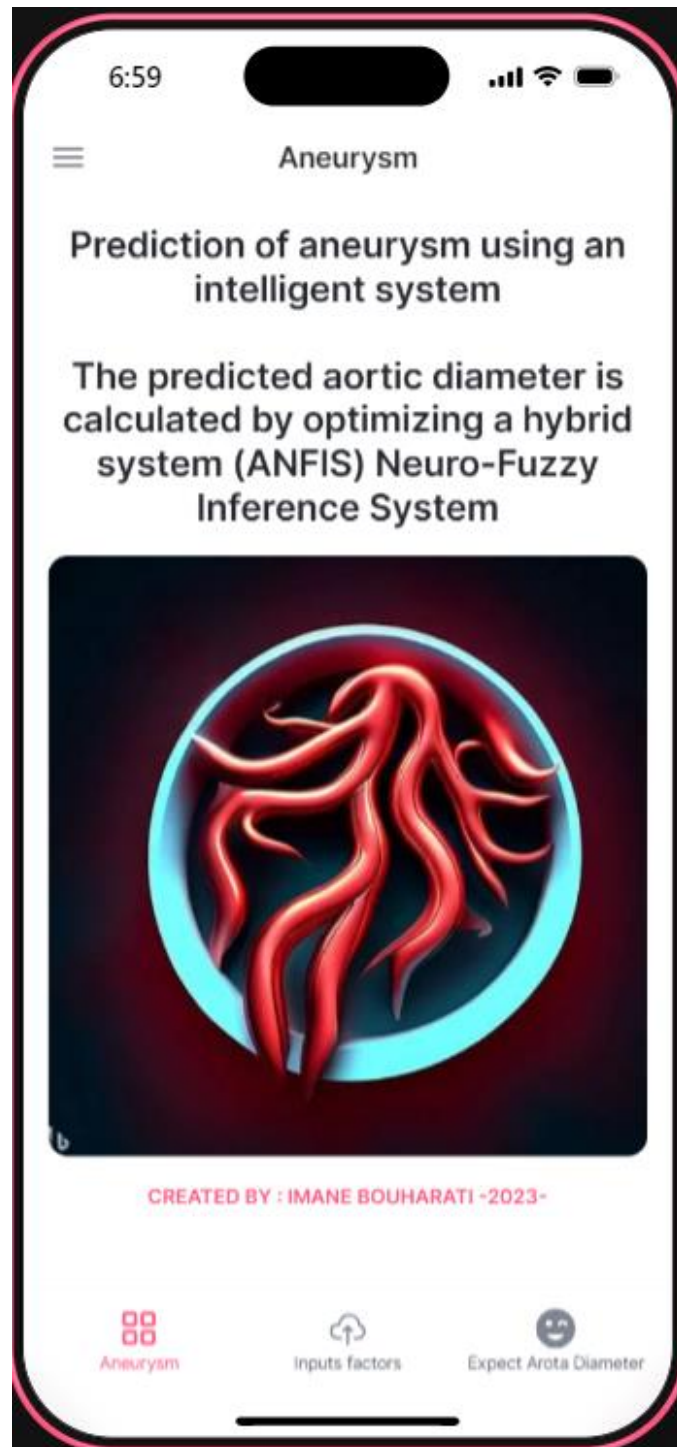


Figure 105 a. interface sous forme de smartphone Application.

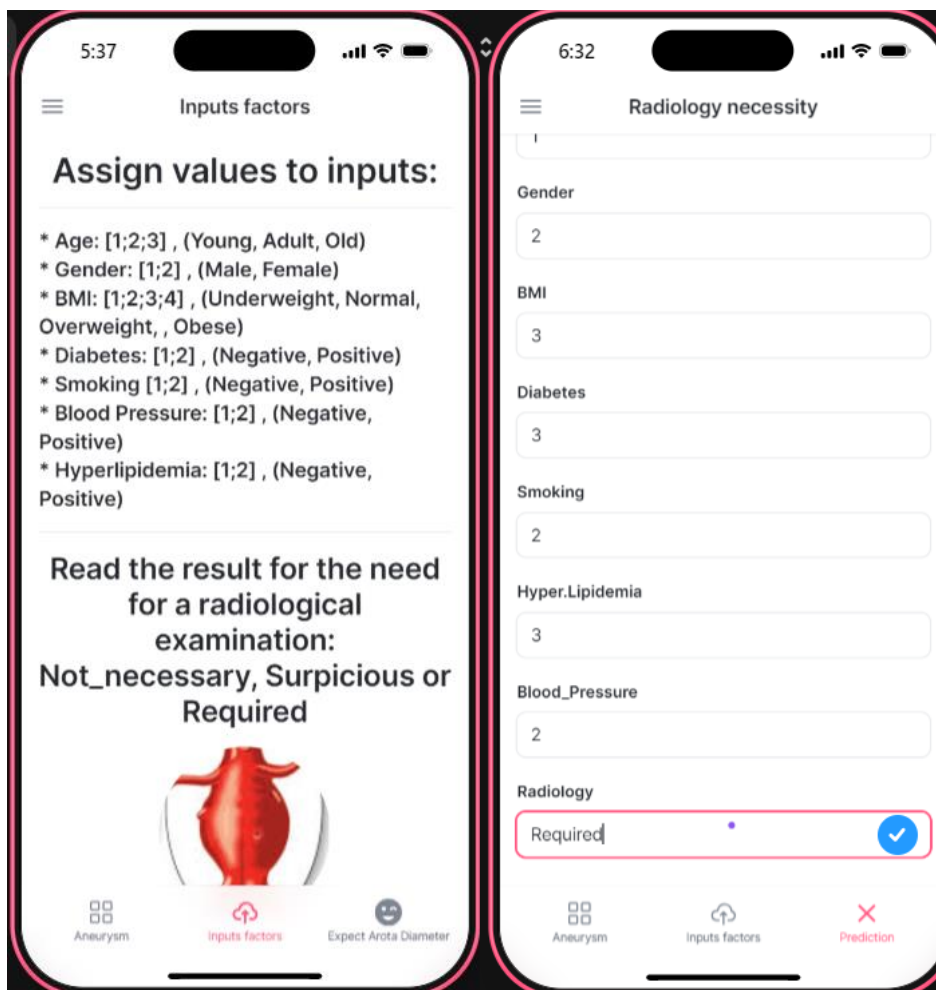


Figure 105 b. interface sous forme de smartphone Application.

4.4 Exemples d'imagerie dans le diagnostic de l'anévrisme d'AAAs :

Les images suivantes illustrent des exemples d'aspects scannographiques d'anévrismes de l'aorte abdominale sous-rénale retrouvés dans notre étude . Elles montrent des dilatations anévrismales de l'aorte de différentes tailles et morphologies.

Cas N°01 :

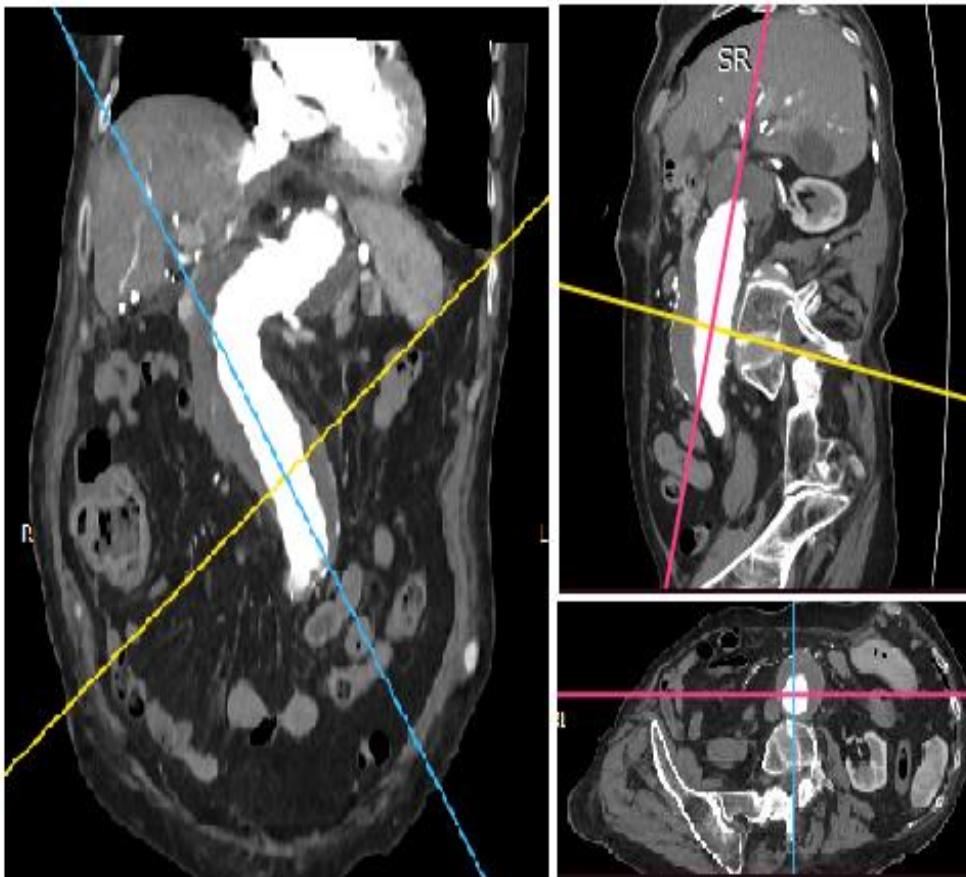


Figure 106 : 88 ans sexe féminin, anévrisme découvert à l' occasion d'une cholécystectomie .Reconstructions multiplanaires (MPR) en fenêtre parenchymateuse injectée au temps artériel d'un scanner abdominale montre une dilatation anévrismale diffuse partiellement thrombosée de l'aorte abdominale et des artères iliaques communes avec trajet tortueux ,refoule la veine cave inférieur, perméable .

Cas N°02 :

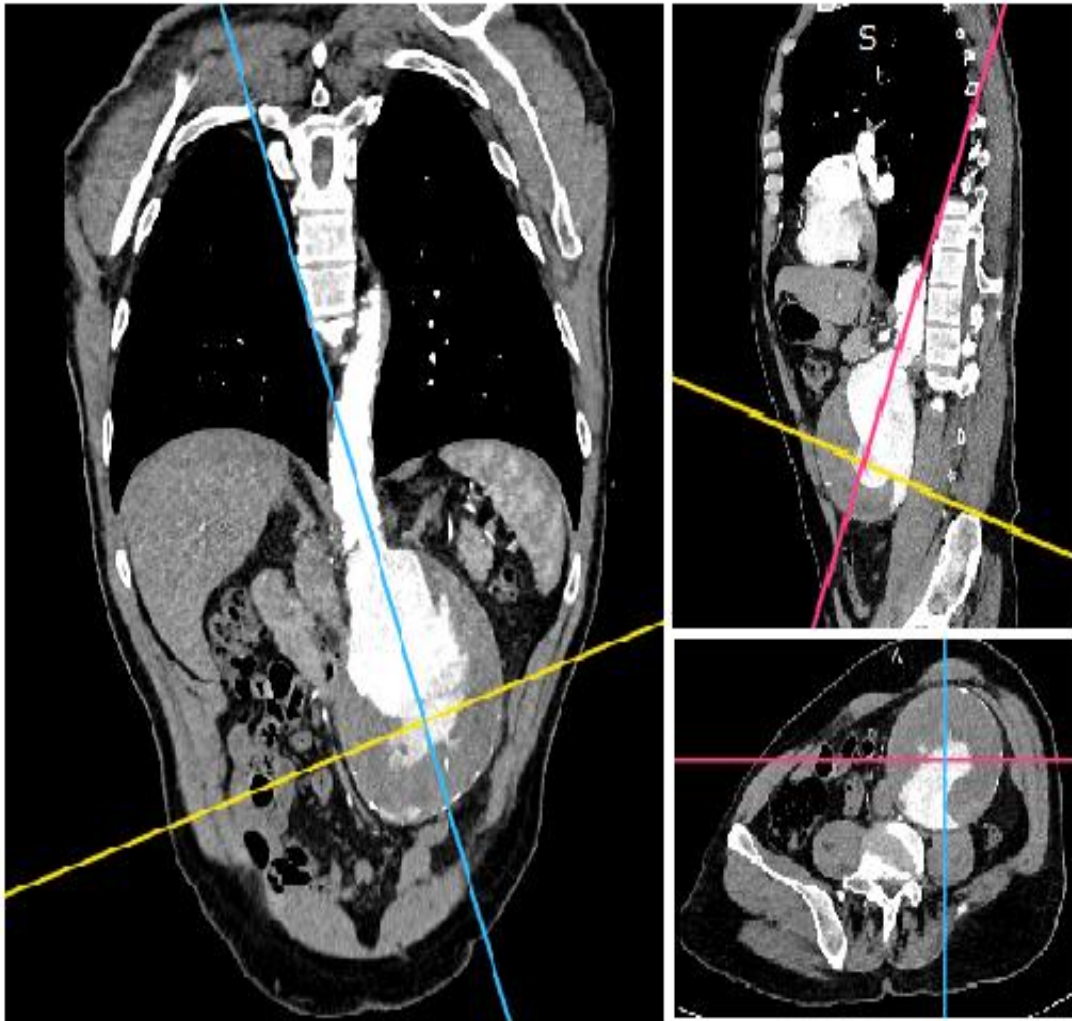


Figure 107 :67 ans fumeur masculin, anévrisme découvert fortuitement orienté en de chirurgie vue la taille considérable de 96 mm.

Reconstructions multiplanaires (MPR) en fenêtre parenchymateuse injectée au temps artériel d'un scanner abdominale montre un volumineux anévrisme fusiforme de l'aorte abdominale étendu immédiatement sous la naissance des artères rénales jusqu'à la bifurcation iliaque ,partiellement thrombosé avec absence d'infiltration de la graisse péri-anévrismale ni hémorétropéritoine.

Cas N°03 :

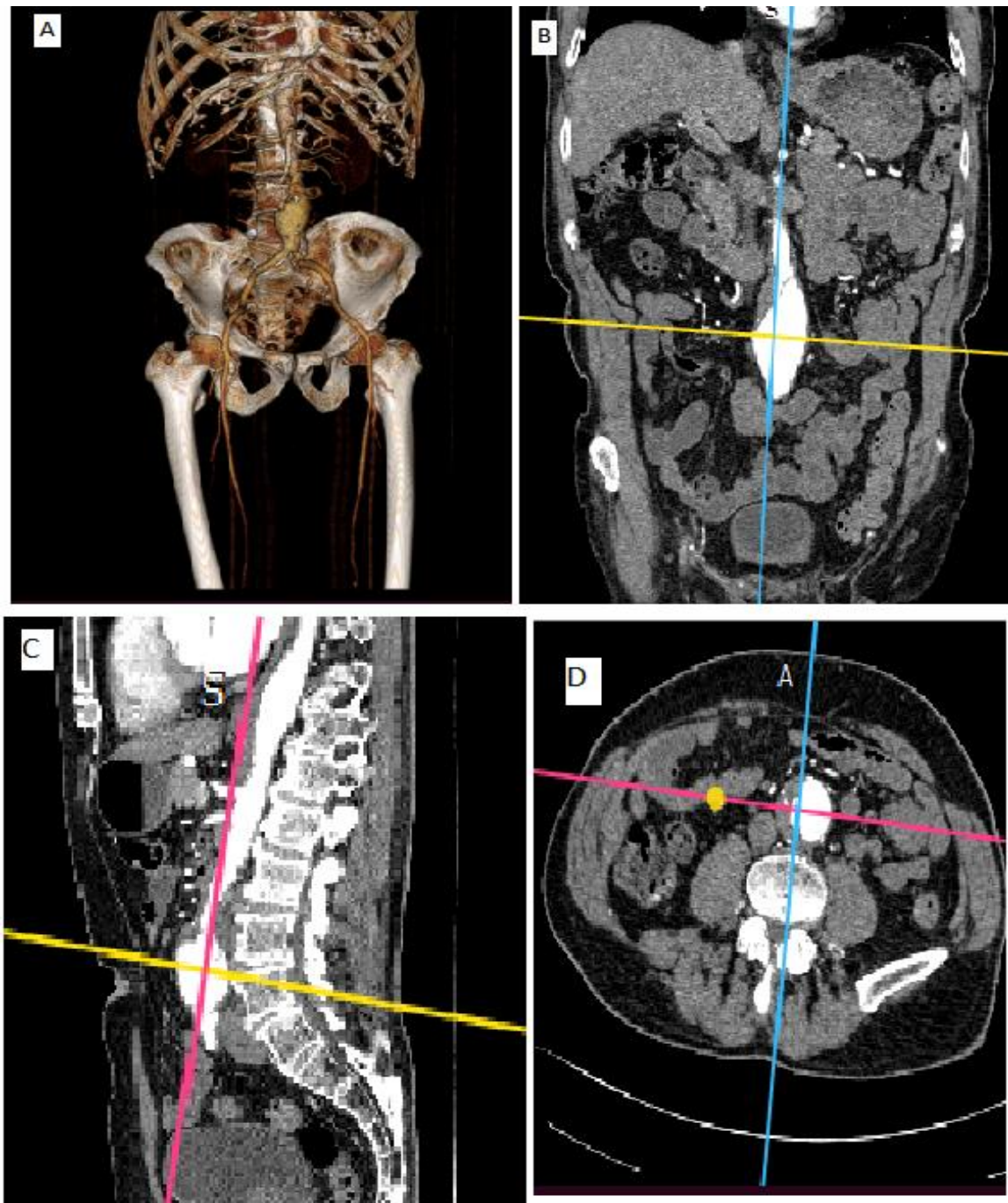


Figure 108 : Homme 75, anévrisme découvert fortuitement.

(A) reconstruction 03D VR (rendu de volume);(B/C/D) Reconstructions multiplanaires (MPR) en fenêtre parenchymateuse injectée au temps artériel d'un scanner abdominale montre un anévrisme fusiforme partiellement thrombosée de l'aorte abdominale sous rénale .

Cas N°04 :

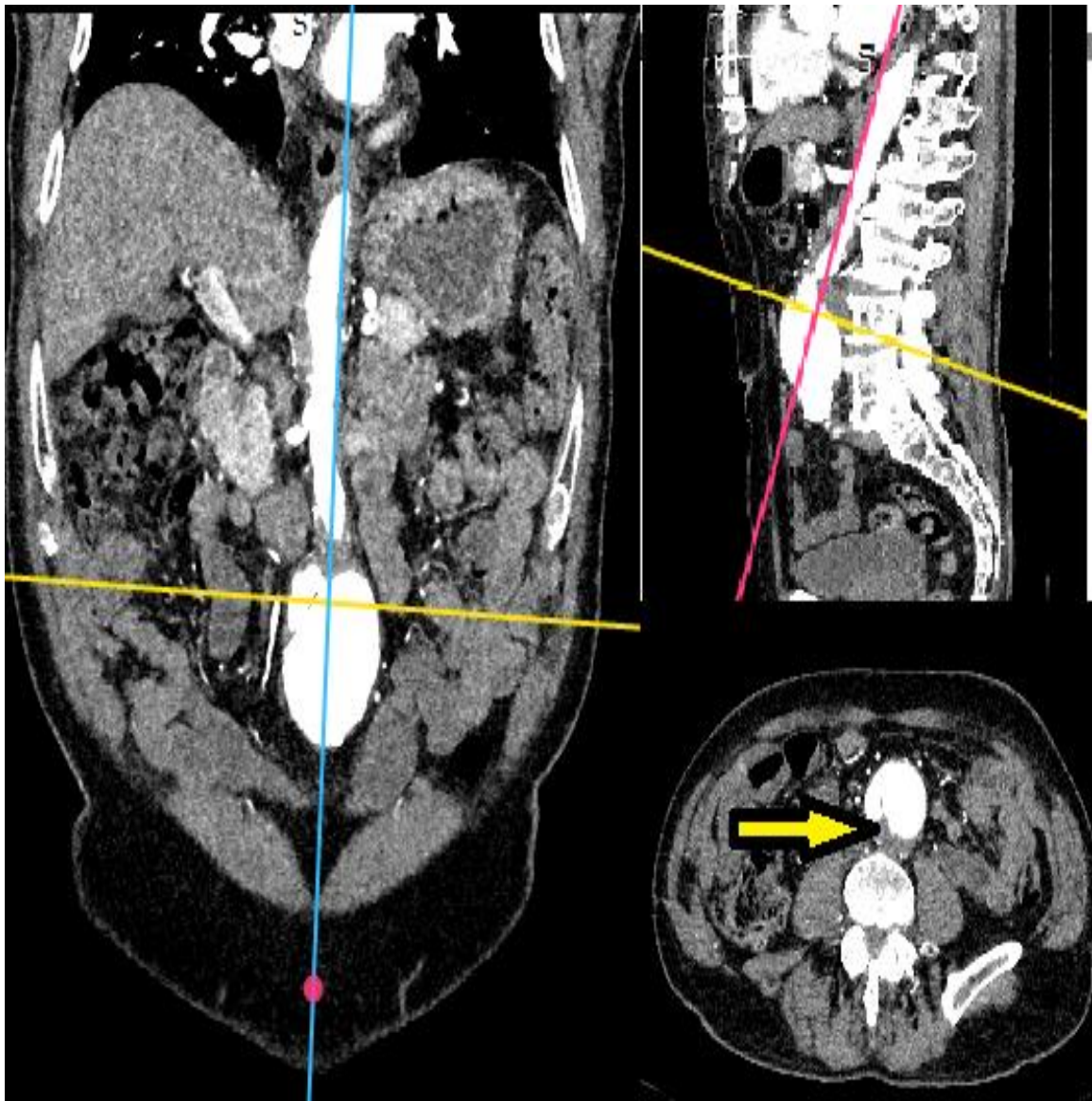


Figure 109 : Homme 76, anévrisme découvert fortuitement.

Reconstructions multiplanaires (MPR) en fenêtre parenchymateuse injectée au temps artériel d'un scanner abdominale montre un anévrisme fusiforme partiellement thrombosé de l'aorte abdominale sous rénale avec une flappe intimale stigmata de dissection (flèche jaune) .

Cas N°05:

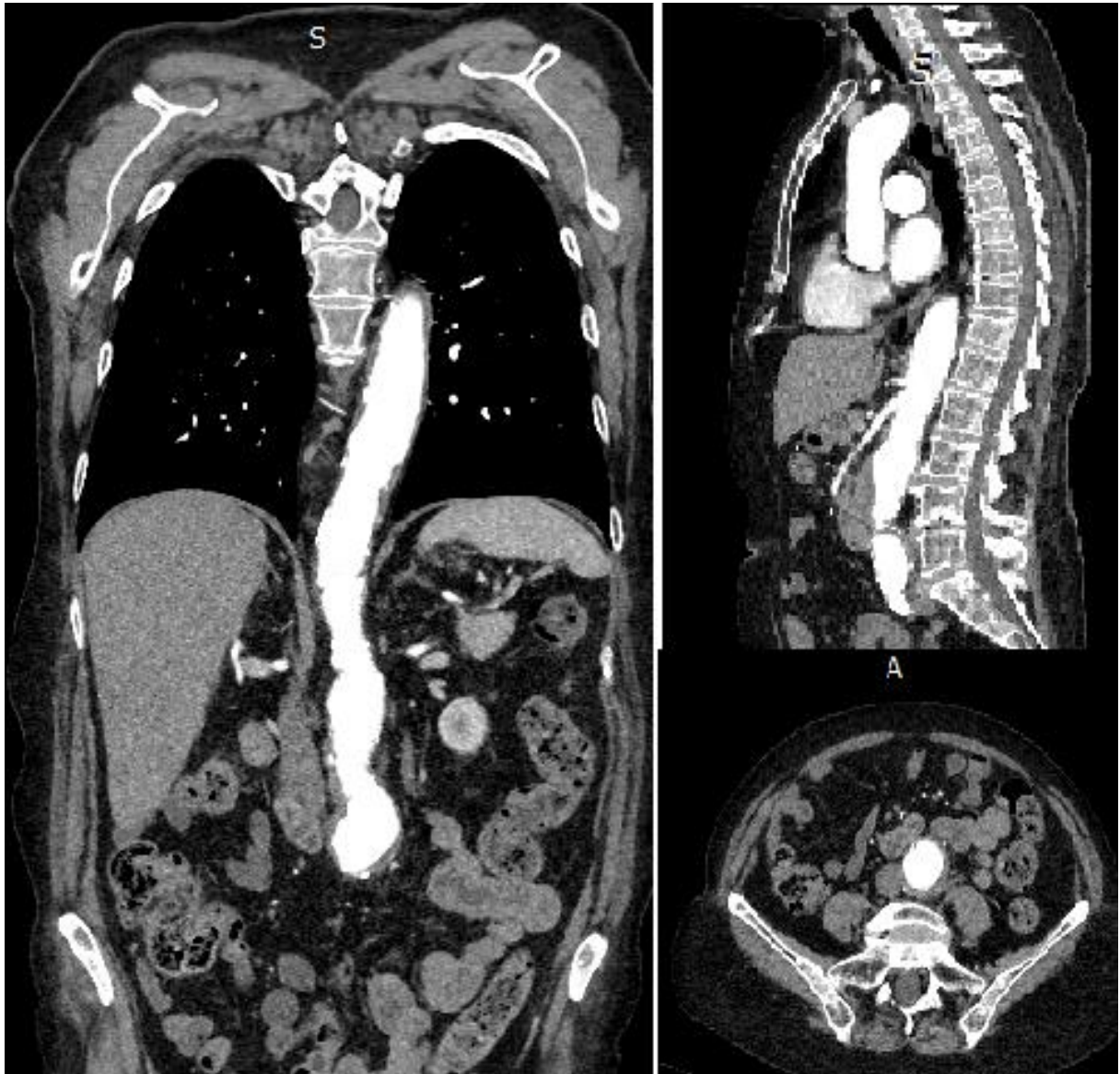


Figure 110 : Homme 82, anévrisme découvert fortuitement

Reconstructions multiplanaires (MPR) en fenêtre parenchymateuse injectée au temps artériel d'un scanner abdominale montre un anévrisme bifocal de l'aorte abdominale sous rénale ,partiellement thrombosé .

Cas N°06 :

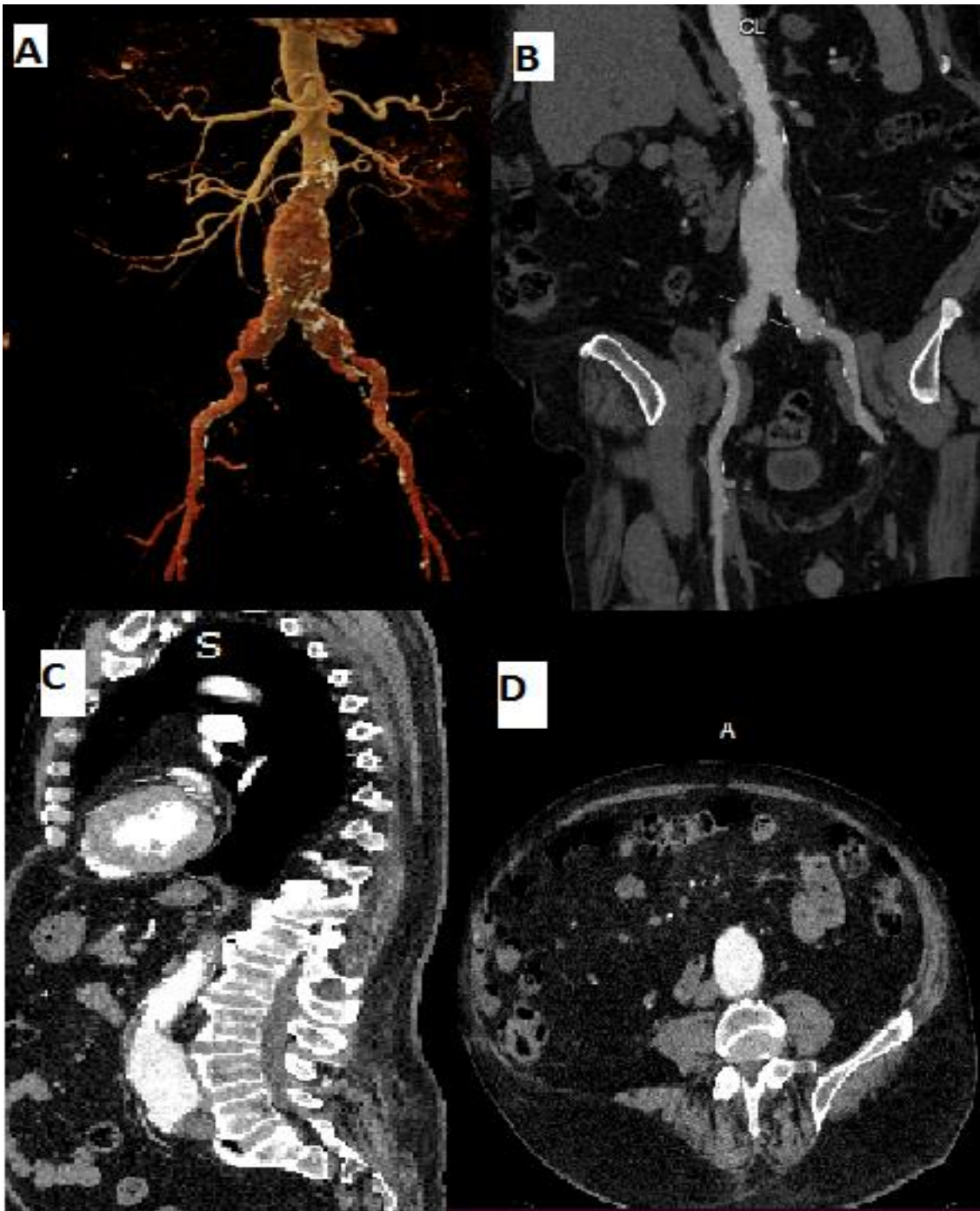


Figure 111 :Homme 82, anévrisme découvert fortuitement

(A) reconstruction 03D VR (rendu de volume);(B/C/D) Reconstructions multiplanaires (MPR) en fenêtre parenchymateuse injectée au temps artériel d'un scanner abdominale montre un anévrisme fusiforme partiellement thrombosée de l'aorte abdominale sous rénale .

Cas N°07:

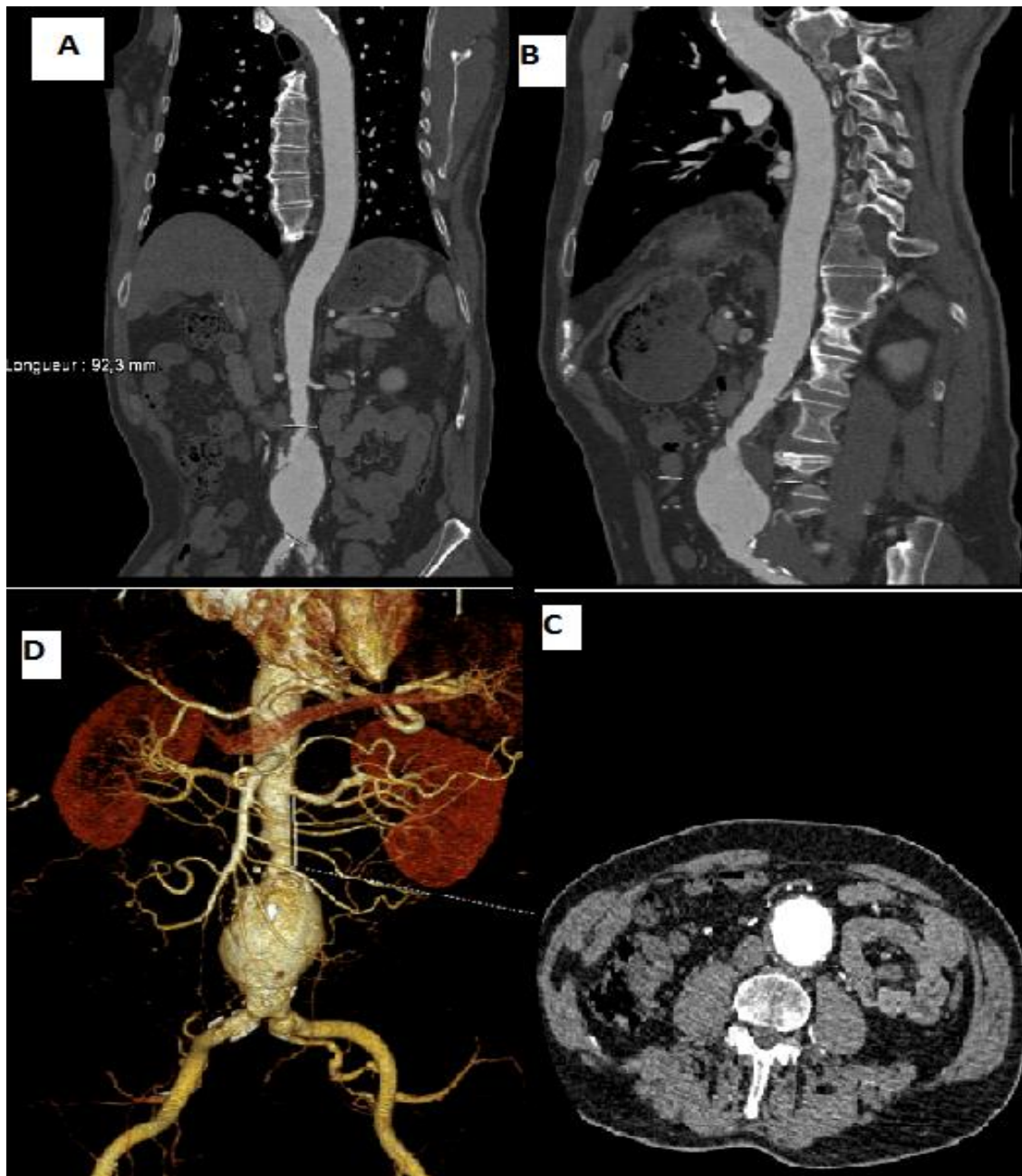


Figure 112 :Homme 85, anévrisme découvert fortuitement

(D) reconstruction 03D VR (rendu de volume);(A/B/C) Reconstructions multiplanaires (MPR) en fenêtre parenchymateuse injectée au temps artériel d'un scanner abdominale montre un anévrisme fusiforme de l'aorte abdominale sous rénale avec des plaques ulcérées d'allure emboligène .

Cas N°08 :

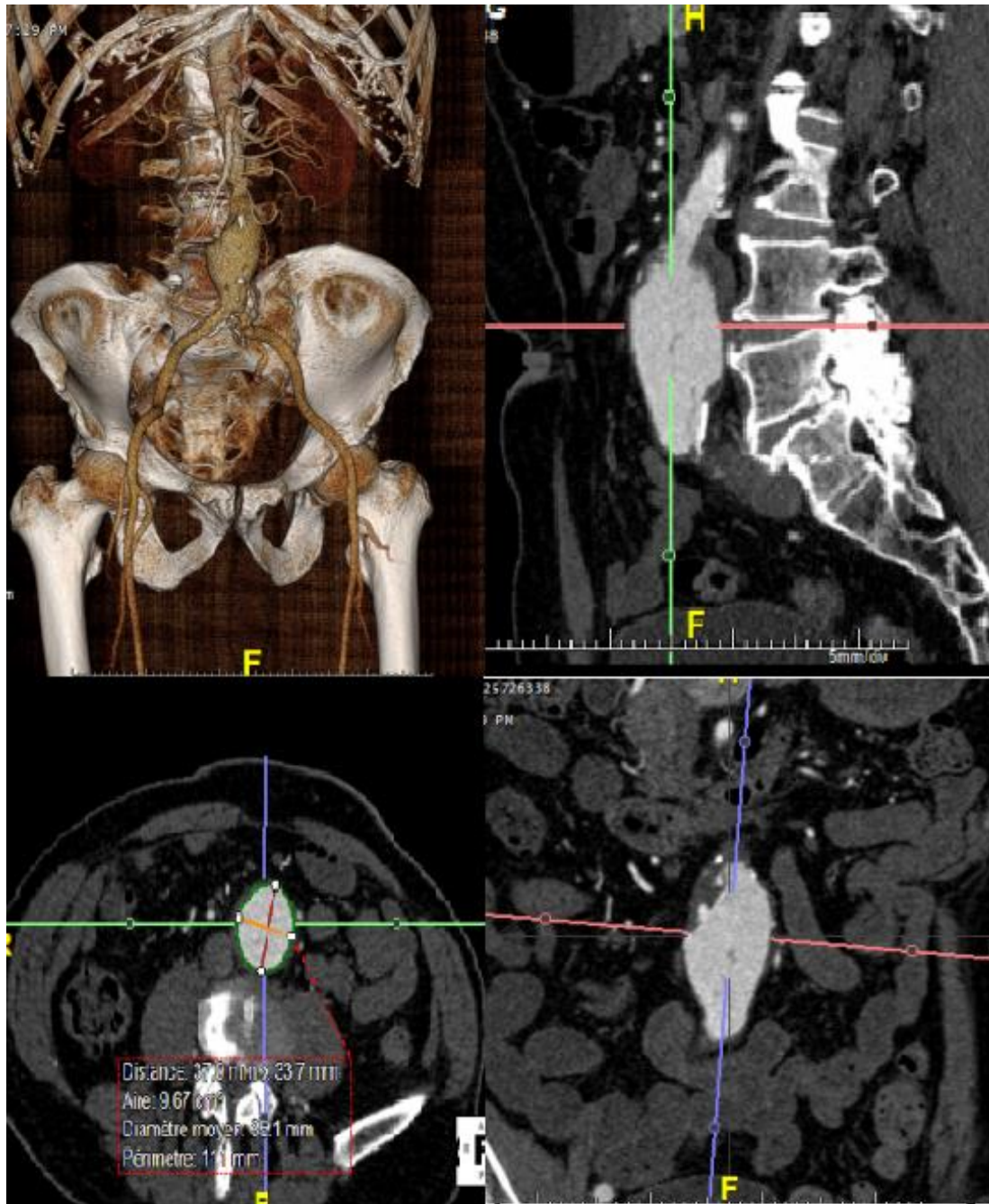


Figure 113 : Femme 84, anévrisme découvert fortuitement

Mesure automatique des diamètres d'un AAA par un logiciel avancé de post traitement de l'image, Configuration de l'axe central sur l'aorte et mesure du diamètre de l'axe majeur et le diamètre de l'axe mineur à l'aide de la section transversale perpendiculaire à l'axe central.

Discussion

5. Discussion :

Notre étude observationnelle menée au CHU de Sétif entre 2021 et 2023 avait pour objectif principal d'estimer la prévalence de l'anévrisme de l'aorte abdominale dans une cohorte de 901 patients adultes consécutifs ayant bénéficié d'un angioscanner abdominal, indépendamment de leur motif de consultation initial. L'inclusion consécutive de toute personne âgée de plus de 40 ans adressée pour un scanner abdominal nous a permis de constituer un échantillon représentatif des patients explorés en imagerie dans notre hôpital, et reflétant la population générale de la wilaya de Sétif. Bien que n'étant pas extrapolables directement à la population générale algérienne, ces données fournissent un premier aperçu de la prévalence de cette pathologie grave et sous-diagnostiquée dans notre contexte national. Au-delà de l'objectif principal, notre protocole visait également à étudier les facteurs de risque associés à l'anévrisme aortique sous rénale, évaluer la performance de l'échographie abdominale pour son dépistage, et analyser l'influence de l'ensemble de ses facteurs sur le diamètre aortique .

Dans la discussion qui suit, nous confronterons de façon détaillée chacun de ces résultats aux données de la littérature internationale afin de les replacer dans le contexte des connaissances actuelles. Nous soulignerons les particularités observées dans notre échantillon algérien, et mettrons en exergue les forces et limites de ce travail observationnel. Au final, cette étude aura permis d'apporter un premier éclairage sur l'épidémiologie de l'anévrisme aortique abdominal sous rénale en Algérie et de soulever différentes perspectives pour améliorer son dépistage et sa prise en charge adaptés au contexte national.

Contribution originale

À ce jour, la compréhension des interactions complexes entre les multiples déterminants impliqués dans l'apparition et l'évolution de l'anévrisme de l'aorte abdominale sous rénale (AAAs) demeure parcellaire. Face à l'enchevêtrement de ces facteurs de risque, nous avons émis l'hypothèse dans ce travail de thèse que les techniques d'intelligence artificielle offriraient une perspective prometteuse pour une meilleure prédiction individuelle du risque anévrisimal. L'établissement d'un score de risque personnalisé par l'IA permettrait ainsi de cibler avec plus d'acuité les populations à investiguer dans l'optique d'un dépistage de l'AAAs. De surcroît, l'enrichissement de la base de données par l'inclusion prospective de cas compliqués d'AAAs autoriserait d'affiner les algorithmes pour prédire non seulement l'apparition mais également l'évolution péjorative et les complications redoutées de cette pathologie.

Si notre étude observationnelle ne s'est pas attachée à suivre l'évolution des patients, elle a jeté les bases d'une extension prometteuse du logiciel développé. L'incorporation de données de suivi, en particulier de cas incidents d'AAAs compliqués, permettrait d'entraîner les réseaux de neurones à prédire non seulement le risque de survenue d'un AAAs, mais également son risque évolutif de complication chez les patients déjà porteurs d'un anévrisme confirmé. L'analyse par intelligence artificielle des subtiles interactions entre les différents facteurs de risque ouvre ainsi des perspectives stimulantes pour une prédiction individualisée et dynamique du risque anévrisimal dans toutes ses dimensions.

I. Caractéristiques générales de l'échantillon :

Notre étude vise à estimer la prévalence de l'AAAs sur un échantillon représentatif de 901 cas âgés de plus de 40 ans de la wilaya de Sétif, en évaluant les facteurs de risque impliqués dans la constitution des AAAs dans la littérature.

Le tableau sur l'annexe 2 résume les caractéristiques de base de tous les participants et les patients inclus dans notre série.

Notre échantillon de 901 patients explorés en imagerie abdominale présente des caractéristiques démographiques globalement comparables aux données locales algériennes. En particulier, la répartition par sexe de notre cohorte, avec 43% d'hommes et 57% de femmes, est proche de la structure démographique algérienne où les femmes représentent 50,7% de la population selon l'Office National des Statistiques, Recensement 2008 [216].

L'âge moyen de 65,1 ans est également cohérent avec l'espérance de vie moyenne autour de 75 ans chez l'homme et 78 ans chez la femme en Algérie selon la Banque Mondiale, 2016 [217].

Concernant les facteurs de risque cardiovasculaires, la prévalence du diabète dans notre échantillon était de 19,5%, légèrement supérieure aux estimations nationales de 12 % selon Larbi, L et col, 2014 [218].

Le tabagisme, retrouvé chez 13,5% de nos patients, contre 17% rapportée en population générale masculine algérienne selon WHO report on the global tobacco epidemic, 2015 [219].

En revanche, l'hypertension artérielle semble sous-estimée à 13,2%, par rapport aux 29,4% décrits entre 40 et 64 ans et 50,9% après 65 ans en Algérie selon Berrah N et col, 2009 [220]. Cette divergence importante suggère probablement une sous-estimation liée à un sous-diagnostic dans notre population explorée en imagerie.

Les caractéristiques démographiques et cliniques principales de notre échantillon apparaissent globalement représentatives de la population algérienne, renforçant la validité de notre étude pour appréhender l'épidémiologie de l'anévrisme aortique dans notre contexte national.

II. Estimation de la prévalence de l'AAAs dans la région de Sétif :

Dans notre étude, la prévalence de l'anévrisme de l'aorte abdominale sous rénale a été estimée à 2,9% (IC 95% : 1,4-4,4%) chez les 901 patients explorés en imagerie abdominale.

Ce résultat est légèrement supérieur à la prévalence de 2,2% (IC 95% : 1,3%-3,5%) rapportée en 2018 dans une étude algérienne comparable de Ourab et Rachedi menée chez 600 patients âgés de plus de 60 ans [221]. Cependant, les intervalles de confiance se chevauchent largement, suggérant une différence non significative entre ces deux études unicentriques algériennes.

Par rapport aux données internationales, notre prévalence reste inférieure aux estimations entre 4 et 8% décrites dans des méta-analyses d'études occidentales de grande envergure [222]. Cet écart pourrait s'expliquer en partie par des facteurs ethniques, les populations

caucasiennes présentant un risque environ 2 fois supérieur d'AAA versus les populations africaines ou asiatiques selon Veronika Kessler et col. 2022 [222].

Malgré des intervalles de confiance chevauchants, notre étude suggère une prévalence de l'AAA légèrement supérieure à l'unique référence algérienne disponible (2,9% versus 2,2%), mais nettement inférieure aux estimations occidentales, différence pouvant s'expliquer par des facteurs ethniques. Des études multicentriques à plus large échelle seraient nécessaires pour confirmer la prévalence en population générale algérienne.

III. Facteurs de risque de l'AAAs

1. Âge:

Dans notre étude, nous avons trouvé que l'âge était un facteur de risque important pour les anévrismes de l'aorte abdominale. Parmi nos 27 patients avec un anévrisme, 96% avaient un âge supérieur à 60 ans, avec un âge moyen de 71 ans, les âges extrêmes qu'on a retrouvés sont 55 et 88 ans.

Les âges extrêmes dans la série américaine de Cronin et col 2013 [223] sont de 38 et 88 ans.

Ces résultats sont similaires à ceux de Ouarab et col. [24] qui ont trouvé que l'âge supérieur à 60 ans était un facteur de risque pour l'anévrisme de l'aorte abdominale en Algérie.

Notre étude confirme donc les résultats de Ouarab et col et Cronin et col, montrant que l'âge avancé est un facteur de risque important pour les anévrismes de l'aorte abdominale en Algérie.

L'analyse multivariée a montré que l'âge, considéré comme une variable continue, était un prédicteur significatif du diamètre de l'aorte abdominale.

Cependant, l'âge n'expliquait qu'une petite partie de la variance du diamètre de l'aorte, seul 1% de la variance du diamètre de l'aorte sous rénale est expliqué par l'âge, suggérant que d'autres facteurs de risque comme le sexe masculin, le tabagisme et l'hypertension artérielle jouent également un rôle important, conformément aux données algériennes et internationales.

Nos résultats confirment que l'âge avancé est un facteur de risque majeur pour les anévrismes de l'aorte abdominale, en accord avec les données de la littérature algérienne et internationale

2. le sexe :

Dans notre étude, nous avons trouvé que le sexe masculin était un facteur de risque important pour les anévrismes de l'aorte abdominale. La prévalence de l'anévrisme était de 5,9% chez les hommes contre seulement 0,6% chez les femmes.

Le test du Chi² a montré une association statistiquement significative entre le sexe masculin et la présence d'anévrisme, avec une p-value <0,001.

L'étude de Ouarab et col. [24] rapportant une prévalence de 100% d'AAA chez les hommes

Plusieurs éléments peuvent expliquer cette différence marquée entre hommes et femmes :

Des facteurs biomécaniques : la paroi aortique serait moins résistante chez les hommes, avec une dégradation prématurée du collagène et de l'élastine sous l'effet des métalloprotéinases.

L'influence des hormones sexuelles : les œstrogènes auraient un rôle protecteur chez la femme, limitant l'apparition et la croissance des AAA.

Des facteurs de risque cardiovasculaires plus fréquents chez l'homme, comme le tabagisme, l'hypertension artérielle, l'hyperlipidémie.

Les études internationales montrent également un risque 3 à 6 fois plus élevé chez les hommes [224].

Le sexe masculin n'expliquait cependant qu'une petite partie de la variance du diamètre de l'aorte, suggérant que d'autres facteurs de risque comme l'âge avancé, le tabagisme et l'hypertension artérielle jouent également un rôle important, conformément aux données algériennes et internationales.

Nos résultats confirment que le sexe masculin est un facteur de risque majeur pour les anévrismes de l'aorte abdominale, en accord avec les données de la littérature algérienne et internationale.

3. Indice de masse corporelle (IMC) :

Dans notre étude, nous avons trouvé que l'IMC n'était pas un facteur de risque significatif pour les anévrismes de l'aorte abdominale. La moyenne d'IMC des patients sans anévrisme était similaire à celle des patients avec anévrisme, et la différence n'était pas statistiquement significative.

Le test du Chi² n'a pas montré d'association significative entre les catégories d'IMC et la présence d'anévrisme. Bien que la proportion de patients en surpoids ou obèses semble plus

élevée dans le groupe avec anévrisme (54% et 27%) versus sans anévrisme (32% et 34%), cette tendance devra être confirmée dans d'autres études.

La régression linéaire n'a pas montré d'association significative entre l'IMC, considéré comme une variable continue, et la présence d'anévrisme.

Selon les données de la Société française de médecine vasculaire (SFMV) en 2006 [225]

l'obésité n'est pas considérée comme un facteur de risque d'AAA ;

des études internationales suggèrent que le surpoids et l'obésité sont des facteurs de risque pour les anévrismes de l'aorte abdominale [224].

L'étude de Ouarab et col. [24] rapporte une prévalence de 22% d'AAAs chez les patients obèses ($IMC \geq 30$)

Nos résultats sont concordant avec les données de la Société française de médecine vasculaire (SFMV). D'autres études sont nécessaires pour clarifier cette association controversée, en Algérie comme à l'international. L'âge avancé, le sexe masculin, le tabagisme et l'hypertension artérielle semblent être des facteurs de risque plus robustes.

4. Diabète :

Dans notre étude, nous avons trouvé que le diabète était un facteur de risque important pour les anévrismes de l'aorte abdominale. La prévalence de l'anévrisme était environ 14 fois plus élevée chez les patients diabétiques par rapport aux patients non diabétiques.

Le test du Chi² a montré une association statistiquement significative entre le diabète et la présence d'anévrisme.

Ouarab et col. [24] n'ont pas trouvé de lien entre le diabète et le développement d'un AAA ; ils ont soulevé le rôle protecteur du diabète de type 2 rapporté depuis le premier rapport de l'ADAM study et confirmé de façon significative par plusieurs travaux [224], [225].

Nos résultats vont à l'encontre des données de la littérature indiquant plutôt un rôle protecteur du diabète. Plusieurs éléments peuvent expliquer cette divergence :

L'échantillon de taille limitée. Des études sur de plus larges cohortes sont nécessaires.

La gravité ou le contrôle du diabète peuvent jouer un rôle. Un diabète sévère et non équilibré augmente le risque cardiovasculaire global.

:5. Hypertension artérielle (HTA)

Dans notre étude, nous avons trouvé que l'hypertension artérielle était un facteur de risque important pour les anévrismes de l'aorte abdominale. La prévalence de l'anévrisme était environ 10 fois plus élevée chez les patients hypertendus (13,4%) par rapport aux patients normotendus (1,3%).

Le test du Chi² a montré une association statistiquement significative entre l'hypertension artérielle et la présence d'anévrisme, avec une p-value < 0,001.

Les études internationales montrent également un risque 2 à 4 fois plus élevé d'anévrisme chez les patients hypertendus [47], [46], [224].

L'hypertension artérielle n'expliquait cependant qu'une petite partie de la variance du diamètre de l'aorte, suggérant que d'autres facteurs de risque comme l'âge avancé, le sexe masculin, le diabète et le tabagisme jouent également un rôle important, conformément aux données algériennes et internationales.

Nos résultats confirment que l'hypertension artérielle est un facteur de risque important pour les anévrismes de l'aorte abdominale, en accord avec les données de la littérature.

6.Tabagisme :

Dans notre étude, nous avons trouvé que le tabagisme était un facteur de risque important pour les anévrismes de l'aorte abdominale. La prévalence de l'anévrisme était environ 8 fois plus élevée chez les patients fumeurs par rapport aux patients non-fumeurs.

Le test du Chi² a montré une association statistiquement significative entre le tabagisme et la présence d'anévrisme.

D'après l'étude de Ouarab et col [24] le facteur tabac est déterminant, il s'agit d'un facteur de risque modifiable majeur de l'AAA et le tabagisme actif aurait le plus grand effet. La durée et le nombre de cigarettes par jour sont aussi associés à un plus grand risque d'AAA.

Les études internationales montrent également un risque 2 à 4 fois plus élevé d'anévrisme chez les fumeurs [224].

Nos résultats confirment le rôle du tabagisme comme facteur de risque important pour les anévrismes de l'aorte abdominale, en accord avec les données de la littérature algérienne et internationale.

Cependant, d'autres facteurs de risque comme l'âge avancé, le sexe masculin, le diabète et l'hypertension artérielle jouent également un rôle majeur.

7. Athérosclérose :

Dans notre étude, nous avons trouvé que l'athérosclérose était un facteur de risque important pour les anévrismes de l'aorte abdominale. Le test du Chi2 a montré une association significative entre le degré d'athérosclérose et la présence d'anévrisme, avec une prévalence plus élevée chez les patients présentant une athérosclérose sévère.

Ces résultats sont similaires à ceux de la littérature, Les études internationales montrent également que l'athérosclérose est un facteur de risque important d'anévrisme.

Les patients atteints d'AAA ont fréquemment de l'athérosclérose. Cette observation est étayée par de nombreuses études [224] [226].

La maladie coronarienne et l'athérosclérose périphérique ont été spécifiquement liées aux AAA.

Cependant, il n'est pas clair si cette association est causale ou simplement due à des facteurs de risque communs partagés par les deux affections.

Une théorie suggère que les AAA pourraient se développer en réponse pathologique à l'athérosclérose aortique

Cependant, l'athérosclérose n'expliquait qu'une petite partie de la variance du diamètre de l'aorte, suggérant que d'autres facteurs de risque comme l'âge avancé, le sexe masculin, le diabète, l'hypertension artérielle et le tabagisme jouent également un rôle important, conformément aux données algériennes et internationales.

Nos résultats confirment le rôle de l'athérosclérose comme facteur de risque important pour les anévrismes de l'aorte abdominale, en accord avec les données de la littérature.

8. Hyperlipidémie

Dans notre étude, nous avons trouvé que l'hyperlipidémie était un facteur de risque important pour les anévrismes de l'aorte abdominale. La prévalence de l'anévrisme était environ 20 fois plus élevée chez les patients présentant une hyperlipidémie. Le test du Chi² a montré une association significative entre hyperlipidémie et anévrisme.

Ces résultats sont similaires à ceux trouvés par Ouarab et col qui ont également trouvé une association significative entre hyperlipidémie et anévrisme chez les patients algériens avec une valeur de p de 0,025.

Les études internationales montrent également que l'hyperlipidémie est un facteur de risque d'anévrisme [224].

Cependant, l'hyperlipidémie n'expliquait qu'une petite partie de la variance du diamètre de l'aorte, suggérant que d'autres facteurs de risque comme l'âge avancé, le sexe masculin, le diabète, l'hypertension artérielle et le tabagisme jouent également un rôle important.

Nos résultats confirment le rôle de l'hyperlipidémie comme facteur de risque important pour les anévrismes de l'aorte abdominale, en accord avec les données de la littérature algérienne et internationale.

IV. Impact des différents facteurs sur la variabilité du Diamètre de l'aorte sous rénale :

Dans notre étude, une régression logistique multivariée a été réalisée pour identifier les facteurs de risque indépendants d'anévrisme de l'aorte abdominale sous rénale.

Le modèle n'explique cependant que 30% de la variabilité du diamètre de l'aorte sous rénale, ce qui indique que d'autres facteurs non inclus dans l'analyse jouent un rôle important.

L'âge, considéré seul, est associé au risque d'anévrisme. Cependant, dans le modèle multivarié, il n'est plus significatif car la plupart des facteurs de risque cardiovasculaires étudiés sont liés à l'âge.

L'association entre âge et anévrisme observée en analyse univariée s'explique donc en partie par la corrélation avec ces autres facteurs.

Les 70% de variabilité restante peuvent s'expliquer par des facteurs génétiques, environnementaux et comportementaux non étudiés, ainsi que par des interactions complexes entre les facteurs de risque.

Les régressions logistiques classiques présentent des limites pour modéliser ces interactions non linéaires. Les réseaux de neurones, capables d'apprentissage automatique, pourraient être plus performants pour expliquer la variabilité du diamètre de l'aorte et identifier de nouveaux facteurs prédictifs.

Si notre étude confirme certains facteurs de risque cardiovasculaires d'anévrisme, elle souligne aussi les limites des analyses statistiques classiques.

Des approches intelligentes comme les réseaux de neurones pourraient fournir des modèles plus complets et pertinents, ouvrant de nouvelles perspectives de recherche.

V. Comparaison des mesures de l'AAAs obtenus par échographie et scanner :

Dans ce chapitre, nous avons comparé les mesures du diamètre de l'anévrisme de l'aorte abdominale obtenues par échographie et par scanner chez 26 patients présentant un anévrisme. Les mesures ont été réalisées par le même opérateur pour l'échographie et le scanner.

Les résultats montrent une excellente concordance entre les deux techniques, avec un coefficient de corrélation de 0,9991 et des moyennes concordantes à 1 mm près.

Ces résultats sont cohérents avec les études internationales :

L'échographie a tendance à sous-estimer les diamètres par rapport au scanner, qui est considéré comme la méthode de référence.

Cependant, la corrélation entre les mesures échographiques et scannographiques est bonne, avec un coefficient de corrélation de 0,73 à 0,93 selon les études [227].

Les différences moyennes entre échographie et scanner varient de -0,4 à -2,6 mm dans la littérature [227].

Si notre étude suggère une bonne concordance entre échographie et scanner pour un même opérateur, elle ne permet pas d'évaluer la variabilité inter-opérateurs et la reproductibilité des mesures échographiques, deux éléments clés pour juger de la fiabilité d'une technique de mesure. Des études complémentaires sont nécessaires pour évaluer ces aspects chez les patients algériens.

Complications des AAA :

Dans notre étude, la majorité des anévrismes détectés (24 cas sur 26, soit 92%) n'avaient pas de complications au moment du diagnostic. Cela s'explique par le fait que ces anévrismes étaient de petite taille, avec un diamètre inférieur à 50 mm dans la plupart des cas. L'analyse statistique du diamètre de l'aorte abdominale sur l'ensemble des cas enregistrés montre en effet que la grande majorité des anévrismes avaient un diamètre autour de 43 mm.

Ainsi, dans notre étude, 5 cas sur 26 (soit 19%) présentaient des anévrismes de grande taille, entre 51 et 96 mm de diamètre. taille pour laquelle le risque de rupture est particulièrement accru selon Jeanmonod D et col [228].

Parmi les 5 gros anévrismes de notre étude, 2 cas étaient déjà compliqués de rupture au moment du diagnostic, conduisant à une prise en charge en urgence.

De plus, 3 patientes (12%) présentaient un anévrisme , en dépit de sa taille le risque de complications est plus élevé chez les femmes [228].

Par ailleurs, la majorité des patients avec anévrisme de petite taille avait des facteurs de risque tels que le tabagisme, l'hypertension ou le diabète, susceptibles d'accélérer la croissance anévrismale et d'augmenter le risque de complication.

Bien que l'étude des complications des anévrismes de l'aorte abdominale soit un sujet majeur, celle-ci nécessite un suivi prospectif avec évaluation régulière de la taille de l'anévrisme et détection des signes précoces de complication.

Notre étude avait pour objectif principal d'estimer la prévalence des anévrismes dans la population étudiée et d'analyser les facteurs de risque associés. Le protocole ne comprenait pas de suivi longitudinal des patients permettant d'étudier finement l'évolution des anévrismes dans le temps et la survenue de complications.

Nous avons pu détecter certains anévrismes déjà compliqués au moment du diagnostic, nous avons aussi sensibilisé les patients à haut risque de complication à la nécessité d'une surveillance rapprochée par imagerie régulière, Cela leur a permis de comprendre l'importance du dépistage précoce et du suivi des anévrismes de l'aorte abdominale afin de prévenir les ruptures, dont le taux de mortalité reste très élevé, mais une analyse complète des complications nécessiterait un suivi prolongé avec imagerie régulière.

Cela permettrait d'établir des courbes de survie et d'étudier précisément le délai de survenue des complications en fonction de la taille initiale de l'anévrisme sous rénale et des autres facteurs de risque.

Bien que le très petit nombre de ces cas ne permette pas une analyse statistique, on souligne que dans cette étude la taille de l'anévrisme n'était pas le seul facteur prédictif de complication comme l'ont montré Jeanmonod D et col [228].

Nos cas de rupture à 42 mm et 59 mm malgré la présence d'anévrismes plus volumineux illustrent la complexité des facteurs de risque intriqués.

D'autres paramètres interviennent : croissance rapide, sexe, comorbidités comme a démontré Jeanmonod D et col [228].

Cette multiplicité des déterminants du risque de rupture plaide pour l'utilisation de méthodes d'intelligence artificielle avancées.

Les réseaux de neurones artificiels (RNA), de par leur architecture en couches et leur capacité d'apprentissage, sont particulièrement adaptés pour analyser des données complexes avec de nombreux paramètres interdépendants.

Le logiciel d'analyse développé dans cette étude pourrait être enrichi par l'intégration de données de suivi des complications, permettant d'améliorer les performances prédictives grâce aux algorithmes d'intelligence artificielle comme les RNA.

Cette extension serait pertinente pour renforcer notre capacité à stratifier précisément le risque rupture pour chaque patient.

1- Discussion des résultats de l'intelligence artificielle :

Une nouvelle approche d'analyse intelligente des facteurs de risque d'AAA a été présentée dans cette thèse. Cette technique fournit un moyen idéal pour l'aide à la prévention de l'anévrisme, tandis que les imprécisions inhérentes à l'analyse statistique classique soient contournées.

Ces connaissances fournissent des lignes directrices essentielles pour affiner les modèles informatiques utilisés pour étudier l'évolution des AAA, ainsi que ceux des plateformes et des bases de données en relation.

En outre, une nouvelle stratégie d'approche différente pour inclure ces facteurs dans la prévention dans une population donnée a été proposée.

Une telle méthodologie peut non seulement aider à développer un outil spécifique au praticien pour répondre aux questions auxquelles il est difficile de répondre à partir d'études cliniques, mais également fournir une ligne directrice précieuse pour la conception de dispositifs médicaux spécifiques au patient.

Analyse par logique floue

Une première analyse applique les principes de l'inférence floue. Le système construit comprend avec huit (8) entrées représentant les facteurs de risque et une sortie représentant le diamètre de l'aorte abdominale (Figure 80).

A la fin de l'application, il sera possible d'introduire aléatoirement des variables à l'entrée pour lire automatiquement et instantanément le résultat à la sortie qui exprime le diamètre de l'aorte abdominale. Ce résultat sera le plus précis possible. Car, il sera obtenu à partir de l'agrégation de l'ensemble des règles qui incluent l'ensemble des variables à l'entrée. D'autant que ces variables sont considérées incertaines et donc floues, en conséquence, toutes les incertitudes sont compensées. Exemple illustré sur la figure 82.

L'effet d'autres facteurs pris séparément ou la combinaison de certains facteurs sur l'anévrisme est également analysé.

Une application traite de l'effet des trois facteurs combinés (âge, sexe, hyperlipidémie) sur le diamètre de l'aorte.

En considérant ces variables comme variables floues, cette incertitude est compensée. Le résultat exprimant le diamètre de l'aorte est calculé en agrégeant toutes les règles introduites. Le système établi offre la possibilité d'introduire des variables aléatoires à l'entrée pour lire automatiquement la valeur probable du diamètre de l'aorte à la sortie (Figure 90).

Une autre application qui traite le l'effet de l'hypertension artérielle en liaison avec l'âge et le sexe sur le diamètre de l'aorte abdominale est également établie.

Aussi, les facteurs d'entrée au système (Age, Sexe, Tension artérielle) sont considérés incertains. Ces facteurs sont mis en correspondance avec la variable de sortie (Diamètre de l'aorte) qui est également considérée comme variable floue. La base de données établie à partir des cas enregistrés permet au système d'introduire aléatoirement des valeurs à l'entrée pour lire le diamètre de l'aorte prévu à la sortie .

Une autre application qui traite le l'effet de l'hypertension artérielle en liaison avec l'âge et le sexe combinée au facteur 'histoire familiale' sur le diamètre de l'aorte abdominale est également établie .

Aussi, suivant le même raisonnement précédent, les facteurs d'entrée au système (Age, Sexe, Tension artérielle, histoire familiale) sont considérés incertains. Ces facteurs sont mis en correspondance avec la variable de sortie (Diamètre de l'aorte). Une fois le système mis au point suivant les mêmes procédures, la lecture du diamètre de l'aorte est possible à partir de l'introduction des valeurs aléatoires à l'entrée. (Figure 91).

Analyse par les réseaux de neurones artificiels

Un autre mode de modélisation par les réseaux de neurones artificiels est proposé dans cette étude.

Analyse des facteurs de risque d'anévrisme dans la population de la région de Sétif en Algérie par les réseaux de neurones artificiels.

Cette application traite de l'effet de l'âge et du diabète comme variables d'entrée sur le diamètre de l'aorte abdominale comme variable de sortie. Le système construit avec ces deux variables d'entrée et la variable de sortie (Figure 93) permet de lire le diamètre de l'aorte en fonction de l'âge du patient et de son degré d'atteinte par le diabète.

Cela devient aussi précis que la base de données est riche. Ce qui réduit l'erreur de lecture durant la phase d'apprentissage du réseau .

Une autre application sur l'effet de l'hyperlipidémie sur l'anévrisme est appliquée. Sur les patients diagnostiqués dans notre service de radiologie au CHU de Sétif en Algérie au cours de la période d'étude, différents facteurs sont pris en fonction du diamètre de l'aorte abdominale.

L'analyse proposée des données par les réseaux de neurones artificiels montrent clairement que les valeurs de test se confondent parfaitement avec les valeurs d'apprentissage.

La fonction de transfert est créée et optimisée à son erreur minimale. Après apprentissage du réseau, il devient possible d'introduire aléatoirement une valeur à l'entrée pour lire la valeur à la sortie et donc prédire l'anévrisme avant un diagnostic radiologique. (Figure 104).

Un autre système d'analyse de l'effet de l'âge sur l'anévrisme par les réseaux de neurones artificiels est proposé. Cela s'est fait sous le compilateur MATLAB.

Cette analyse appliquée au même échantillon de l'étude précédente. Aussi, Avec une fonction de transfert, optimisée, le minimum d'erreur est atteint.

Le diamètre de l'aorte prévu est obtenu à partir de l'âge du patient. Le résultat obtenu est fonction de la table de donnée des patients diagnostiqués (Figure 104).

Hypothèses, limites et défis :

Les résultats issus de l'analyse des facteurs de risque et leurs impacts correspondants en termes de prévention sont énoncés dans les limites du cadre de l'étude et des hypothèses retenues.

Un échantillonnage large en termes de démographie, de facteurs de risque, de comorbidités et de complications a été réuni.

À la fin de ce processus de récolte sommaire de données de 901 cas, un grand nombre de facteurs à analyser en relation avec le diamètre de l'aorte reste très complexe à analyser par les techniques mathématiques classiques. En conséquence, la possibilité de remplacer ce processus par un modèle d'intelligence artificielle (IA) via un algorithme d'apprentissage automatique devient particulièrement avantageuse.

Cependant, compte tenu du nombre de variables tout au long de ce processus, une quantité importante de données doit être fournie pour permettre l'établissement d'une base de données suffisamment riche pour le modèle d'IA et, par conséquent, un groupe de patients important nécessaire en premier lieu a été réuni .

La collecte des données individuelles constituent le plus grand défis de cette analyse. Premièrement, les données cliniques et anamnestiques des patients ont été recueillies au niveau du service de radiologie de l'hôpital universitaire de Sétif à partir des données fournis par les patients et les données de leurs lettres d'orientation surtout en matière de poids, taille, tabagisme et antécédents familiaux dont leur précision reste difficile à apprécier .

Sur les 901 patients répertoriés aucune femme n'a déclarée être tabagique y compris celles porteuses d'AAA confirmé, ceci s'explique par le fait que le tabagisme féminin constitue toujours un tabou dans notre société ou seraient elles exposées au tabagisme passif ?

Pour une analyse performante et précise, il faut :

- ✓ Disposer d'une base de données très large
- ✓ Incorporer d'autres facteurs qui ne sont pas pris en charge dans cette étude

Bien que notre étude apporte des données importantes sur la prévalence et les facteurs de risque, ses limites pour l'analyse fine des complications doivent être soulignées. Des études de cohorte avec suivi prolongé sont nécessaires pour mieux caractériser l'histoire naturelle des anévrismes de l'aorte abdominale et le risque de complications en fonction du diamètre initial et de sa progression. Notre étude souligne l'intérêt de mettre en place un tel suivi chez les patients à risque.

nos résultats suggérant une excellente concordance entre échographie et scanner pour la mesure de l'anévrisme de l'aorte abdominale sont cohérents avec les données internationales. L'échographie apparaît comme une technique fiable et reproductible, alternative intéressante au scanner.

Cependant, cette étude présente plusieurs limites :

- ✓ Le faible effectif de 26 patients ne permet pas de généraliser les résultats.
- ✓ Les mesures ont été réalisées par un seul opérateur, alors que la variabilité inter-opérateurs est un élément important à prendre en compte.
- ✓ L'étude ne permet pas d'évaluer la reproductibilité des mesures échographiques, ni leur variabilité dans le temps.

6. Conclusion et perspectives pour les travaux futurs :

Malgré que la prévalence retrouvée en population générale dans notre étude soit inférieur à la prévalence européenne, le véritable défi pour nous en Algérie est celui de la prise en charge de nos patients qui se font diagnostiquer au stade de pré rupture et qui constituent un lourd fardeau sur la santé publique avec un taux de mortalité très élevé.

Ce constat exige que l'accent soit mis sur la prévention et la prise en charge précoce de l'ensemble des facteurs de risque incriminés dans la pathogénèse de la maladie anévrismale.

Il reste un besoin non comblé de stratégies et nous proposons d'élaborer un plan Stratégique national multisectoriel de lutte intégrée contre les facteurs de risque de la maladie anévrismale dans notre pays avec un dépistage précoce des patients atteint d'AAA afin de ralentir sa progression et de programmer une prise en charge chirurgicale en dehors du cadre de l'urgence si celle-ci s'impose.

Nous proposons aussi, de sensibiliser d'avantage les médecins généralistes partout en Algérie, en ce qui concerne la lutte contre les facteurs de risque et le dépistage précoce et Cela dans le cadre de la formation médicale continue.

Parallèlement à la nouvelle approche d'analyse des facteurs de risque et à la création originale de modèle intelligent présenté dans cette thèse, un raffinement reste à améliorer, ainsi que de nouvelles découvertes dans des domaines pertinents restent ouvertes.

Sur la base des limites et des défis discutés dans la section précédente, les travaux futurs sont recommandés mais ne se limitent pas à ce qui suit.

Premièrement, une étude plus approfondie prenant en charge les dimensions géométriques et morphologiques de l'aorte dans différents contextes cliniques.

L'échographie abdominale et le scanner multi coupes sont des examens clés dans le diagnostic morphologique des anévrismes (mesure de la taille).

Cependant les complications des anévrismes sont l'apanage du scanner multi coupes (ou l'IRM) qui permet de détecter comme fut le cas les lésions vertébrales rapportées dans notre cas (scaloping).

L'analyse quantitative et qualitative intelligente présentée dans cette étude fournit une ligne directrice utile pour les futures études cliniques dans ce domaine. En particulier, un protocole définissant le groupe de patients susceptible d'avoir un anévrisme à partir des données relatives aux facteurs de risque enregistrés est préféré, pour minimiser le temps inutile passé à traiter des données qui s'avèrent non qualifiées et incertaines.

Il est fortement recommandé de disposer d'une base de données plus large avec une taille d'échantillon beaucoup plus grande, principalement pour former un modèle d'IA plus précis. Premièrement, pour cibler la population concernée par un éventuel dépistage radiologique.

Deuxièmement, fournir des prédictions fiables sur les complications et l'évolution de l'anévrisme déjà connu. Ce dernier nécessitera une taille d'échantillon encore plus grande, ou un groupe de patients très spécifique de patients ayant des anévrismes compliqués.

Néanmoins, le modèle d'IA présenté sera particulièrement bénéfique pour l'évaluation clinique directe à l'avenir, fournissant des indications utiles et relativement simple avec des données spécifiques au patient. Une éventuelle intégration des images d'anévrismes est aussi possible de sorte que le logiciel de poste traitement scanographique sera en mesure de détecter automatiquement les anévrismes tandis que le radiologue est occupé à analyser des lésions plus complexes.

Perspectives :

A l'issue de cette recherche, diverses perspectives se dessinent à différents échelons :

- Tout d'abord, il convient d'envisager l'intégration de l'application élaborée au cours de cette étude au sein d'une application favorisant sa manipulation depuis un smartphone ou une console de traitement d'images, en étroite collaboration avec les fabricants d'équipements d'imagerie médicale. Cette intégration ne saurait être envisagée sans une validation préalable de nos résultats par un centre de référence.
- L'essor fulgurant de l'intelligence artificielle s'accompagne d'avancées technologiques et informatiques considérables qui en font désormais un outil incontournable en radiologie. Dans ce contexte, il devient plus que jamais impérieux de valoriser son enseignement au sein des programmes théoriques destinés à nos jeunes radiologues. Ainsi, l'intégration de thématiques relatives à l'intelligence artificielle lors de divers congrès et journées scientifiques, comme cela se pratique déjà à l'échelle mondiale, s'avère tout à fait judicieuse.

7-Bibliographie :

- [1] Fleming C, Whitlock EP, Beil T, et al. Screening for abdominal aortic aneurysm : a best-evidence systematic review for the US preventive services task force. *Ann Intern Med* 2005; 142 : 203–11.
- [2] Ashton HA, Buxton MJ, Day ME, et al. The Multicentre Aneurysm Screening Study Group. The Multicentre Aneurysm Screening Study (MASS) into the effect of abdominal aortic aneurysm screening on mortality in men : a randomised controlled trial. *Lancet* 2002; 360 : 1531–9
- [3] Brewster, D.C., et al., Long-term outcomes of immediate repair compared with surveillance of small abdominal aortic aneurysms. *N Engl J Med*, 2002. 346(19): p. 1445-52].
- [4] Kent KC, Zwolak RM, Jaff MR, et al. Screening for abdominal aortic aneurysm : a consensus statement. *J VascSurg* 2004; 39(1) : 267–9.
- [5]. Scott, R. A. P., Wilson, N. M., Ashton, H. A. & Kay, D. N. Influence of screening on the incidence of ruptured abdominal aortic aneurysm: 5-year results of a randomized controlled study. *British Journal of Surgery* 82, 1066–1070 (1995).
- [6]. McCaul, K. A., Lawrence-Brown, M., Dickinson, J. A. & Norman, P. E. Longterm Outcomes of the Western Australian Trial of Screening for Abdominal Aortic Aneurysms: Secondary Analysis of a Randomized Clinical Trial. *JAMA Internal Medicine* 176, 1761 (2016).
- [7]. Collège des enseignants de médecine vasculaire et Angioweb. Anévrisme de l'aorte abdominale. In: *Traité de médecine vasculaire, Principes de base, maladies artérielles*, Tome 1. Elsevier Masson. 2010. p. 729.

- [8]. Cornuz J, Sidoti Pinto C, Tevaearai H, Egger M. Risk Factors for Asymptomatic Abdominal Aortic Aneurysm: Systematic Review and Meta-Analysis of Population-Based Screening Studies. *Eur J Public Health*. 2004; 14:343-9.
- [9]. Ulug P, Powell JT, Sweeting MJ, Bown MJ, Thompson SG, SWAN Collaborative Group. Metaanalysis of the current prevalence of screen-detected abdominal aortic aneurysm in women. *Br J Surg*. 2016; 103(9):1097-104.
- [10]. Li X, Zhao G, Zhang J, Duan Z, Xin S. Prevalence and Trends of the Abdominal Aortic Aneurysms Epidemic in General Population - A Meta-Analysis. *PLoS One*. 2013; 8:e81260.
- [11]. Brant W. Ullery, Richard L. Hallett, Dominik Fleischmann. Epidemiology and contemporary management of abdominal aortic aneurysms. *Abdom Radiol* (2018). <https://doi.org/10.1007/s00261-017-1450-7>
- [12]. Van Laarhoven CJHCM et al., Systematic Review of the Co-Prevalence of Arterial Aneurysms Within the Vasculature, *European Journal of Vascular and Endovascular Surgery*, <https://doi.org/10.1016/j.ejvs.2020.10.002>.
- [13]. Valenti D, Mistry H, Stephenson M. A novel classification system for autogenous arteriovenous fistula aneurysms in renal access patients. *Vasc Endovascular Surg*. 2014; 48(7-8):491-496.)
- [14]. Balaz P, Björck M. True aneurysm in autologous hemodialysis fistulae: definitions, classification and indications for treatment. *J Vasc Access*. 2015; 16(6):446-453).
- [15]. Karatepe C, Yetim TD. Treatment of aneurysm of hemodialysis access arteriovenous fistula. *Turkish J Thorac Cardiovasc Surg*. 2011; 19(4):566-569.
- [16]. Zink JN, Netzley R, Erzurum V, Wright D. Complications of endovascular grafts in the treatment of pseudoaneurysms and stenoses in arteriovenous access. *J Vasc Surg*. 2013; 57(1): 144-148.)

- [17]. Gasser TC, Ogden RW, Holzapfel GA. Hyperelastic modelling of arterial layers with distributed collagen fibre orientations. *J R Soc Interface*. 2006 Feb 22;3(6):15–35.
- [18]. Société française d'athérosclérose., Toussaint J-F. *L'athérosclérose : physiopathologie, diagnostics, thérapeutiques*. Paris: Masson; 2003.
- [19]. Wolinsky H, Glagov S. A lamellar unit of aortic medial structure and function in mammals. *Circ Res*. 1967 Jan;20(1):99–111.
- [20]. Wolinsky H. Comparison of Medial Growth of Human Thoracic and Abdominal Aortas. *Circ Res*. 1970 Jan 10;27(4):531–8.
- [21]. Milewicz DM, Urbán Z, Boyd C. Genetic disorders of the elastic fiber system. *Matrix Biol*. 2000 Nov;19(6):471–80.
- [22]. Culav EM, Clark CH, Merrilees MJ. Connective Tissues: Matrix Composition and Its Relevance to Physical Therapy. *Phys Ther*. 1999 Mar 1;79(3):308–19.
- [23]. Schrauwen JTC, Vilanova A, Rezakhanliha R, Stergiopoulos N, van de Vosse FN, Bovendeerd PHM. A method for the quantification of the pressure dependent 3D collagen configuration in the arterial adventitia. *J Struct Biol*. 2012 Nov;180(2):335–42.
- [24]. Ouarab c, Brouri M, Laroche JP, Ayoub S. Prévalence et facteurs de risque de l'anévrisme de l'aorte abdominale sous-rénale dans une population algérienne âgée de plus de 60 ans. *JMV-J Médecine Vasc*. déc 2018;43(6):361-8.
- [25]. Suy R. The varying morphology and aetiology of the arterial aneurysm. A Historical Review. *Acta hir Belg*. janv 2006;106(3):354-60.
- [26]. Clément D, Malenfant M, Aubin D. *Qq bibliothèque du Eéminaire de fuéébe* :418.
- [27]. Allaire E. Traitement médical des anévrismes de l'aorte abdominale sous rénale. *J Mal Vasc*. mars 2015; 40(2): 110-1.

- [28]. Desgranges P, Kobeiter H, Cochenec F, Tacher V, Touma J, Majewski M, et al. Endoprothèses aortique pour anévrisme : 20 ans après, l'expérience des 1900 patients. *Presse Médicale*. févr 2018; 47(2):128-34.
- [29]. Izzillo R, Cassagnes L, Boutekadjirt R, Garcier J, Cluzel P. Quand comment et pourquoi réaliser une imagerie d'un anévrisme de l'aorte abdominale ? *J R adiol*. 2018, 13.
- [30]. Lederle FA. Prevalence and Associations of abdominal Aortic Aneurysm Detected through Screening. *Ann Intern Med*. 15 mars 1997; 126(6):441.
- [31]. Oualim S, Chehbouni C, Bendriss L, Khatouri A. Dépistage de l'anévrisme de l'aorte abdominale échodoppler : étude prospective à propos de 300 cas.
- [32]. Merghit R, Ait Athmane M, Lakehal A. Atteinte athéromateuse extracoronaire chez le coronarien: résultats d'une étude transversale monocentrique à l'est d'Algérie. *Ann Cardiol Angéiologie*. oct 2019; 68(4):201-6.
- [33]. Erbel R, Aboyans V, Boileau C, Bossone E, Bartolomeo R, Eggebrecht H, Evangelista A, Falk V, Frank H, Gaemperli O, Grabenwöger M, Haverich A, Iung B, Manolis AJ, Meijboom F, Nienaber CA, Roffi M, Rousseau H, Sechtem U, Sirnes PA, von Allmen RS, Vrints CJM; ESC Committee for Practice Guidelines. 2014 ESC Guidelines on the diagnosis and treatment of aortic diseases: Document covering acute and chronic aortic diseases of the thoracic and abdominal aorta of the adult. The Task Force for the Diagnosis and Treatment of Aortic Diseases of the European Society of Cardiology (ESC). *Eur Heart J*. 2014; 35:2873-926.
- [34]. Pinard A, Jones GT, Milewicz DM. Genetics of Thoracic and Abdominal Aortic Diseases Aneurysms, Dissections, and Ruptures. *Circ Res*. 2019; 124:588-606.
- [35]. [Lederle FA, Nelson DB, Joseph AM. Smokers' Relative Risk for Aortic Aneurysm Compared With Other Smoking-Related Diseases: A Systematic Review. *J Vasc Surg*. 2003; 38:329.

- [36]. Aggarwal S, Qamar A, Sharma V, Sharma A. Abdominal aortic aneurysm: A comprehensive review. *Exp Clin Cardiol.* 2011; 16:11-15].
- [37]. Tao Shuai, Yuanqing Kan, Yi Si, Weiguo Fu. High-risk factors related to the occurrence and development of abdominal aortic aneurysm. *Journal of Interventional Medicine.* 3 (2020) 80–82
- [38]. Marcelo Cury, Fernanda Zeidan, and Armando C. Lobato genetic aneurysm syndromes, connective tissue disorders, and familial aortic aneurysms and dissections. *Int J Vasc Med.* 2013; 2013: Article ID 267215, doi: 10.1155/2013/267215
- [39]. Field MA, McGrogan DG, Tullet K, et al. Arteriovenous fistula aneurysms in patients with Alport's. *J Vasc Access.* 2013; 14(4): 397-399.),
- [40]. Hadimeri H, Hadimeri U, Attman PO, Nyberg G. Dimensions of arteriovenous fistulas in patients with autosomal dominant polycystic kidney disease. *Nephron.* 2000; 85(1):50-53.
- [41]. Pasklinsky G, Meisner RJ, Labropoulos N, et al. Management of true aneurysms of hemodialysis access fistulas. *J Vasc Surg.* 2011; 53(5):1291-1297.
- [42]. Tao Shuai, Yuanqing Kan, Yi Si, Weiguo Fu. High-risk factors related to the occurrence and development of abdominal aortic aneurysm. *Journal of Interventional Medicine* 3 (2020) 80–82.
- [43]. Carter JL, Morris DR, Sherliker P, Clack R, Lam KBH, Halliday A, Clarke R, Lewington S, Bulbulia R. Sex-Specific Associations of Vascular Risk Factors With Abdominal Aortic Aneurysm: Findings From 1.5 Million Women and 0.8 Million Men in the United States and United Kingdom. *J Am Heart Assoc.* 2020; 9:e014748.
- [44]. Brian G. De Rubertis, Susan M. Trocciola, Evan J. Ryer, Fred M. Pieracci, James F. McKinsey, Peter L. Faries, and K. Craig Kent. Abdominal aortic aneurysm in women: Prevalence, risk factors, and implications for screening. *Journal Of Vascular Surgery.* Volume 46, Number 4. 2007, 630-635. doi:10.1016/j.jvs.2007.06.024

- [45]. Scott RA, Ashton HA, Kay DN (1991) Abdominal aortic aneurysm in 4237 screened patients: prevalence, development and management over 6 years. *Br J Surg* 78:1122–1125.
- [46]. Li X, Zhao G, Zhang J, et al. Prevalence and trends of the abdominal aortic aneurysms epidemic in general population—a meta-analysis. *PloS One*. 2013;8, e81260.
- [47]. Cornuz J, Sidoti Pinto C, Tevaearai H, et al. Risk factors for asymptomatic abdominal aortic aneurysm: systematic review and meta-analysis of population-based screening studies. *Eur J Publ Health*. 2004;14:343–349.
- [48]. Schleosser FJ, Tangelder MJ, Verhagen HJ, et al. Growth predictors and prognosis of small abdominal aortic aneurysms. *J Vasc Surg*. 2008;47:1127–1133.
- [49]. Shiraya S, Miwa K, Aoki M, et al. Hypertension accelerated experimental abdominal aortic aneurysm through upregulation of nuclear factor kappa B and Ets. *Hypertension*. 2006;48:628–636. [34]. Hisato Takagi, Tomo Ando, Takuya Umemoto. Abdominal Aortic Aneurysm Screening Reduces All-Cause Mortality: Make Screening Great Again. *Angiology*. 2018 Mar; 69(3): 205-211. doi: 10.1177/0003319717693107.
- [50]. Bhak RH, Wininger M, Johnson GR, et al. Aneurysm Detection and Management (ADAM) Study Group. Factors associated with small abdominal aortic aneurysm expansion rate. *JAMA Surg*. 2015; 150:44–50.
- [51]. Ferguson CD, Clancy P, Bourke B, et al. Association of statin prescription with small abdominal aortic aneurysm progression. *Am Heart J*. 2010; 159:307–313.
- [52]. Li ZY, Sadat U, U-King-Im J, et al. Association between aneurysm shoulder stress and abdominal aortic aneurysm expansion: a longitudinal follow-up study. *Circulation*. 2010; 122:1815–1822.
- [53]. Vega de Ceniga M, Gomez R, Estallo L, et al. Growth rate and associated factors in small abdominal aortic aneurysms. *Eur J Vasc Endovasc Surg*. 2006; 31:231–236.

- [54]. Tao Shuai, Yuanqing Kan, Yi Si, Weiguo Fu. High-risk factors related to the occurrence and development of abdominal aortic aneurysm. *Journal of Interventional Medicine* 3 (2020) 80–82.
- [55]. Lederle FA, Johnson GR, Wilson SE, et al. Prevalence and associations of abdominal aortic aneurysm detected through screening. *Aneurysm detection and management (ADAM) veterans affairs cooperative study group. Ann Intern Med.* 1997; 126: 441–449.
- [56]. Dattani N, Sayers RD, Bown MJ. Diabetes mellitus and abdominal aortic aneurysms: a review of the mechanisms underlying the negative relationship. *Diabetes Vasc Dis Res.* 2018; 15:367–374.
- [57]. Sweeting MJ, Thompson SG, Brown LC, et al. Meta-analysis of individual patient data to examine factors affecting growth and rupture of small abdominal aortic aneurysms. *Br J Surg.* 2012; 99:655–665.
- [58]. Lederle FA, Johnson GR, Wilson SE, et al. Prevalence and associations of abdominal aortic aneurysm detected through screening. *Aneurysm detection and management (ADAM) veterans affairs cooperative study group. Ann Intern Med.* 1997; 126: 441–449.
- [59]. Dattani N, Sayers RD, Bown MJ. Diabetes mellitus and abdominal aortic aneurysms: a review of the mechanisms underlying the negative relationship. *Diabetes Vasc Dis. Res.* 2018; 15:367–374.
- [60]. Wanhainen A, Bergqvist D, Boman K, et al. Risk factors associated with abdominal aortic aneurysm: a population-based study with historical and current data. *J Vasc Surg.* 2005; 41:390–396.
- [61]. Forsdahl SH, Singh K, Solberg S, et al. Risk factors for abdominal aortic aneurysms a 7-year prospective study: the troms study 1994-2001. *Circulation.* 2009; 119: 2202–2208.

- [62]. Sofi F, Marcucci R, Abbate R, et al. Lipoprotein(a) and venous thromboembolism in adults: a meta-analysis. *Am J Med.* 2007; 120:728–733.
- [63]. Johnsen SH, Forsdahl SH, Singh K, et al. Atherosclerosis in abdominal aortic aneurysms: a causal event or a process running in parallel? The Troms study. *Arterioscler Thromb Vasc Biol.* 2010; 30:1263–1268.
- [64]. Hellenthal FA, Geenen IL, Teijink JA, et al. Histological features of human abdominal aortic aneurysm are not related to clinical characteristics. *Cardiovasc Pathol.* 2009; 18: 286–293.
- [65]. Mourmoura E, Vasilaki A, Giannoukas A, et al. Evidence of deregulated cholesterol efflux in abdominal aortic aneurysm. *Acta Histochem.* 2016; 118:97–108.
- [66]. Williams KJ, Tabas I. The response-to-retention hypothesis of early atherogenesis. *Arterioscler Thromb Vasc Biol.* 1995; 15:551–561.
- [67]. Kotani K, Sahebkar A, Serban MC, et al. Lipoprotein(a) levels in patients with abdominal aortic aneurysm A systematic review and meta- analysis. *Angiology.* 2017; 68:99–108.
- [68]. Takagi H, Manabe H, Kawai N, et al. Circulating lipoprotein(a) concentrations and abdominal aortic aneurysm presence. *Interact Cardiovasc Thorac Surg.* 2009; 9: 467–470.
- [69]. Kertai MD, Boersma E, Westerhout CM, et al. Association between long-term statin use and mortality after successful abdominal aortic aneurysm surgery. *Am J Med.* 2004; 116:96–103.
- [70]. Krystyna Knypl. The abdominal aortic artery aneurysm and cardiovascular risk factors. *e-Journal of Cardiology Practice.* Vol. 18, N° 28 - 22 Jul 2020.
- [71]. Folsom AR, Yao L, Alonso A, Lutsey PL, Missov E, Lederle FA, Ballantyne CM, Tang W. Circulating Biomarkers and Abdominal Aortic Aneurysm Incidence: The Atherosclerosis Risk in Communities (ARIC) Study. *Circulation.* 2015; 132:578-85.

- [72]. Johansen k, Koepsell T. Familial tendency for abdominal aortic aneurysms. JAMA 1986.256: 1934-1936.
- [73]. 2014 ESC Guidelines on the diagnosis and treatment of aortic diseases : Document covering acute and chronic aortic diseases of the thoracic and abdominal aorta of the adult. Eur Heart J. 1 nov 2014; 35(41):2873-926.
- [74]. Becker F, Baud JMM. Dépistage des anévrismes de l'aorte abdominale et surveillance des petits anévrismes de l'aorte abdominale : Argumentaire et recommandations de la Société française de médecine vasculaire. J Mal Vasc 2006 ; 31(5) : 260–76.
- [75]. Greenhalgh RM. Screening men for aortic aneurysm : a national population screening service will be cost-effective. BMJ 2002 ; 325 : 1123–4
- [76]. Coté B, Lance J-M, Lebrun M, Quebec (Province) , Agence d'évaluation des technologies et des modes d'intervention en santé. Dépistage systématique de l'anévrisme de l'aorte abdominale par échographie : Rapport Montréal; 2010.
- [77]. McCaul KA, Lawrence-Brown M, Dickinson JA, Norman PE. Long-term Outcomes of the Western Australian Trial of Screening for Abdominal Aortic Aneurysms: Secondary Analysis of a Randomized Clinical Trial. JAMA Intern Med. 2016; 176:1761-7.
- [78]. Ashton HA, Buxton MJ, Day NE, Kim LG, Marteau TM, Scott RA, Thompson SG, Walker NM; Multicentre Aneurysm Screening Study Group. The Multicentre Aneurysm Screening Study (MASS) into the effect of abdominal aortic aneurysm screening on mortality in men: a randomised controlled trial. Lancet. 2002; 360:1531-9.
- [79]. Lindholt JS, Juul S, Fasting H, Henneberg EW. Screening for abdominal aortic aneurysms: single centre randomised controlled trial. BMJ. 2005;330:750. Erratum in: BMJ. 2005 Oct 15; 331:876.
- [80]. Ashton HA, Gao L, Kim LG, Druce PS, Thompson SG, Scott RA. Fifteen-year follow-up of a randomized clinical trial of ultrasonographic screening for abdominal aortic aneurysms. Br J Surg. 2007; 94:696-701.2007.

- [81]. US Preventive Services Task Force, Owens DK, Davidson KW, Krist AH, Barry MJ, Cabana M, Caughey AB, Doubeni CA, Epling JW Jr, Kubik M, Landefeld CS, Mangione CM, Pbert L, Silverstein M, Simon MA, Tseng CW, Wong JB. Screening for Abdominal Aortic Aneurysm: US Preventive Services Task Force Recommendation Statement. *JAMA*. 2019;322:2211-8.
- [82]. Recommandation en santé publique – Fiche médecin traitant - Dépistage et prévention des anévrismes de l'aorte abdominale, Haute Autorité de Santé – Mai 2013.
- [83]. Long, A. Dépistage des AAA. Pourquoi, Comment, Qui et quand ? *Réalités Cardiológicas* 291, 1–5 2013
- [84]. Chiu, K. W. H., Ling, L., Tripathi, V., Ahmed, M. & Shrivastava, V. Ultrasound Measurement for Abdominal Aortic Aneurysm Screening: A Direct Comparison of the Three Leading Methods. *European Journal of Vascular and Endovascular Surgery* 47, 367–373. 2014.
- [85]. Gürtelschmid, M., Björck, M. & Wanhainen, A. Comparison of three ultrasound methods of measuring the diameter of the abdominal aorta. *British Journal of Surgery* 101,633–636. 2014.
- [86]. Borgbjerg, J. et al. Superior Reproducibility of the Leading to Leading Edge and Inner to Inner Edge Methods in the Ultrasound Assessment of Maximum Abdominal Aortic Diameter. *European Journal of Vascular and Endovascular Surgery* 55, 206–213. 2018.
- [87]. Brewster DC, Cronenwett JL, Hallett JW et al. Guidelines for the treatment of abdominal aortic aneurysm. Report of a subcommittee of the Joint Council of the American Association for Vascular Surgery and Society for Vascular Surgery. *J Vasc Surg*, 2003 ; 37 : 1106-17.
- [88]. ANAES. Guide méthodologique : comment évaluer a priori un programme de dépistage? Service évaluation technologique, Service évaluation économique, mai 2004.

- [89]. Lindholt JS, Vammen S, Juul S et al. Optimal interval screening and surveillance of abdominal aortic aneurysms. *Eur J Vasc Endovasc Surg*, 2000 ; 20 : 369-73
- [90]. Vega DE Céniga M, Gomez R, Estallo L et al. Growth Rate and Associated Factors in Small Abdominal Aortic Aneurysms. *Eur J Vasc Endovasc Surg*, 2006; 31: 231-6.
- [92]. Gosling RG, Newman DL, Bowden LR. The area ratio of normal aortic junctions. *Br J Radio* 1971; 44: 850-5-853.
- [91]. Toure MK, Pasquier G, Herreman f. Anévrisme au cours de la maladie de Takayasu. *Arch Mal Cœur* 1982 ;75 : 695-700 .
- [92]. Barrier JH, Liozon F. La maladie de Horton .In Kahn MF, Peltier AP, Meyer O, Piette JC eds. *Les maladies systémiques*. Paris : Flammarion ,1991.
- [93]. Lederle, F.A., et al., Immediate repair compared with surveillance of small abdominal aortic aneurysms. *N Engl J Med*, 2002. 346(19): p. 1437-44.
- [94]. Brady, A.R., et al., Abdominal aortic aneurysm expansion: risk factors and time intervals for surveillance. *Circulation*, 2004. 110(1): p. 16-21.
- [95]. Limet, R., N. Sakalihassan, and A. Albert, Determination of the expansion rate and incidence of rupture of abdominal aortic aneurysms *J Vasc Surg*, 1991. 14(4): p. 540-8.
- [96]. Limet, R., Familial risk of abdominal aortic aneurysm and its consequences for organization of selective detection. *J Mal Vasc*, 1995. 20(4): p. 285-7.
- [97]. Kent, K.C., et al., Screening for abdominal aortic aneurysm: a consensus statement. *J.Vasc Surg*, 2004. 39(1): p. 267-9.
- [98]. Brewster D.C., et al. Long-term outcomes of immediate repair compared with surveillance of small abdominal aortic aneurysms. *N Engl J Med*, 2002. 346(19): p. 1445-52.

- [99]. Janetta PJ, Roberts B. Sudden complete thrombosis of an aneurysm of the abdominal aorta. *N engl J Med* 2000 ;264 ;434-436.
- [100]. Paraskevas et al. Evaluation of Aortic Stiffness (Aortic Pulse–Wave Velocity) Before and After Elective Abdominal Aortic Aneurysm Repair Procedures: A Pilot Study. *The Open Cardiovascular Medicine Journal* 2009;3:173-5.
- [101]. Ting. Endovascular repair for abdominal aortic aneurysms: the first hundred cases. *Hong Kong Med J* 2008;14:361-6.
- [102]. Dieng PA, Diop A, Diarra O, Ciss A, Ndiaye A, Kane O. Chirurgie des anévrysmes de l'aorte abdominale sous rénale à Dakar. *Ann Afr Chir Thor Cardiovasc* 2007;2(1):53-8.
- [103]. Jean C .Lasheras the « The biomechanics of arterial aneurysms ».
- [104]. poly-anatomie -pathologie.pdf. B-08-223-4.PDF.
- [105]. Mbbs SA, et all Abdominal aortic aneurysm : A comprehensive review. 2011;16(1):5.
- [106]. sante.toutcomment.com.
- [107]. Campus d'Anatomie Pathologique - Collège Français des Pathologistes.
- [108]. [www.meddean.luc.edu /Surgery/aneurysm](http://www.meddean.luc.edu/Surgery/aneurysm).
- [109]. AAA COURS GLOBAL.pdf.
- [110]. Osinski.T Anévrisme aortique abdominal une lombalgie mortelle cliniquement décelable : étude de cas Kinésithérapie, la Revue Volume 16, Issue 169, January 2016, Pages 11-15.
- [111]. Frédéric.T, Gilbert F. Imagerie de l'aorte abdominale. *Encycl Méd Chir Radiologie et Imagerie médicale*. 2001;32-210-C-60.

- [112]. Ashton HA, Buxton MJ, Day NE, et al. The Multicentre Aneurysm Screening Study (MASS) into the effect of abdominal aortic aneurysm screening on mortality in men: a randomised controlled trial. *Lancet*. 2002;360:1531–1539.
- [113]. [www.meddean.luc.edu /Surgery/aneurysm](http://www.meddean.luc.edu/Surgery/aneurysm).
- [114]. Norman PE, Jamrozik K, Lawrence-Brown MM, et al. Population based randomised controlled trial on impact of screening on mortality from abdominal aortic aneurysm. *BMJ*. 2004; 329:1259.
- [115]. Bhatt S, Ghazale H, Dogra V. Sonographic evaluation of the abdominal aorta. *Ultrasound Clin* 2007; 2: 437–53.
- [116]. H. Hong, Yunan Yang, Bo Liu, W. Cai Imaging of Abdominal Aortic Aneurysm: the present and the future. *Biology, Medicine, Current vascular pharmacology* 2010.
- [117]. Brekken R., Dahl, T. Hernes T.. *Ultrasound in Abdominal Aortic Aneurysm Medicine, Biology* 2012.
- [118]. Izzillo R, Cassagnes L, Boutekadjirt R, et al. Imaging of abdominal aortic aneurysm: When, how et why? *J. Radiol* 2004 ; 85 : 870–82
- [119]. Flavian A. Imagerie des anévrysmes de l'aorte abdominale. (27) :5.
- [120]. lee J . Radiological imaging of Aortic Aneurysms :11.
- [121] Dugas A et al. Reproducibility of abdominal aortic aneurysm diameter measurement and growth evaluation on axial and multiplanar computed tomography reformations. *cardiovasc intervent radiol*. aout 2012;53(4):779-87.)
- [122] Ihara T, Komori K , Yamamoto K et al . Three-Dimensional workstation is useful for measuring the correct size of abdominal aortic aneurysm diameters. *Ann Vasc Surg*. Fevr 2013;27 (2):154-61.
- [123] Mora C et al . Measurement of Maximum Diameter of Native Abdominal Aortic Aneurysm by Angio-CT: reproducibility is better with the semi-automated Method. *Eur J Vasc Endovasc Surg* .fevr 2014 ;47(2);139-50.

- [124] Konotopodis N et al. Value of volume measurements in evaluating abdominal aortic aneurysms growth rate and need for surgical treatment. *Eur J Radiol.* juill 2014 ;83(7) :154-61.
- [125] Ellis JH, Cohan RH et al. Prevention of contrast-Induced nephropathy : An Overview. *Radiol Clin North Am.* sep 2009,47(5):801-11.
- [126] Krause, T. M., Ukhanova, M., Revere, F. L., & Finkel, K. W. (2018). Risk Predictors for Postcontrast Acute Kidney Injury. *Journal of the American College of Radiology*, 15(9), 1317-1325. doi: 10.1016/j.jacr.2018.04.015.
- [127] Geyer et al., State of the Art: Iterative CT Reconstruction Techniques. *Radiology.* 2015 Feb ;275(2):339-57).
- [128] Chicoskie C gadolinium enhanced MDCT Angiography of the abdomen feasibility and limitations. *Am J Roentgenol.* juin 2005;184(6):1821-8.
- [129] Thomsen, H. S., Morcos, S. K., Almén, T., Bellin, M-F., Bertolotto, M., Bongartz, G., Clement, O., Leander, P., Heinz-Peer, G., Reimer, P., Stacul, F., van der Molen, A., & Webb, J. A. W. (2012). Nephrogenic systemic fibrosis and gadolinium-based contrast media: updated ESUR Contrast Medium Safety Committee guidelines. *European Radiology*, 23(2), 307-318.
- [130] Graser A, Johnson TRC, Chandarana H, Macari M. Dual energy CT: preliminary observations and potential clinical applications in the abdomen. *Eur Radiol.* 2009;19(1):13-23
- [131] Primak AN, Fletcher JG, Vrtiska TJ, Dzyubak OP, Lieske JC, Jackson ME, et al. Noninvasive differentiation of uric acid versus non-uric acid kidney stones using dual-energy CT. *Acad Radiol.* 2007 ;14(12) :1441-7.
- [138]. Hornak JP. *The Basics of MRI.* New York : Interactive Learning Software, 1996.
- [139]. Prince, M. R., Chenevert, T. L., Foo, T. K., Londy, F. J., Ward, J. S. (1997). Contrast-enhanced abdominal MR angiography: optimization of imaging delay time by automating the detection of contrast material arrival in the aorta. *Radiology*, 203(1), 109-114.
- [140] Sardelic, F., Fletcher, J. P., Ho, D., & Simmons, K. (1995). Assessment of abdominal aortic aneurysm with magnetic resonance imaging. *Australasian Radiology*, 39(2), 107-111.

- [141]. Wicky, S., Fan, C. M., Geller, S. C., Greenfield, A., Santilli, J., & Waltman, A. C. (2003). MR angiography of endoleak with inconclusive concomitant CT angiography. *American Journal of Roentgenology*, 181(3), 736-738.
- [142] . Honda, T., Hamada, M., Matsumoto, Y., Matsuoka, H., & Hiwada, K. (1999). Diagnosis of Thrombus and Blood Flow in Aortic Aneurysm Using Tagging Cine Magnetic Resonance Imaging. *International Journal of Angiology*, 8(1), 57-61.
- [143] . van Dam, L. F., Kroft, L. J. M., Dronkers, C. E. A., van Schaik, J., van Haren, G. R., Huisman, M. V., & Klok, F. A. (2020). Magnetic Resonance Direct Thrombus Imaging (MRDTI) Can Distinguish Between Old and New Thrombosis in the Abdominal Aorta: a Case Report. *European Journal of Case Reports in Internal Medicine*, 7(1), 001351.
- [144]. Wallis, F., Roditi, G., & Smith, F. (2000). Inflammatory abdominal aortic aneurysms: diagnosis with gadolinium enhanced T1-weighted imaging. *Clinical Radiology*, 55(2).
- [145]. Boulate D., Kobeiter H., Desgranges P. Anévrismes de l'aorte abdominale sous rénale, Article EMC 2011 ; 19-1620.
- [146] Lalys, F., Barré, A., Kafi, M., Benziane, M., Saudreau, B., Dupont, C., & Kaladji, A. (2019). Identification of Parameters Influencing the Vascular Structure Displacement in Fusion Imaging during Endovascular Aneurysm Repair. *Journal of Vascular and Interventional Radiology*. doi:10.1016/j.jvir.2019.02.02
- [147].Bourlet, P., Garcier, J. M., Alfidja, A., Lipiecka, E., Chahid, T., Privat, C., ... Boyer, L. (2005). Angioscanner hélicoïdal de l'aorte abdominale. *Journal de Radiologie*, 86(1), 13–28.
- [148].Sweeting MJ, et al. Meta-analysis of individual patient data to examine factors affecting growth and rupture of small abdominal aortic aneurysms. *Br J Surg*. 2012;99(5):655-65].
- [149].European Society for Vascular Surgery. Clinical Practice Guidelines for the diagnosis and treatment of abdominal aortic aneurysms. *Eur J Vasc Endovasc Surg*. 2018;55(3):285-296].

- [159]. Astarci P, Lacroix P, Verhelst R. Les anévrysmes de l'aorte abdominale. *Louvain Médical* 2006;125:163-73.
- [150]. Timaran CH, Veith FJ, Rosero EB, Modrall JG, Arko FR, Clagett GP, Valentine RJ. Endovascular aortic aneurysm repair in patients with the highest risk and in-hospital mortality in the United State. *Arch Surg* 2007;142:520-5.
- [151]. Cueef C. Intérêt du dépistage des anévrysmes de l'aorte abdominale chez le cardiologue au cours des infarctus du myocarde. Résultats préliminaires Thèse soutenue en 2009 à la faculté de médecine de Paris Descartes.
- [152]. Schouten O, van laanene JHH, Boersma E et al. Statine are associated with a reduced infrarenal abdominal aortic aneurysm growth. *Eur J Vasc Endovasc Surg* .juill 2006;2006,32(1):21-6.
- [153]. Writing Group members, Hiratzka LF; Bakris et al. 2010 ACCF/AHA/AATS/ACR/ASA/SCA/SCAI/SIR/STS/SVM Guidelines for diagnosis and management of patients with thoracic aortic disease: A Report of the American college of cardiology foundation .*circulation*(internet à 6avr 2010 (cité 29 juill 2021);121(13). disponible sur :<https://www.ahajournals.org/doi/10.1161/CIR.0b013e3181d4739e>.
- [154]. Dai J, Louedec L; Philippe M; Michel J-B .Effect of blocking platelet activation with AZD 6140 on development of abdominal aortic aneurysm in a rat aneurysmal model. *J Vasc Surg* mars 2009;49(3):719-27.
- [155]. Eagleton MJ. Molecular Diagnoses and treatments -Past; Present, or future? *Semin Vasc Surg*.juin 2007;20(2):128-34.
- [156]. Kieffer E. Chirurgie des anévrysmes de l'aorte abdominale sous rénale : techniques chirurgicales. *EMC-chir*.aout 2005;2(4):347-87.
- [157]. Danzer D, Bequemin J-P. Abdominal Aortic Aneurysm. In : Geroulakos G, et al .*Vascular surgery: Springer international Publishing* ;2018(cité 29 juill 2021).p.19-28.

- [158]. Elkouri S, Gloviczki P, et al. Intraoperative complications and early outcome after endovascular and open surgical repair of abdominal aortic aneurysms. *J Vasc Med Biol*. 2004;39(3):497-505.
- [159]. Van Beek SC, Conijn AP et al. Endovascular aneurysm Repair versus open repair for patients with a Ruptured abdominal aortic Aneurysm : a systematic review and meta-analysis of Short -term survival . *J Vasc Surg* . juin 2014;59(6):1750.
- [160]. Wanhainen A, Verzini F, Van Herzele I, Allaire E, Bown M, Cohnert T, et al. Editor's Choice. European Society for Vascular Surgery (ESVS) 2019 Clinical Practice Guidelines on the Management of Abdominal Aorto-iliac Artery Aneurysms. *Eur J Vasc Endovasc Surg*. 2019;57(1):8–93.
- [161]. J.C. Parodi; J.C. Palmaz; H.D. Barone (1991). Transfemoral Intraluminal Graft Implantation for Abdominal Aortic Aneurysms., 5(6), 491–499. doi:10.1007/bf02015271.
- [162]. Schermerhorn, M. L., O'Malley, A. J., Jhaveri, A., Cotterill, P., Pomposelli, F., & Landon, B. E. (2008). Endovascular vs. open repair of abdominal aortic aneurysms in the Medicare population. *The New England Journal of Medicine*, 358(5), 464-474.
- [163]. Lee GK, Chandra V, Dalman RL. Comparison of fenestrated endografts and the snorkel/chimney technique. *J Vasc Surg*. 2014;60(4):849-56.
- [164]. Colvard, Benjamin; George, Yannick; Chakfe, Nabil; Swanstrom, Lee (2016). Current aortic endografts for the treatment of abdominal aortic aneurysms. *Expert Review of Medical Devices*, (), 17434440.2016.1162709.
- [165]. Jasper W. van Keulen; Frans L. Moll; Jip L. Tolenaar; Hence J.M. Verhagen; Joost A. van Herwaarden (2010). Validation of a new standardized method to measure proximal aneurysm neck angulation. , 51(4), 821–828.
- [166]. Oderich, G. S., Greenberg, R. K., Farber, M., Lyden, S., Sanchez, L., Fairman, R., ... & Clair, D. (2014). Results of the United States multicenter prospective study evaluating the Zenith fenestrated endovascular graft for treatment of juxtarenal abdominal aortic aneurysms. *Journal of Vascular Surgery*, 59(6), 1491-1501.e1-5.

- [167]. Lee, W. A., Brown, M. P., Nelson, P. R., Huber, T. S., & Seeger, J. M. (2008). Midterm outcomes of femoral arteries after percutaneous endovascular aortic repair using the Preclose technique. *Journal of Vascular Surgery*, 47(5), 919–923.
- [168].[Chaikof, Elliot L.; Fillinger, Mark F.; Matsumura, Jon S.; Rutherford, Robert B.; White, Geoffrey H.; Blankensteijn, Jan D.; Bernhard, Victor M.; Harris, Peter L.; Kent, K.Craig; May, James; Veith, Frank J.; Zarins, Christopher K. (2002). Identifying and grading factors that modify the outcome of endovascular aortic aneurysm repair. *Journal of Vascular Surgery*, 35(5), 1061–1066.
- [169]. Sandford RM, Bown MJ, Fishwick NG, Murphy F, Naylor M, Sensier Y, Walker MG, Wyatt MG. “Duplex ultrasound scan findings predict stent-graft limb occlusion following endovascular aneurysm repair.” *Journal of Vascular Surgery*, vol. 44, no. 3, 2006, pp. 488-492.
- [170]. Wanhainen A et al. European Society for Vascular Surgery (ESVS) 2019 Clinical Practice Guidelines on the Management of Abdominal Aorto-iliac Artery Aneurysms. Eur J Vasc Endovasc Surg. 2019.
- [171]._Sidloff, D. A.; Stather, P. W.; Choke, E.; Bown, M. J.; Sayers, R. D. (2013). Type II endoleak after endovascular aneurysm repair. *British Journal of Surgery*, 100(10), 1262–1270.
- [171]. Stachowiak A., Dyczkowski K., A similarity measure with uncertainty for incompletely known fuzzy sets, in: Proceedings of Joint IFSA World Congress and NAFIPS Annual Meeting (IFSA/NAFIPS), Edmonton, Canada, 2013, pp. 390–394.
- [172]. Zywica P. Modelling medical uncertainties with use of fuzzy sets and their extensions, in: J. Medina, M. Ojeda-Aciego, J.L. Verdegay, I. Perfilieva, B. Bouchon-Meunier, R.R. Yager (Eds.), *Information Processing and Management of Uncertainty in Knowledge-Based Systems. Applications. IMPU 2018*, in: *Communications in Computer and Information Science*, vol. 855, Springer, Cham, 2018, pp. 369–380.
- [173]. Couso D. Dubois, Statistical reasoning with set-valued information: ontic vs. epistemic views, *Int. J. Approx. Reason.* 55 (7) (2014) 1502–1518.
- [174]. Matlab Simulink 2010 a.

- [175]. Luo X., Zhang C., An axiom foundation for uncertain reasonings in rule-based expert systems: NT-algebra, *Knowl. Inf. Syst.* 1(4) (1999) 415–433.
- [176]. Zywica P. ; Modelling medical uncertainties with use of fuzzy sets and their extensions, in: J. Medina, M. Ojeda-Aciego, J.L. Verdegay, I. Perfilieva, B. Bouchon-Meunier, R.R. Yager (Eds.), *Information Processing and Management of Uncertainty in Knowledge-Based Systems. Applications. IMPU 2018*, in: *Communications in Computer and Information Science*, vol. 855, Springer, Cham, 2018, pp. 369–380.
- [177]. Bouharati Imene, Babouche Farid and Bouharati Saddek. Radiology and risk factors of lung cancer. *International journal of radiology & radiation therapy*. Volume 3, Issue 5. 2017.
- [178]. Zadeh L.A., The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning—I, *Inf. Sci.* 8(3) (1975) 199–249.
- [179]. Chen S.-M., Measures of similarity between vague sets, *Fuzzy Sets Syst.* 74 (2) (1995) 217–223.
- [180]. Baghli L. Contribution à la commande de la machine asynchrone, utilisation de la logique floue, des réseaux de neurones et des algorithmes génétiques. Université Henri Poincaré-Nancy 1, 1999.
- [181]. Josette Feral. Pour une théorie des ensembles flous. Théâtre RESEARCH in Canada V16. 1995.
- [182]. Borne P., Rozinoer I., Dieulot I-Y., and Dubois L. Introduction à la commande floue: Éd. Technip, 1998.
- [183]. Dualibe C., Verleysen M., and Jespers G. *Design of Analog Fuzzy Logic Controllers in CMOS Technologies*: Springer, 2003.
- [184]. Nakoula Y : ‘Apprentissage des Modèles linguistiques flous, par jeu de règles pondérées’, Thèse de Doctorat, Université de Savoie, France, juillet 1997.

- [185]. Trillas E., Valverde L. On mode and implication in approximate reasoning, in: M. Gupta, A. Kandel (Eds.), *Approximate Reasoning in Expert Systems*, North-Holland, Amsterdam, 1985, pp. 157–166.
- [186]. Laurant F, Sylvie G et Andre T. *commande floue, de la stabilisation à la supervision*, paris, Hermès Sciences publication, 2003.
- [187]. Alex G., Greg W., Malcolm R., Tim H., Ivo D., Agnieszka G.B., Sergio G., Edward G., Tiago R., John A., Adria P., Karl M., Yori Z., Georg O., Adam C., Helen K., Christopher S., Phil B., Koray K. & Demis H.. Hybrid computing using a neural network with dynamic external memory. *Nature*. 2016, Vol. 538. 471-476.
- [188]. Krizhevsky, A., Sutskever, I. & Hinton, G. E. Imagenet classification with deep convolutional neural networks. In *Advances in Neural Information Processing Systems Vol. 25* (eds Pereira, F. et al.) 1097–1105 (Curran Associates, 2012)., de l'apprentissage séquentiel
- [189]. Graves, A. Generating sequences with recurrent neural networks. Preprint at <http://arxiv.org/abs/1308.0850> (2013).
- [190]. Sutskever, I., Vinyals, O. & Le, Q. V. Sequence to sequence learning with neural networks. In *Advances in Neural Information Processing Systems Vol. 27* (eds Ghahramani, Z. et al.) 3104–3112 (Curran Associates, 2014).
- [191]. Mnih, V. et al. Human-level control through deep reinforcement learning. *Nature* 518, 529–533 (2015).
- [192]. Gallistel, C. R. & King, A. P. *Memory and the Computational Brain: Why Cognitive Science Will Transform Neuroscience* (John Wiley & Sons, 2011).
- [193]. Marcus, G. F. *The Algebraic Mind: Integrating Connectionism and Cognitive Science* (MIT Press, 2001).

- [194]. Kriete, T., Noelle, D. C., Cohen, J. D. & O'Reilly, R. C. Indirection and symbol-like processing in the prefrontal cortex and basal ganglia. *Proc. Natl Acad. Sci. USA* 110, 16390–16395 (2013).
- [195]. Hinton, G. E. Learning distributed representations of concepts. In *Proc. Eighth Annual Conference of the Cognitive Science Society Vol. 1*, 1–12 (Lawrence Erlbaum Associates, 1986).
- [196]. Bottou, L. From machine learning to machine reasoning. *Mach. Learn.* 94, 133–149 (2014).
- [197]. Simpson, P.K. (1989). *Artificial Neural Systems*. Pergmon Press Elmsford, New York
- [198]. Claud Touzet, les réseaux de neurons artificiels .Introduction au connexionisme , p. 24, juillet 1992.
- [199]. G. Dreyfus et al. *Réseaux de neurons, méthodologie et applications*. ED. Eyrolles. 2002.
- [200]. Wilifried Segretier. *Introduction aux réseaux de neurons artificiels*. Campus de Fouillot . Mai 2018. Page 6.
- [201]. Kosko, B. (1992). *Neural Networks and Fuzzy Systems: A Dynamical Systems Approach to Machine Intelligence*. Englewood Cliffs, Nj: Prentice-Hall.
- [202]. Yamada, T., and Yabuta, T. (1992). Neural Network Controller Using Autotuning Method for Nonlinear Functions. *IEEE Trans. neural net.*, vol. 3, No.4, July 1992.
- [203]_Howard DPJ, Banerjee A, Fairhead JF, Handa A, Silver LE, Rothwell PM, et al. Age-specific incidence, risk factors and outcome of acute abdominal aortic aneurysms in a defined population *Br J Surg.* 2015;102(8):907-15.
- [204] Rahul parhi, Robert Nowak. The role of neural network activation functions. V.27.2020.p. 1779-1783.

- [205] Medical Advisory Secretariat. Ultrasound screening for abdominal aortic aneurysm: an evidencebased analysis. *Ont Health Technol Assess Ser.* 2006; 6(2):1-67.
- [206] Rogers IS, Massaro JM, Truong QA, Mahabadi AA, Kriegel MF, Fox CS, et al. Distribution, determinants, and normal reference values of thoracic and abdominal aortic diameters by computed tomography (from the Framingham Heart Study). *Am J Cardiol.* 2013;111(10):1510-6
- [207] Public Health England & National Health Service. NHS Abdominal Aortic Aneurysm Screening Programme. 12 (Public Health England, 2016).
- [208] United States Government. Coverage of screening ultrasound for abdominal aortic aneurysms under part B of the Medicare Program. 7 (2004).
- [209] Socialstyrelsen. Screening för bukåortaaneurysm. 1–30 (Socialstyrelsen, 2016).
- [210] Vardulaki, K. A. et al. Late results concerning feasibility and compliance from a randomized trial of ultrasonographic screening for abdominal aortic aneurysm. *British Journal of Surgery* 89, 861–864 (2002)
- [211] Scott, R. The Multicentre Aneurysm Screening Study (MASS) into the effect of abdominal aortic aneurysm screening on mortality in men: a randomised controlled trial. *The Lancet* 360, 1531–1539 (2002).
- [212]. Jacob T et col Risk Factors for Perioperative Stroke After Thoracic Endovascular Aortic Repair .2007.04.128
- [213]. Chaikof E. et al., Reporting standards for endovascular aortic aneurysm repair. *Vasc Surg.* 2002 May;35(5):1048-60. doi: 10.1067/mva.2002.123763].
- [214]. Ian M Nordon, Robert J, Hinchliffe, Ian M Loftus, Matt M Thompson. Pathophysiology and epidemiology of abdominal aortic aneurysms . *Nat Rev Cardiol.* 2011 Feb;8(2):92-102. doi: 10.1038/nrcardio.2010.180. Epub 2010 Nov 16.]

- [215]. Matti T. Laine et al., Few internal iliac artery aneurysms rupture under 4 cm. Clinical research study abdominal aortic and iliac aneurysms. *Journal of vascular surgery*. Volume 65, issue 1, p76-81, january 01, 2017.
- [216]. Office National des Statistiques, Recensement 2008.
- [217]. <https://data.worldbank.org/indicator/SP.DYN.LE00.IN?locations=DZ>.
- [218]. Larbi, L., Erofile, G., & Alessandra, F. (2014). Diabetes in Algeria and Challenges for Health Policy: A Literature Review of Prevalence, Cost, Management, and Outcomes of Diabetes and Its Complications *Globalization and Health*, 10, 11 .
- [219]. WHO Report on the Global Tobacco Epidemic, 2015.
- [220]. Berrah N. Ouadahi, M. Kouar. Prevalence of Hypertension in Algeria. *International Journal of Cardiology*, Volume 137, Supplement 1, Page S125, October 2009. DOI: 10.1016/j.ijcard.2009.09.427 Banque Mondiale. 2016.
- [221]. Ourab Rachedi A, Aorto-iliac Artery Aneurysm, about 122 cases. *The Pan African Medical Journal*. 2018;29:52
- [222]. Veronika Kessler, Johannes Klopff, Wolf Eilenberg, Christoph Neumayer, and Christine Brostjan. “AAA Revisited: A Comprehensive Review of Risk Factors, Management, and Hallmarks of Pathogenesis.” *Biomedicines* 2022, 10(1), 94. DOI: 10.3390/biomedicines10010094 .
- [223]. Cronin, P., Upchurch Jr, G. R., Patel, H. J., Deeb, G. M., Kelly, A. M., & Williams, D. M. (2013). Asymmetric expansion of aortic aneurysms on computed tomography imaging. *Journal of Vascular Surgery*, 57(2), 390-398.e3.
- [224]. Fleming, C., Whitlock, E. P., Beil, T. L., & Lederle, F. A. (2005). Screening for abdominal aortic aneurysm: A best-evidence systematic review. *Medicine - Veteran's Administration Medical Center*, Research output: Contribution to journal, Review article, Peer-review
- [225] Becker F, Baud JM. Dépistage des anévrismes de l'aorte abdominale et surveillance des petits anévrismes de l'aorte abdominale : argumentaire et recommandations de la Société française de médecine vasculaire. *J Mal Vasc* 2006;31:260—76 [Pour le groupe de travail Ad Hoc].
- [225] Tsai CL, Lin CL, Wu YY, Shieh DC, Sung FC, Kao CH. Advanced complicated diabetes mellitus is associated with a reduced risk of thoracic and abdominal aortic aneurysm rupture.

[226] Jonathan Golledge, MChir, FRACS, FRCS et Paul Norman, DS, FRACS, FRCS. "Atherosclerosis and Abdominal Aortic Aneurysm: Cause, Response, or Common Risk Factors?" *Arteriosclerosis, Thrombosis, and Vascular Biology*, juin 2010.

[227] Long A. Quand et comment évaluer la taille d'un anévrisme de l'aorte abdominale ? Médecine Vasculaire. Hospices Civils de Lyon, Hôpital Édouard Herriot, Lyon; Université Claude Bernard Lyon 1.

[228] Jeanmonod D, Yelamanchili VS, Jeanmonod R. Abdominal Aortic Aneurysm Rupture. [Updated 2023 Aug 8]. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2023 Jan.

Liste des figures :

Figure 01 : Les segments aortiques et leurs collatérales.

Figure 02 : Anatomie de l'aorte abdominale (Atlas d'anatomie humaine F.Netter).

Figure 03 : Structure de la paroi d'une artère.

Figure 04 : Schéma idéalisé de l'histologie d'une artère élastique saine [18].

Figure 05. Représentation schématique d'une fibre d'élastine avec des microfibrilles à l'intérieur et autour d'un centre composé d'élastine. [23].

Figure 06. Vue d'une fibre de collagène montrant les chaînes alpha enroulées en triple hélice.

Figure 07 : Portrait d'Andrés Vésale qui fut le premier médecin à décrire un anévrisme artériel **Figure**

08 : Schéma anatomique de l'aorte descendante et ses branches (aorta magna selon les plaques de l'épitomé de de humani corporis fabricia de vesale).

Figure 09: Représentation d'un anévrisme de l'aorte abdominale. Adapté de www.crlsurgical.com.

Figure 10 : Différentes méthodes de mesure d'un AAA

Figure 11: Risque de rupture des AAAr en fonction de la taille du diamètre antéro-postérieur Powell JT 2003

Figure 12 : Les différents facteurs pouvant contribuer à la formation d'AAA.

Figure 13 : Les types d'anévrismes.

Figure 14 : A. Vue externe d'un volumineux anévrisme aortique rompu

Figure 15: L'aorte abdominale a été ouverte le long de la paroi postérieure révélant une athérosclérose sévère.

Figure 16: Examen clinique de l'aorte abdominale

Figure 17 : ASP face/profil calcifications pariétales d'un AAA.

Figure 18 : représentation schématique de la mesure d'un AAA. La méthode correcte pour mesurer un AAA est perpendiculaire à l'axe longitudinal de l'aorte, comme indiqué par la ligne continue. La ligne en pointillés montre qu'une image transversale par rapport au patient donne une mesure incorrecte oblique qui exagère le diamètre de l'AAA. .

Figure 19 : Signe du pseudo yin-yang. (A) coupe longitudinale en Mode B d'un AAA fusiforme. (B) Doppler couleur révèle un pseudo yin-yang (bleu et rouge) du flux sanguin à l'intérieur de l'anévrisme.

Figure 20 : Images échographiques d'un AAA.

Figure 21 : Aspect échographique de la rupture d'un AAA .

Figure 22 : TDM d'un anévrisme de l'aorte abdominale sous rénale CHU Sétif.

Figure 23. Imagerie d'un anévrisme de l'aorte abdominale utilisant un scanner multi détecteurs (16 barrettes) avec les différentes techniques de post traitement de l'image

Figure24: méthode de mesure manuelle du diamètre maximal d'un AAA en MPR avec double obliquité.

Figure25: mesure automatique des diamètres d'un AAA par un logiciel avancé de post traitement de l'image.

Figure 26 : différentes méthodes de mesure des diamètres d'un AAA.

Figure 27 : cas représentatif d'un AAA ayant subi une réparation chirurgicale après le suivi, qui présentait un faible taux de croissance (< moyenne) selon le diamètre maximal, mais un taux de croissance élevé (> moyenne) selon le volume AAA.

Figure 28 : anévrisme aortique d'origine infectieuse compliquant une fistule aorte-duodénale.

Figure 29 : anévrisme aortique sous-rénal d'étiologie inflammatoire.

Figure 30 : exemple d'AAA en cingioscanner en coupes axiales (A) avant et (B) après rupture dans le rétro péritoine. Remarquer l'aspect hyperdense du thrombus enda-anévrisimal et la rupture de la coque calcique.

Figur.31 - Homme de 48 ans adressé pour exploration d'une possible masse rénale. , images scanners axiales sans injection (A), avec injection d'iode (B), et d'une angioscanner avec injection de gadolinium (C) .

Figur. 32 Angioscanner spectral chez un patient après réparation endovasculaire d'un AAA.

Figure 33 : Un homme de 77 ans porteur d'endoprothèse aortique. C : coupe axiale d'angio IRM pondérée en T1 montre une extravasation du gadolinium en phase artérielle dans la partie postérieure du sac anévrisimal.

Figure 34 : Coupes axiales en séquence pondérée TI SSFP sans contraste. (A) thrombus chronique de signal faible, (B) thrombus récent de signal élevé.

Figure 35 : (a) Un homme de 62 ans avec un anévrisme sous-rénal. La séquence SE pondérée T1 axiale montre un épaississement de la paroi aortique (flèche) mais une mauvaise délimitation des structures adjacentes.
(b) Après injection intraveineuse de gadolinium DTPA, le manchon se rehausse (flèche) et on visualise clairement le thrombus intra-luminal (flèche large) ainsi que l'uretère gauche impliqué (tête de flèche).

Figure 36 : fusion superposée sur l'image fluoroscopique à gauche et la visualisation 3D correspondante à droite.

Figure 37 : Vues angiographique d'AAA incidence de face (A) et oblique droite (B)

Figure 38 : Recommandations de l'ANSM sur la prise en charge des anévrismes de l'aorte abdominale (AAA).

Figure39: Traitement chirurgical conventionnel d'un AAA sous rénal.

Figure 40 : Mise à plat greffe avec prothèse aorto-bi-iliaque

Figure 41 : Critères anatomique favorables pour une endoprothèse

Figure 42 : Système de fermeture pre-closing avec insertion transcutanée d'endo prothèse. [128].

Figure 43 : Traitement endovasculaire d'un AAA (EVAR) :

Figure 44 : contrôle de prothèse aortique mise par voie endo vasculaire aorto bi iliaque

Figure 45 : Mise en place d'endo prothèse aortique par voie transvasculaire.

Figure 46 : Raisonnement numérique et flou

Figure 47: Comparaison d'un ensemble classique et un ensemble flou

Figure 48 : Représentation des variables suivant la logique binaire

Figure 49 : Représentation des variables suivant la logique floue

Figure 50: Représentation des variables suivant la logique binaire

Figure 51: Représentation des variables suivant la logique floue

Figure 52 : Représentation Classique

Figure 53: Représentation floue

Figure 54 : Fonction d'appartenance, variable et terme linguistique

Figure 55: Fonction d'appartenance linéaire par morceau.

Figure 56: Fuzzyfication d'une fonction d'appartenance

Figure 57: Base des règles d'un système de contrôle appliqué au diagnostic médicale

Figure 58: Agrégation des règles

Figure 59: Représentation graphique de la méthode du centre de gravité

Figure 60a : Un neurone avec son arborisation dendritique

Figure 60b. Fonctionnement au niveau synaptique

Figure 61: Equivalence entre le réseau biologique et artificiel

Figure 62: Schématique d'un réseau de neurones multi couches

Figure 63. Structure d'un réseau de neurones avec (n) entrées et une sortie

Figure 64 : Principe de base d'un neurone artificiel.

Fig 65: Les fonctions sigmoïdes.

Figure 66 : OPTIMA CT 540 16 barrettes GE, CHU Sétif.

Figure 67 : Injecteur automatique à corps unique CHU Sétif.

Figure 68 : Produit de contrast hydrosoluble, non ionique dosage 350 mg/l.

Figure 69 : Echodoppler numérique LOGIQ P/9 GE, CHU de Sétif.

Figure 70 : Topogramme de repérage (scout) de face et de profil.

Figure 71: coupe axiale passant par l'AAA en phase sans injection de produit de contraste montrant un hématome pariétal avec hémopéritoine.

Figure 72: coupe axiale passant par l'AAA en phase artérielle avec injection de produit de contraste

Figure 73: coupe axiale passant par l'AAA en phase tardive 90 sec

Figure 74: reconstructions MPR montrant un volumineux AAA

Figure 75: Reconstruction MIP en 3-dimensions

Figure 76: Reconstruction 03 D VRT

Figure 77. Schématique d'un réseau de neurones utilisé

Figure 78. Cas compliqué 1

Figure 79. Cas compliqué 2.

Figure 80 : Schéma bloc du système

Figure 81 : Fuzzyfication de la variable 'Athérosclérose'

Figure 82 : Fuzzyfication de la variable 'Age'

Figure 83 : Représentation de la variable 'Sexe'

Figure 84 : Fuzzyfication de la variable 'IMC'

Figure 85: Fuzzyfication de la variable 'Diabète'

Figure 86 : Fuzzyfication de la variable 'Tabagisme'

Figure 87 : Fuzzyfication de la variable 'Tension artérielle'

Figure 88 : Fuzzyfication de la variable 'Hyperlipidémie'

Figure 89 : Fuzzyfication de la variable de sortie 'Anévrisme'

Figure 90 : Base des règles

Figure 91 : Exemple d'application

Figure 92. Schématique du système de correction d'erreur lors de l'apprentissage du réseau 'Age'

Figure 93. Schématique du système de correction d'erreur lors de l'apprentissage du réseau 'Diabète'

Figure 94. Exemple d'application RNA

Figure 95 Schéma bloc du système

Figure 96 Schéma du système de correction d'erreur lors de l'apprentissage du Réseau "Hyperlipidémie"

Figure 97 Exemple de calcul du diamètre de l'aorte

Figure 98 Variation de l'anévrisme en fonction de la variable "Hyperlipidémie"

Figure 99. Schéma fonctionnel du système

Figure 100. Meilleures performances du système

Figure 101. Performances d'apprentissage

Figure 102. Tendance de l'anévrisme

Figure 103 Valeur du diamètre de l'aorte abdominale sous rénale en fonction de l'HTA.

Figure 104. L'application est générée par Matlab2020b designer.

Figure 105 interface sous forme de smartphone Application.

Figure 106 : 88 ans sexe féminin, anévrisme découvert à l'occasion d'une cholécystectomie.

Figure 107 : 67 ans fumeur masculin, anévrisme découvert fortuitement..

Figure 108 : Homme 75, anévrisme découvert fortuitement.

Figure 109 : Homme 76, anévrisme découvert fortuitement.

Figure 110 : Homme 82, anévrisme découvert fortuitement.

Figure 111 : Homme 82, anévrisme découvert fortuitement.

Figure 112 : Homme 85, anévrisme découvert fortuitement.

Figure 113 : Femme 84, anévrisme découvert fortuitement

Liste des tableaux

Tableau 1 : Croissance annuelle moyenne des AAA en fonction du diamètre AP initial

Tableau 2: Risque de rupture anévrysmale selon le diameter AP

Tableau 3 : complications après pose d'endoprothèse d'après les recommandations européennes.....

Table 4 : Synthèse des cas enregistrés

Table 5. *Analyse* multivariée : Impact de l'Age sur l'AAAs.

Table 6.*Analyse* multivariée : Impact de l'âge sur l'AAAs.

Table 7. Impact du facteur sexe sur l'AAAs.

Table 8. *Analyse* multivariée : Impact de l'IMC sur del'AAAs.

Table 9. Impact de IIMC sur l'AAAs.

Table 10. *Analyse* multivariée : Impact de l'IMC sur le diamètre de l'aorte sous rénale.

Table 11. Impact du diabète sur l'AAAs.

Table 12. Impact de l'hypertension artérielle sur l'AAAs.

Table 13. Impact du tabagisme sur l'AAAs.

Table 14 : Impact de l'athérosclérose sur l'AAAs.

Table 15 : Impact de l'hyperlipidémie sur l'AAAs.

Table 16 : *Analyse* multivariée : Impact de différents facteurs sur le diamètre de l'aorte.

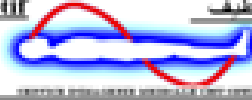
Table 17 : *mesures* comparatives entre les mesures par scanner et par échographie

Table 18 : *Analyse* comparative entre les mesures par scanner et par échographie.

Table 19 : Coefficient de Pearson.

ANNEXE 01 : Questionnaire d'enquête.

Centre Hospitalo-Universitaire – Sétif
(Saadna Mohamed Abdelmoum)
Service d'imagerie médicale



المركز الإقليمي الجامعي – سطيف
(بمعالجة محمد عبد المومني)
مصلحة التصوير الطبي

Questionnaire d'établissement d'un scanner abdominal

Date de l'examen :

Numéro du patient :

Nom et prénom

Lieu de résidence :

Age :

Sexe :

Poids :

Taille :

Motif de consultation :

	oui	non
Fumeur :		
Diabète :		
HTA :		
Dyslipidémie :		
Pathologie cardiaque :		
Antécédent familiaux :		
Autre :		

Au scanner :

Diamètres de l'aorte sous rénale :

Athérosclérose:

Autres localisation associée :

À l'échographie :

Diamètres de l'aorte sous rénale :

ANNEXE 2 : Cas diagnostiqués

Diagnosed patients and cases of aneurysm												
ID	terosclos (1/2)	Age (Year)	Sexe (0/1)	Weight (Kg)	Height (cm)	BMI (Kg/cm2)	Diabetes (1/2)	Smoking (1/2)	Blood pressure	yperlipidem (1/2)	Aneurysm (mm)	
1	2	46	2	54	149	24,323229	2	2	2	2	11,5	
2		52	2	62	158	24,835763	2	2	2	2	13,8	
3	1	68	2	79	168	27,990363	2	2	2	2	13,8	
4		57	2	64	160	25	2	2	2	2	14	
5	2	49	2	94	156	38,625904	2	2	1	2	14	
6		68	2	87	165	31,955923	2	2	2	2	14	
7		51	2	98	175	32	2	2	2	2	14	
8		58	2	89	168	31,533447	2	2	2	2	14	
9	1	57	2	64	160	25	2	2	2	2	14	
10	2	49	2	94	156	38,625904	2	2	1	2	14	
11	1	72	2	65	160	25,390625	2	2	2	2	14	
12	1	49	2	84	165	30,853994	2	2	2	2	14	
13	1	53	2	98	156	40,26956	2	2	2	2	14	
14	1	68	2	87	165	31,955923	2	2	2	2	14	
15	1	51	2	98	175	32	2	2	2	2	14	
16	1	58	2	89	168	31,533447	2	2	2	2	14	
17		66	1	76	175	24,816327	2	2	2	2	14,5	
18	1	66	1	76	175	24,816327	2	2	2	2	14,5	
16	1	58	2	89	168	31,533447	2	2	2	2	14	
17		66	1	76	175	24,816327	2	2	2	2	14,5	
18	1	66	1	76	175	24,816327	2	2	2	2	14,5	
19		70	2	68	153	29,048656	2	2	1	2	15	
20		70	2	90	167	32,270788	2	2	2	2	15	
21	2	51	2	68	159	26,89767	2	2	1	2	15	
22	1	46	2	95	175	31,020408	2	2	1	2	15	
23	1	57	2	75	165	27,548209	2	2	2	2	15	
24		57	2	65	174	21,46915	2	2	2	2	15	
25	1	56	2	85	164	31,603212	2	2	2	2	15	
26		76	2	98	168	34,722222	2	2	2	2	15	
27		63	2	68	152	29,432133	2	2	2	2	15	
28		66	2	54	153	23,068051	2	2	2	2	15	
29		62	2	85	159	33,622088	2	2	2	2	15	
30	1	54	2	95	168	33,659297	2	2	2	2	15	
31		56	2	75	153	32,038959	2	2	2	2	15	
32	1	70	2	68	153	29,048656	2	2	1	2	15	
33		70	2	90	167	32,270788	2	2	2	2	15	
34	2	51	2	68	159	26,89767	2	2	1	2	15	
35	1	46	2	95	175	31,020408	2	2	1	2	15	
36	1	57	2	75	165	27,548209	2	2	2	2	15	
37		57	2	65	174	21,46915	2	2	2	2	15	
38	1	56	2	85	164	31,603212	2	2	2	2	15	
39	1	76	2	98	168	34,722222	2	2	2	2	15	
40	1	63	2	68	152	29,432133	2	2	2	2	15	
41	1	66	2	54	153	23,068051	2	2	2	2	15	
42		62	2	85	159	33,622088	2	2	2	2	15	
43	1	54	2	95	168	33,659297	2	2	2	2	15	
44		56	2	75	153	32,038959	2	2	2	2	15	
45	1	50	2	56	167	20,079601	2	2	1	2	15,16	
46	1	50	2	56	167	20,079601	2	2	1	2	15,16	
47	1	70	1	64	159	25,315454	2	2	2	2	15,8	
48	1	70	1	64	159	25,315454	2	2	2	2	15,8	
49		77	2	70	175	22,857143	2	2	2	2	16	
50	1	51	1	67	170	23,183391	2	2	2	2	16	
51		70	2	97	156	39,858646	2	2	2	2	16	
52		82	2	85	163	31,992171	2	2	2	2	16	
53	1	53	2	65	179	20,286508	2	2	2	2	16	
54		52	2	52	187	14,870314	2	2	2	2	16	
55	1	74	2	65	154	27,407657	2	2	2	2	16	
56	1	49	2	98	156	40,26956	2	2	2	2	16	
57		89	2	82	165	30,119376	2	2	2	2	16	

58		71	2	69	164	25,654372	2	2	2	1	16
59		55	1	68	169	23,80869	2	2	2	2	16
60		85	2	85	165	31,221304	2	2	2	2	16
61	1	63	2	98	157	39,758205	2	2	2	2	16
62		88	2	75	156	30,81854	2	2	2	2	16
63	2	72	2	75	154	31,62422	2	2	2	2	16
64	2	70	2	98	157	39,758205	2	2	2	2	16
65		77	2	70	175	22,857143	2	2	2	2	16
66	1	51	1	67	170	23,183391	2	2	2	2	16
67		70	2	97	156	39,858646	2	2	2	2	16
68		82	2	85	163	31,992171	2	2	2	2	16
69	1	53	2	65	179	20,286508	2	2	2	2	16
70		52	2	52	187	14,870314	2	2	2	2	16
71	1	74	2	65	154	27,407657	2	2	2	2	16
72	1	49	2	98	156	40,26956	2	2	2	2	16
73		83	2	82	165	30,119376	2	2	2	2	16
74		71	2	69	164	25,654372	2	2	2	1	16
75		55	1	68	169	23,80869	2	2	2	2	16
76		85	2	85	165	31,221304	2	2	2	2	16
77	1	63	2	98	157	39,758205	2	2	2	2	16
78		88	2	75	156	30,81854	2	2	2	2	16
80		70	2	98	157	39,758205	2	2	2	2	16
81		53	2	52	146	24,394821	2	2	2	2	16,35
82		53	2	52	146	24,394821	2	2	2	2	16,35
83		72	1	87	174	28,735632	2	2	2	2	16,4
84		72	1	87	174	28,735632	2	2	2	2	16,4
85		61	2	68	156	27,942143	2	2	2	2	16,5
86		63	2	68	162	25,910684	2	2	2	2	16,5
87		61	2	68	156	27,942143	2	2	2	2	16,5
88		63	2	68	162	25,910684	2	2	2	2	16,5
89		74	2	67	165	24,609734	2	2	2	2	16,6
90	2	52	2	68	165	24,977043	2	2	2	2	16,6
91	1	74	2	68	160	26,5625	2	2	2	2	16,6
92		74	2	67	165	24,609734	2	2	2	2	16,6
93	2	52	2	68	165	24,977043	2	2	2	2	16,6
94	1	74	2	68	160	26,5625	2	2	2	2	16,6
95		51	1	68	190	18,836565	2	2	2	2	16,7
96		51	1	68	190	18,836565	2	2	2	2	16,7
97	1	63	2	56	158	22,432303	2	2	2	2	16,8
98		68	1	87	170	30,103806	2	2	2	2	16,8
99		53	2	58	149	26,124949	2	2	2	2	16,8
100	1	63	2	56	158	22,432303	2	2	2	2	16,8
101		68	1	87	170	30,103806	2	2	2	2	16,8
101		68	1	87	170	30,103806	2	2	2	2	16,8
102	1	53	2	58	149	26,124949	2	2	2	2	16,8
103	1	84	1	50	170	17,301038	2	1	2	2	16,98
104	1	84	1	50	170	17,301038	2	1	2	2	16,98
105		56	2	60	159	23,733238	2	2	2	2	17
106		59	2	63	159	24,9199	2	2	2	2	17
107	1	58	2	95	159	37,577627	2	2	1	2	17
108	2	72	1	80	178	25,249337	2	2	2	2	17
109	1	57	2	76	155	31,633715	2	2	2	2	17
110		56	2	95	163	35,765966	2	2	2	2	17
111		49	2	74	167	26,533759	2	2	2	2	17
112		68	1	70	175	22,857143	2	2	2	2	17
113	3	68	2	74	165	27,1809	2	2	2	2	17
114		71	1	87	170	30,103806	2	2	2	2	17
115	1	67	2	74	167	26,533759	2	2	2	2	17
116	1	51	1	70	168	24,801587	2	2	2	2	17
117	1	58	2	85	152	36,790166	2	2	2	2	17
118	1	53	2	87	165	31,955923	2	2	2	2	17
119	1	66	2	75	158	30,043262	2	2	2	2	17
120		85	2	85	162	32,388355	2	2	2	2	17
121		55	1	84	170	29,065744	2	2	2	2	17
122	2	49	2	93	163	35,003199	2	2	2	2	17

123		63	1	74	173	24,725183	2	2	2	2	17
124		54	2	87	160	33,984375	2	2	2	2	17
125		55	2	98	165	35,996327	2	2	2	2	17
126		54	2	75	168	26,573129	2	2	2	2	17
127		69	2	98	168	34,722222	2	2	2	2	17
128		79	2	85	164	31,603212	2	2	2	2	17
129		69	1	74	172	25,013521	2	2	2	2	17
130	1	58	2	65	155	27,055151	2	2	2	2	17
131	3	60	2	98	168	34,722222	2	2	2	2	17
132	1	56	2	60	159	23,733238	2	2	2	2	17
133	1	59	2	63	159	24,9199	2	2	2	2	17
134	1	58	2	95	159	37,577627	2	2	1	2	17
135	1	72	1	80	178	25,249337	2	2	2	2	17
136	1	57	2	76	155	31,633715	2	2	2	2	17
137	1	56	2	95	163	35,755956	2	2	2	2	17
138	1	49	2	74	167	26,533759	2	2	2	2	17
139	1	68	1	70	175	22,857143	2	2	2	2	17
140	1	68	2	74	165	27,1809	2	2	2	2	17
141	1	71	1	87	170	30,103806	2	2	2	2	17
142	1	67	2	74	167	26,533759	2	2	2	2	17
143		51	1	70	168	24,801587	2	2	2	2	17
145	1	53	2	87	165	31,955923	2	2	2	2	17
146	1	66	2	75	158	30,043262	2	2	2	2	17
147	1	85	2	85	162	32,388355	2	2	2	2	17
148	1	55	1	84	170	29,065744	2	2	2	2	17
149	1	49	2	93	163	35,003199	2	2	2	2	17
150	1	63	1	74	173	24,725183	2	2	2	2	17
151	1	54	2	87	160	33,984375	2	2	2	2	17
152	1	55	2	98	165	35,996327	2	2	2	2	17
153	1	54	2	75	168	26,573129	2	2	2	2	17
154	1	69	2	98	168	34,722222	2	2	2	2	17
155	1	79	2	85	164	31,603212	2	2	2	2	17
156	1	69	1	74	172	25,013521	2	2	2	2	17
157	1	58	2	65	155	27,055151	2	2	2	2	17
158	1	60	2	98	168	34,722222	2	2	2	2	17
159	1	59	2	82	156	33,694938	1	2	2	2	17
160	1	59	2	82	156	33,694938	1	2	2	2	17
161	1	46	2	58	160	22,65625	2	2	2	2	17,2
162		46	2	58	160	22,65625	2	2	2	2	17,2
163	1	49	2	56	157	22,718974	2	2	2	2	17,4
164	1	49	2	56	157	22,718974	2	2	2	2	17,4
165	1	49	2	72	168	25,510204	2	2	2	2	17,44
166		49	2	72	168	25,510204	2	2	2	2	17,44
167		75	2	95	143	46,457039	2	2	2	2	17,5
168	1	75	2	95	143	46,457039	2	2	2	2	17,5
169	2	53	1	70	170	24,221453	1	1	2	2	17,53
170	1	53	1	70	170	24,221453	1	1	2	2	17,53
171	1	70	2	58	150	25,777778	2	2	2	2	17,56
172		70	2	58	150	25,777778	2	2	2	2	17,56
173	2	69	2	54	154	22,769438	2	2	2	2	17,6
174		85	2	68	165	24,977043	2	2	2	2	17,6
175	1	69	2	54	154	22,769438	2	2	2	2	17,6
176	1	85	2	68	165	24,977043	2	2	2	2	17,6
177		51	1	59	160	23,046875	2	2	2	2	17,7
178	2	79	2	98	154	41,322314	2	2	1	2	17,7
179		72	1	75	176	24,212293	2	2	2	1	17,7
180		51	1	59	160	23,046875	2	2	2	2	17,7
181		79	2	98	154	41,322314	2	2	1	2	17,7
182	1	72	1	75	176	24,212293	2	2	2	1	17,7
183	2	64	2	62	153	26,48554	2	2	2	2	17,8
184	3	64	2	62	153	26,48554	2	2	2	2	17,8
185		67	1	68	174	22,460034	1	2	1	2	17,84
186		67	1	68	174	22,460034	1	2	1	2	17,84

187	2	57	2	67	169	23,458562	2	2	2	2	17,9
188	1	57	2	67	169	23,458562	2	2	2	2	17,9
189	1	53	2	68	159	26,89767	2	2	2	2	18
190	3	60	2	52	153	22,213678	2	2	2	2	18
191		65	2	61	164	22,679952	2	2	2	2	18
192		52	1	64	169	22,408179	2	2	2	2	18
193		50	2	68	165	24,977043	2	2	2	2	18
194	1	61	2	87	156	35,749507	2	2	1	2	18
195		73	2	65	168	23,030045	2	2	2	2	18
196	2	53	2	65	166	23,588329	2	2	2	2	18
197	1	65	2	65	167	23,30668	2	2	2	2	18
198		67	1	74	172	25,013521	2	2	2	2	18
199		59	1	69	156	28,353057	2	2	2	2	18
200	2	60	2	85	153	36,310821	2	2	2	2	18
201		70	2	75	167	26,892323	2	2	2	2	18
202		77	2	59	154	24,87772	2	2	2	2	18
203		55	2	96	157	38,946813	2	2	2	2	18
204	1	70	2	95	165	34,894399	2	2	2	2	18
205		80	2	98	175	32	2	2	2	2	18
106		51	2	98	156	40,26956	2	2	1	2	18
208	2	60	2	52	153	22,213678	2	2	2	2	18
209	1	65	2	61	164	22,679952	2	2	2	2	18
210	1	52	1	64	169	22,408179	2	2	2	2	18
211		50	2	68	165	24,977043	2	2	2	2	18
112	1	61	2	87	156	35,749507	2	2	1	2	18
213	1	73	2	65	168	23,030045	2	2	2	2	18
214		53	2	65	166	23,588329	2	2	2	2	18
215	1	65	2	65	167	23,30668	2	2	2	2	18
216		67	1	74	172	25,013521	2	2	2	2	18
217	1	59	1	69	156	28,353057	2	2	2	2	18
218	1	60	2	85	153	36,310821	2	2	2	2	18
219	1	70	2	75	167	26,892323	2	2	2	2	18
220	1	77	2	59	154	24,87772	2	2	2	2	18
221	1	55	2	96	157	38,946813	2	2	2	2	18
222	1	70	2	95	165	34,894399	2	2	2	2	18
223		80	2	98	175	32	2	2	2	2	18
224		51	2	98	156	40,26956	2	2	1	2	18
225	1	74	2	89	167	31,912223	2	2	2	2	18,12
226	1	74	2	89	167	31,912223	2	2	2	2	18,12
227		77	1	98	170	33,910035	2	2	2	2	18,2
228	1	77	1	98	170	33,910035	2	2	2	2	18,2
229		52	2	62	162	23,624447	2	2	1	2	18,3
230	1	52	2	62	162	23,624447	2	2	1	2	18,3
231	*	65	2	69	157	27,993022	2	2	1	2	18,5
232	1	65	2	69	157	27,993022	2	2	1	2	18,5
233		54	2	58	146	27,209608	2	2	2	2	18,6
234		61	2	75	168	26,573129	2	2	2	2	18,6
235	1	54	2	58	146	27,209608	2	2	2	2	18,6
236	1	61	2	75	168	26,573129	2	2	2	2	18,6
237	2	74	1	68	155	28,30385	2	2	2	2	18,7
238		78	2	59	164	21,936347	2	2	2	2	18,7
239	1	74	1	68	155	28,30385	2	2	2	2	18,7
240		78	2	59	164	21,936347	2	2	2	2	18,7
241		66	2	54	156	22,189349	2	2	2	2	18,8
242		66	2	54	156	22,189349	2	2	2	2	18,8
243		41	2	90	165	33,057851	2	2	2	2	18,9
244		57	2	94	165	34,527089	2	2	2	2	18,9
245		68	1	62	170	21,453287	2	2	2	2	18,9
246		67	2	110	156	45,200526	2	2	2	2	18,9
247	1	41	2	90	165	33,057851	2	2	2	2	18,9
248	2	57	2	94	165	34,527089	2	2	2	2	18,9
249		68	1	62	170	21,453287	2	2	2	2	18,9
250	1	67	2	110	156	45,200526	2	2	2	2	18,9
251		78	2	68	152	29,432133	2	2	2	2	19

252		70	1	62	169	21,707923	2	2	2	2	19
253		60	1	84	173	28,066424	2	2	2	2	19
254		59	1	65	168	23,030045	2	2	2	2	19
255		58	2	69	164	25,654372	2	2	2	2	19
256		69	1	75	176	24,212293	2	2	2	2	19
257	3	61	1	74	174	24,441802	2	2	2	2	19
258		53	1	87	184	25,69707	2	2	2	2	19
259	1	65	2	77	174	25,432686	2	2	2	2	19
260	1	50	2	65	154	27,407657	2	2	2	2	19
261	1	70	1	85	176	27,440599	2	2	2	2	19
262	2	86	1	74	170	25,605536	2	2	2	2	19
263	1	56	1	60	170	20,761246	2	2	2	2	19
264	1	65	2	98	164	36,436645	2	2	2	2	19
265	1	70	2	85	164	31,603212	2	2	2	2	19
266		75	2	95	165	34,894399	2	2	2	2	19
267		84	2	90	165	33,057851	2	2	2	1	19
268		77	2	74	165	27,1809	2	2	2	2	19
269	2	51	1	75	174	24,772097	2	2	2	2	19
270	1	56	1	70	172	23,661439	2	2	2	2	19
271		52	1	85	174	28,075043	2	2	2	2	19
272		64	2	87	165	31,955923	2	2	2	2	19
274	1	77	1	96	174	31,708284	2	2	2	2	19
275	1	66	1	70	172	23,661439	2	2	2	2	19
276		59	2	85	168	30,116213	2	2	2	1	19
277	1	74	2	65	151	28,507522	2	2	2	2	19
278	1	72	1	69	170	23,875433	2	1	2	2	19
279	1	80	1	95	176	30,668905	2	1	2	2	19
280	1	78	2	68	152	29,432133	2	2	2	2	19
281	1	70	1	62	169	21,707923	2	2	2	2	19
282	1	60	1	84	173	28,066424	2	2	2	2	19
283	1	59	1	65	168	23,030045	2	2	2	2	19
284		58	2	69	164	25,654372	2	2	2	2	19
285		69	1	75	176	24,212293	2	2	2	2	19
286	1	61	1	74	174	24,441802	2	2	2	2	19
287	1	53	1	87	184	25,69707	2	2	2	2	19
288	1	65	2	77	174	25,432686	2	2	2	2	19
289	1	50	2	65	154	27,407657	2	2	2	2	19
290	1	70	1	85	176	27,440599	2	2	2	2	19
291	1	86	1	74	170	25,605536	2	2	2	2	19
292		56	1	60	170	20,761246	2	2	2	2	19
293		65	2	98	164	36,436645	2	2	2	2	19
294	1	70	2	85	164	31,603212	2	2	2	2	19
295	2	75	2	95	165	34,894399	2	2	2	2	19
296	1	84	2	90	165	33,057851	2	2	2	1	19
297	1	77	2	74	165	27,1809	2	2	2	2	19
298	1	51	1	75	174	24,772097	2	2	2	2	19
299		56	1	70	172	23,661439	2	2	2	2	19
300		52	1	85	174	28,075043	2	2	2	2	19
301		64	2	87	165	31,955923	2	2	2	2	19
302	1	68	1	85	169	29,760863	2	2	2	2	19
303	1	77	1	96	174	31,708284	2	2	2	2	19
304	1	66	1	70	172	23,661439	2	2	2	2	19
305	1	59	2	85	168	30,116213	2	2	2	1	19
306	1	74	2	65	151	28,507522	2	2	2	2	19
307	1	72	1	69	170	23,875433	2	1	2	2	19
308	1	80	1	95	176	30,668905	2	1	2	2	19
309		81	2	75	155	31,217482	1	2	2	2	19
310	1	81	2	75	155	31,217482	1	2	2	2	19
311	3	62	1	68	170	23,529412	2	2	2	2	19,18
312	1	62	1	68	170	23,529412	2	2	2	2	19,18
313	2	67	1	80	170	27,681661	2	1	2	2	19,2
314	1	63	2	59	162	22,481329	2	2	2	2	19,2
315	1	67	1	80	170	27,681661	2	1	2	2	19,2
316		63	2	59	162	22,481329	2	2	2	2	19,2
317		48	1	73	180	22,530864	2	1	2	2	19,27

318		48	1	73	180	22,530864	2	1	2	2	19,27
319		68	2	68	154	28,672626	2	2	2	2	19,3
320	1	63	2	62	164	23,051755	2	2	2	2	19,3
321		68	2	68	154	28,672626	2	2	2	2	19,3
322	1	63	2	62	164	23,051755	2	2	2	2	19,3
323	1	63	2	65	164	24,167162	2	2	1	2	19,4
324	1	76	2	64	165	23,507805	2	2	1	2	19,4
325	1	60	2	53	160	20,703125	2	2	2	2	19,4
326	2	63	2	65	164	24,167162	2	2	1	2	19,4
327	1	76	2	64	165	23,507805	2	2	1	2	19,4
328	1	60	2	53	160	20,703125	2	2	2	2	19,4
329	2	50	2	71	174	23,450918	2	2	2	2	19,4
330	2	67	1	65	168	23,030045	2	2	2	2	19,4
331		66	1	87	175	28,408163	2	2	2	2	19,4
332	3	86	1	71	174	23,450918	1	2	2	1	19,4
333	*	53	1	90	180	27,777778	2	1	2	2	19,5
334		65	1	65	159	25,711008	2	2	2	2	19,5
335	1	53	1	90	180	27,777778	2	1	2	2	19,5
336	1	65	1	65	159	25,711008	2	2	2	2	19,5
337		66	1	85	176	27,440599	2	2	2	2	19,5
338	1	50	2	98	154	41,322314	2	2	2	1	19,5
340	1	55	2	87	175	28,408163	2	2	2	2	19,6
341	2	67	1	85	153	36,310821	2	2	2	2	19,6
342	2	66	1	70	175	22,857143	2	2	2	2	19,6
343	2	61	1	68	170	23,529412	1	1	2	2	19,6
344	1	61	1	68	170	23,529412	1	1	2	2	19,6
345		70	2	65	168	23,030045	2	2	2	2	19,7
346		62	1	67	170	23,183391	2	2	2	2	19,7
347	1	70	2	65	168	23,030045	2	2	2	2	19,7
348		62	1	67	170	23,183391	2	2	2	2	19,7
349	1	66	1	71	174	23,450918	2	2	2	2	19,7
350	1	50	2	65	168	23,030045	2	2	2	2	19,7
351	1	67	2	62	164	23,051755	2	2	1	2	19,8
352	1	75	1	93	165	34,15978	2	2	2	2	19,8
353		67	2	62	164	23,051755	2	2	1	2	19,8
354	1	75	1	93	165	34,15978	2	2	2	2	19,8
355	1	67	1	87	175	28,408163	2	2	2	2	19,8
356	1	66	1	85	176	27,440599	2	2	2	2	19,8
357	2	66	1	98	154	41,322314	2	2	2	2	19,8
358	1	63	2	65	164	24,167162	2	2	1	2	19,85
359	2	63	2	65	164	24,167162	2	2	1	2	19,85
360	2	68	2	74	165	27,1809	2	2	2	2	19,9
361	1	68	2	74	165	27,1809	2	2	2	2	19,9
362	2	50	2	85	153	36,310821	2	2	2	2	19,9
363	1	66	1	75	169	26,259585	2	2	2	2	20
364		80	2	52	156	21,367521	2	2	2	2	20
365	2	59	1	75	170	25,951557	2	2	2	2	20
366	1	55	2	87	164	32,346817	2	2	2	2	20
367		83	2	95	160	37,109375	2	2	2	2	20
368	1	57	2	87	156	35,749507	2	2	1	2	20
369		52	1	78	174	25,762981	2	2	2	2	20
370		59	1	75	170	25,951557	2	2	2	2	20
371		62	1	75	176	24,212293	2	2	2	2	20
372		62	2	74	165	27,1809	2	2	2	2	20
373	1	73	2	96	168	34,013605	2	2	2	2	20
374	1	74	2	85	163	31,992171	2	2	2	2	20
375		94	1	89	174	29,396221	2	2	2	2	20
376		77	2	75	154	31,62422	2	2	2	2	20
377	1	52	2	85	165	31,221304	2	2	2	1	20
378	2	64	2	98	156	40,26956	2	2	2	2	20
379	1	73	2	98	154	41,322314	2	2	2	2	20
380	1	73	1	85	176	27,440599	2	2	2	2	20
381	2	78	1	75	170	25,951557	2	2	2	2	20
382		84	1	89	176	28,731921	2	2	2	2	20
383	1	66	1	73	175	23,836735	2	2	2	2	20

384	1	62	2	75	165	27,548209	2	2	2	2	20
385	1	80	2	74	156	30,407627	2	2	2	2	20
386	1	67	2	85	155	35,379813	2	2	2	2	20
387	2	67	2	95	165	34,894399	2	2	2	2	20
388	1	66	1	75	169	26,259585	2	2	2	2	20
389	1	80	2	52	156	21,367521	2	2	2	2	20
390	1	59	1	75	170	25,951557	2	2	2	2	20
391	1	55	2	87	164	32,346817	2	2	2	2	20
392	1	83	2	95	160	37,109375	2	2	2	2	20
393	2	57	2	87	156	35,749507	2	2	1	2	20
394	2	52	1	78	174	25,762981	2	2	2	2	20
395		59	1	75	170	25,951557	2	2	2	2	20
396	1	62	1	75	176	24,212293	2	2	2	2	20
397	1	62	2	74	165	27,1809	2	2	2	2	20
398	1	73	2	96	168	34,013605	2	2	2	2	20
399	1	74	2	85	163	31,992171	2	2	2	2	20
400	2	94	1	89	174	29,396221	2	2	2	2	20
401	1	77	2	75	154	31,62422	2	2	2	2	20
402	1	52	2	85	165	31,221304	2	2	2	1	20
403	2	64	2	98	156	40,26956	2	2	2	2	20
404	1	73	2	98	154	41,322314	2	2	2	2	20
406		78	1	75	170	25,951557	2	2	2	2	20
407	1	84	1	89	176	28,731921	2	2	2	2	20
408	1	66	1	73	175	23,836735	2	2	2	2	20
409	1	62	2	75	165	27,548209	2	2	2	2	20
410	2	80	2	74	156	30,407627	2	2	2	2	20
411	1	67	2	85	155	35,379813	2	2	2	2	20
412	1	67	2	95	165	34,894399	2	2	2	2	20
413	1	67	1	70	175	22,857143	2	2	2	2	20
414	1	66	1	71	174	23,450918	2	2	2	2	20
415	2	50	2	87	175	28,408163	2	2	2	2	20
416	2	67	1	85	176	27,440599	2	2	2	2	20
417	1	66	1	98	154	41,322314	2	2	2	2	20
418	1	78	1	85	153	36,310821	2	1	2	2	20
419	1	69	1	70	175	22,857143	2	2	2	2	20
420		84	1	71	174	23,450918	2	2	2	2	20
421		76	2	65	168	23,030045	2	2	2	2	20
422	2	84	1	87	175	28,408163	2	2	2	2	20
423	2	82	1	85	176	27,440599	2	2	2	2	20
424	1	86	1	98	154	41,322314	2	2	2	2	20
425	1	55	1	85	153	36,310821	2	2	2	2	20
426	2	63	2	71	174	23,450918	2	2	2	2	20
427	2	66	1	65	168	23,030045	2	2	2	2	20
428	2	50	2	87	175	28,408163	2	2	2	2	20
429	3	67	1	85	176	27,440599	2	2	2	2	20
430	3	66	1	98	154	41,322314	2	2	2	2	20
431	2	50	2	85	153	36,310821	2	2	2	2	20
432	2	67	1	70	175	22,857143	2	2	2	2	20
433	1	66	1	71	174	23,450918	2	2	2	1	20
434	3	50	2	65	168	23,030045	2	2	2	2	20
435	1	67	1	87	175	28,408163	2	2	1	2	20
436	2	66	1	85	176	27,440599	2	2	1	2	20
437	2	50	2	98	154	41,322314	2	2	1	2	20
438	1	67	1	85	153	36,310821	2	2	2	2	20
439	1	66	1	70	175	22,857143	2	2	2	2	20
440		49	2	65	168	23,030045	2	2	2	2	20
441		74	2	87	175	28,408163	2	2	2	2	20
442	2	51	2	98	165	35,996327	1	2	2	2	20
443	2	84	2	65	165	23,875115	1	2	2	2	20
444	2	76	2	54	163	20,324438	1	2	2	2	20
445	1	83	1	65	168	23,030045	1	2	2	2	20
446		72	2	85	157	34,484158	1	2	2	2	20
447	1	61	2	92	164	34,20583	1	2	2	2	20
448		81	1	74	176	23,889463	1	2	2	2	20
449	2	51	2	98	165	35,996327	1	2	2	2	20

450	2	84	2	65	165	23,875115	1	2	2	2	20
451	1	76	2	54	163	20,324438	1	2	2	2	20
452	1	83	1	65	168	23,030045	1	2	2	2	20
453	1	72	2	85	157	34,484158	1	2	2	2	20
454	1	61	2	92	164	34,20583	1	2	2	2	20
455	1	81	1	74	176	23,889463	1	2	2	2	20
456	1	66	1	65	168	23,030045	1	2	2	2	20
457	2	85	2	70	175	22,857143	1	2	2	2	20
458		74	2	71	174	23,450918	1	2	2	2	20
459	1	66	1	85	176	27,440599	2	2	2	2	20,1
460	1	91	1	65	169	22,758307	2	2	2	2	20,19
461	1	91	1	65	169	22,758307	2	2	2	2	20,19
462	1	50	2	98	154	41,322314	2	2	2	1	20,2
463		60	2	65	160	25,390625	2	2	2	2	20,28
464	2	60	2	65	160	25,390625	2	2	2	2	20,28
465	1	47	1	68	170	23,529412	2	2	2	2	20,4
466		76	1	89	176	28,731921	2	2	2	2	20,4
467		47	1	68	170	23,529412	2	2	2	2	20,4
468		76	1	89	176	28,731921	2	2	2	2	20,4
469	2	67	1	85	153	36,310821	2	2	2	2	20,4
470	2	66	1	70	175	22,857143	2	2	2	2	20,4
475	3	77	2	68	160	26,5625	1	2	1	1	20,49
476	1	77	2	68	160	26,5625	1	2	1	1	20,49
477	2	81	1	69	172	23,323418	2	1	2	2	20,5
478	1	59	2	98	169	34,312524	2	2	1	2	20,5
479	1	81	1	69	172	23,323418	2	1	2	2	20,5
480	1	59	2	98	169	34,312524	2	2	1	2	20,5
481	2	66	1	87	175	28,408163	2	2	2	2	20,5
482	2	50	2	85	176	27,440599	2	2	2	2	20,5
483		66	2	68	163	25,593737	2	2	2	2	20,6
484		55	2	95	165	34,894399	2	2	2	2	20,6
485	1	66	2	68	163	25,593737	2	2	2	2	20,6
486	1	55	2	95	165	34,894399	2	2	2	2	20,6
487	1	67	1	98	154	41,322314	2	2	2	2	20,6
488	3	50	2	70	175	22,857143	2	2	2	2	20,6
489	3	67	1	71	174	23,450918	2	2	2	2	20,6
490	2	65	2	65	164	24,167162	1	2	2	2	20,6
491	1	65	2	65	164	24,167162	1	2	2	2	20,6
492	1	66	1	85	153	36,310821	1	2	1	1	20,6
493		64	2	65	160	25,390625	2	2	2	2	20,67
494	2	64	2	65	160	25,390625	2	2	2	2	20,67
495	3	61	2	65	167	23,30668	2	2	2	2	20,7
496	1	61	2	65	167	23,30668	2	2	2	2	20,7
497	2	66	1	65	168	23,030045	2	1	2	2	20,7
498		51	2	68	168	24,092971	2	2	2	2	20,8
499		51	2	68	168	24,092971	2	2	2	2	20,8
500	1	74	2	87	175	28,408163	1	2	2	2	20,8
501	1	49	2	85	176	27,440599	1	2	2	1	20,8
502		82	2	52	154	21,926126	2	2	2	2	20,86
503		82	2	52	154	21,926126	2	2	2	2	20,86
504	1	58	1	98	178	30,930438	2	1	2	2	20,9
505	2	52	1	87	169	30,461118	2	1	2	2	20,9
506	1	58	1	98	178	30,930438	2	1	2	2	20,9
507	1	52	1	87	169	30,461118	2	1	2	2	20,9
508	1	74	2	98	154	41,322314	2	2	2	2	20,9
509	1	82	1	85	153	36,310821	2	2	2	1	20,9
510	1	54	2	85	163	31,992171	No	2	2	2	21
511	1	54	2	85	163	31,992171	No	2	2	2	21
512		66	2	54	155	22,476587	2	2	2	2	21
513		65	2	68	162	25,910684	2	2	2	2	21
514		73	2	65	168	23,030045	2	2	2	2	21
515		48	2	95	167	34,063609	2	2	2	2	21
516	1	65	1	85	174	28,075043	2	1	2	2	21
517	2	80	2	98	172	33,126014	2	2	2	2	21
518	2	70	1	72	170	24,913495	2	2	2	2	21

519	2	46	1	70	170	24,221453	2	2	2	2	21
520	2	52	2	65	150	28,888889	2	2	2	2	21
521	1	56	2	75	163	28,228386	2	2	2	2	21
522	1	60	1	74	172	25,013521	2	2	2	2	21
523	1	75	2	80	165	29,384757	2	2	2	2	21
524	1	58	1	72	169	25,209201	2	2	2	2	21
525	1	59	1	78	170	26,989619	2	2	2	2	21
526	1	60	2	92	168	32,596372	2	2	2	2	21
527	1	64	2	98	160	38,28125	2	2	2	2	21
528		78	1	65	169	22,758307	2	2	2	2	21
529		64	2	89	165	32,690542	2	2	2	2	21
530	1	66	2	54	155	22,476587	2	2	2	2	21
531	1	65	2	68	162	25,910684	2	2	2	2	21
532	1	73	2	65	168	23,030045	2	2	2	2	21
533	1	48	2	95	167	34,063609	2	2	2	2	21
534	1	65	1	85	174	28,075043	2	1	2	2	21
535	2	80	2	98	172	33,126014	2	2	2	2	21
536	1	70	1	72	170	24,913495	2	2	2	2	21
537	1	46	1	70	170	24,221453	2	2	2	2	21
538	1	52	2	65	150	28,888889	2	2	2	2	21
539		56	2	75	163	28,228386	2	2	2	2	21
541	2	75	2	80	165	29,384757	2	2	2	2	21
542	1	58	1	72	169	25,209201	2	2	2	2	21
543	2	59	1	78	170	26,989619	2	2	2	2	21
544	2	60	2	92	168	32,596372	2	2	2	2	21
545	1	64	2	98	160	38,28125	2	2	2	2	21
546	1	78	1	65	169	22,758307	2	2	2	2	21
547	1	64	2	89	165	32,690542	2	2	2	2	21
548	2	86	1	70	175	22,857143	2	2	2	2	21
549		85	2	65	168	23,030045	2	2	1	2	21
550	3	66	1	85	176	27,440599	2	2	2	2	21
551	3	50	2	98	154	41,322314	2	2	2	2	21
552	2	67	1	85	153	36,310821	2	2	2	2	21
553	1	49	2	71	174	23,450918	2	1	2	2	21
554	1	74	2	65	168	23,030045	2	2	2	2	21
555	1	66	1	87	175	28,408163	2	1	2	2	21
556	1	74	2	85	153	36,310821	2	1	2	2	21
557	2	49	2	65	168	23,030045	2	1	2	1	21
558	3	66	1	85	176	27,440599	2	2	1	2	21
559		86	1	70	175	22,857143	2	2	1	2	21
560	2	63	2	87	175	28,408163	2	1	1	2	21
561	2	66	1	70	175	22,857143	2	2	2	2	21
562	1	59	1	96	170	33,217993	1	2	2	2	21
563	3	74	1	98	170	33,910035	1	1	1	2	21
564	1	55	2	69	152	29,864958	1	2	2	2	21
565		72	1	79	176	25,503616	1	2	2	2	21
566	2	67	2	98	165	35,996327	1	2	2	2	21
567	1	77	2	85	155	35,379813	1	2	2	2	21
568		51	1	98	158	39,256529	1	2	2	2	21
569	1	69	1	89	176	28,731921	1	2	2	2	21
570	2	61	1	75	176	24,212293	1	1	2	2	21
571	3	54	2	69	160	26,953125	1	2	2	2	21
572	2	59	1	96	170	33,217993	1	2	2	2	21
573	2	74	1	98	170	33,910035	1	1	1	2	21
574	1	55	2	69	152	29,864958	1	2	2	2	21
575	1	72	1	79	176	25,503616	1	2	2	2	21
576	2	67	2	98	165	35,996327	1	2	2	2	21
577	1	77	2	85	155	35,379813	1	2	2	2	21
578	1	51	1	98	158	39,256529	1	2	2	2	21
579	1	69	1	89	176	28,731921	1	2	2	2	21
580		61	1	75	176	24,212293	1	1	2	2	21
581	1	54	2	69	160	26,953125	1	2	2	2	21
582	2	55	1	71	174	23,450918	1	2	2	2	21
583		63	2	87	175	28,408163	1	2	2	2	21
584	1	66	1	70	175	22,857143	1	2	2	2	21

585	2	50	2	85	176	27,440599	1	1	1	2	21
586	2	49	2	98	154	41,322314	1	1	1	2	21
587	1	66	1	70	175	22,857143	1	2	1	1	21
588	1	50	2	71	174	23,450918	1	2	2	1	21
589	3	74	2	87	175	28,408163	1	1	2	2	21
590	3	50	2	98	154	41,322314	1	2	2	2	21
591	1	82	1	85	153	36,310821	1	1	2	2	21
592		55	1	71	174	23,450918	1	2	2	1	21
593	2	85	2	65	168	23,030045	1	2	2	2	21
594	1	66	1	85	176	27,440599	1	2	2	2	21
595	1	50	2	98	154	41,322314	1	1	2	2	21
596	2	67	1	85	153	36,310821	1	1	2	2	21
597	3	50	2	85	176	27,440599	1	2	2	2	21
598	2	50	2	71	174	23,450918	1	2	2	2	21,1
599	1	65	1	72	178	22,724403	2	2	2	2	21,18
600	1	65	1	72	178	22,724403	2	2	2	2	21,18
601		75	1	65	156	26,709402	2	2	2	2	21,2
602	1	75	1	65	156	26,709402	2	2	2	2	21,2
603	2	67	1	65	168	23,030045	1	2	2	1	21,2
604	3	66	1	87	175	28,408163	1	1	2	2	21,2
605		65	2	64	159	25,315454	2	2	2	2	21,24
607	1	53	2	95	166	34,47525	2	2	2	2	21,4
608	1	53	2	95	166	34,47525	2	2	2	2	21,4
609	2	67	1	98	154	41,322314	1	2	1	2	21,4
610	1	66	1	90	164	33,462225	1	1	2	2	21,45
611	1	66	1	90	164	33,462225	1	1	2	2	21,45
612		89	2	65	159	25,711008	2	2	1	2	21,5
613	1	89	2	65	159	25,711008	2	2	1	2	21,5
614	2	66	1	85	153	36,310821	2	2	2	1	21,5
615	1	82	1	70	175	22,857143	2	2	2	1	21,5
616	2	58	1	70	180	21,604938	1	1	2	2	21,5
617	2	58	1	70	180	21,604938	1	1	2	2	21,5
618	1	76	1	65	167	23,30668	2	1	2	2	21,6
619		49	2	68	165	24,977043	2	2	2	2	21,6
620	1	56	2	86	162	32,769395	2	2	2	2	21,6
621	1	76	1	65	167	23,30668	2	1	2	2	21,6
622	1	49	2	68	165	24,977043	2	2	2	2	21,6
623	1	56	2	86	162	32,769395	2	2	2	2	21,6
624		65	2	80	168	28,344671	2	2	2	2	21,64
625		65	2	80	168	28,344671	2	2	2	2	21,64
626		77	2	69	152	29,864958	2	2	1	2	21,7
627		77	2	69	152	29,864958	2	2	1	2	21,7
628		73	1	74	172	25,013521	2	2	2	2	21,77
629		73	1	74	172	25,013521	2	2	2	2	21,77
630	1	56	1	67	171	22,913033	2	1	2	2	21,8
631	1	56	1	67	171	22,913033	2	1	2	2	21,8
632	1	62	1	63	169	22,058051	1	2	1	2	21,8
633	1	62	1	63	169	22,058051	1	2	1	2	21,8
634	2	72	1	78	170	26,989619	2	2	2	2	21,84
635	1	72	1	78	170	26,989619	2	2	2	2	21,84
636	3	63	1	95	170	32,871972	1	1	2	2	21,9
637		63	1	95	170	32,871972	1	1	2	2	21,9
638	3	75	2	74	164	27,513385	2	2	1	2	22
639		47	1	68	169	23,80869	2	2	2	2	22
640		71	1	70	175	22,857143	2	2	2	2	22
641	1	59	2	68	156	27,942143	2	2	2	2	22
642		68	2	65	168	23,030045	2	2	2	2	22
643	1	77	1	87	175	28,408163	2	2	2	2	22
644	2	74	1	85	176	27,440599	2	2	2	1	22
645	2	54	2	85	153	36,310821	2	2	2	2	22
646		70	1	70	175	22,857143	2	2	2	2	22
647		50	2	95	167	34,063609	2	2	2	2	22
648		66	1	78	170	26,989619	2	2	2	2	22
649	2	66	2	75	164	27,885187	2	2	2	2	22
650		85	2	95	150	42,222222	2	1	2	2	22

651		58	1	73	172	24,6755	2	2	2	2	22
652	2	84	1	78	169	27,309968	2	2	2	1	22
653		65	2	95	159	37,577627	2	2	2	2	22
654		59	2	84	167	30,119402	2	2	1	2	22
655	2	74	2	87	163	32,744928	2	2	2	2	22
656	1	57	2	98	156	40,26956	2	2	2	2	22
657		67	1	72	176	23,243802	2	2	2	2	22
658	2	75	2	74	164	27,513385	2	2	1	2	22
659	1	47	1	68	169	23,80869	2	2	2	2	22
660	1	71	1	70	175	22,857143	2	2	2	2	22
661	1	59	2	68	156	27,942143	2	2	2	2	22
662	1	68	2	65	168	23,030045	2	2	2	2	22
663	1	77	1	87	175	28,408163	2	2	2	2	22
664	2	74	1	85	176	27,440599	2	2	2	1	22
665	1	54	2	85	153	36,310821	2	2	2	2	22
666	1	70	1	70	175	22,857143	2	2	2	2	22
667	2	50	2	95	167	34,083609	2	2	2	2	22
668	1	66	1	78	170	26,989619	2	2	2	2	22
669	1	66	2	75	164	27,885187	2	2	2	2	22
670		85	2	95	150	42,222222	2	1	2	2	22
671	1	58	1	73	172	24,6755	2	2	2	2	22
673	2	65	2	95	159	37,577627	2	2	2	2	22
674	1	59	2	84	167	30,119402	2	2	1	2	22
675	2	74	2	87	163	32,744928	2	2	2	2	22
676	2	57	2	98	156	40,26956	2	2	2	2	22
677	1	67	1	72	176	23,243802	2	2	2	2	22
678	1	71	2	68	156	27,942143	2	2	2	2	22
679	1	55	1	65	168	23,030045	2	2	2	2	22
680	1	85	2	87	175	28,408163	2	2	2	2	22
681	2	63	2	68	172	22,985398	2	2	2	2	22
682	2	88	2	70	169	24,508946	2	2	2	2	22
683	1	50	2	68	164	25,28257	2	2	2	2	22
684	1	67	1	65	168	23,030045	2	2	2	2	22
685	1	66	1	87	175	28,408163	2	2	2	2	22
686	2	50	2	85	176	27,440599	2	2	2	2	22
687	1	67	1	98	154	41,322314	2	2	2	2	22
688	1	66	1	85	153	36,310821	2	2	2	2	22
689	1	67	1	71	174	23,450918	2	2	2	2	22
690	1	66	1	65	168	23,030045	2	2	2	2	22
691		50	2	87	175	28,408163	2	2	2	2	22
692	2	67	1	85	176	27,440599	2	2	2	2	22
693	2	66	1	98	154	41,322314	2	2	2	2	22
694	1	50	2	85	153	36,310821	2	2	2	2	22
695	1	67	1	70	175	22,857143	2	2	2	2	22
696	2	66	1	71	174	23,450918	2	2	2	2	22
697	1	50	2	65	168	23,030045	2	2	2	1	22
698	1	67	1	87	175	28,408163	2	2	2	2	22
699	1	66	1	85	176	27,440599	2	2	2	2	22
700	1	50	2	98	154	41,322314	2	2	2	2	22
701	1	67	1	85	153	36,310821	2	2	2	2	22
702	1	66	1	70	175	22,857143	2	2	2	2	22
703	2	74	2	71	174	23,450918	2	2	2	2	22
704	1	49	2	65	168	23,030045	2	2	2	2	22
705	3	74	2	87	175	28,408163	2	2	2	2	22
706	1	49	2	85	176	27,440599	2	2	2	2	22
707	1	74	2	98	154	41,322314	2	2	2	2	22
708	1	49	2	85	153	36,310821	2	2	2	2	22
709	1	74	2	70	175	22,857143	2	2	2	2	22
710	1	49	2	71	174	23,450918	2	2	2	2	22
711		74	2	65	168	23,030045	2	2	2	2	22
712	1	49	2	87	175	28,408163	2	2	2	2	22
713	1	74	2	85	176	27,440599	2	2	2	2	22
714	1	49	2	98	154	41,322314	2	2	2	2	22
715	1	74	2	85	153	36,310821	2	2	2	2	22

716	2	49	2	70	175	22,857143	2	2	1	2	22
717	2	50	2	71	174	23,450918	2	2	2	2	22
718	1	67	1	65	168	23,030045	2	2	2	2	22
719	2	50	2	85	176	27,440599	2	2	2	2	22
720	2	67	1	98	154	41,322314	2	2	2	2	22
721	1	66	1	85	153	36,310821	2	2	1	2	22
722	1	50	2	70	175	22,857143	2	2	2	2	22
723	1	67	1	71	174	23,450918	2	2	2	2	22
724	2	66	1	65	168	23,030045	2	2	2	2	22
725	2	66	1	87	175	28,408163	2	2	2	2	22
726	1	50	2	85	176	27,440599	2	2	2	2	22
727	1	66	1	85	153	36,310821	2	2	2	2	22
728	1	66	1	70	175	22,857143	2	2	2	2	22
729	2	51	2	63	169	22,058051	1	1	2	2	22
730		73	2	98	154	41,322314	1	2	2	2	22
731		54	1	71	174	23,450918	2	2	2	2	22
732	2	59	2	87	153	37,165193	2	2	2	2	22
733		67	1	72	173	24,056935	1	2	1	1	22
734	1	53	1	84	176	27,117769	1	2	2	2	22
735	2	84	2	86	165	31,588613	2	2	2	1	22
736	1	70	1,00	70	169	24,508946	2	2	2	2	22
738	2	85	1	75	176	24,212293	2	2	2	2	22
739		51	2	63	169	22,058051	1	1	2	2	22
740	1	73	2	98	154	41,322314	1	2	2	2	22
741	1	54	1	71	174	23,450918	2	2	2	2	22
742	1	59	2	87	153	37,165193	2	2	2	2	22
743	2	67	1	72	173	24,056935	2	2	1	1	22
744		53	1	84	176	27,117769	2	2	2	2	22
745		84	2	86	165	31,588613	1	2	2	1	22
746	2	70	1,00	70	169	24,508946	1	2	2	2	22
747	1	59	1	71	172	23,999459	1	2	2	2	22
748	1	85	1	75	176	24,212293	1	2	2	2	22
749	1	50	2	70	175	22,857143	2	2	2	2	22
750	1	66	1	87	175	28,408163	2	2	2	2	22
751	1	67	1	98	154	41,322314	1	2	2	2	22
752	2	54	1	85	169	29,760863	2	1	2	2	22,26
753	1	54	1	85	169	29,760863	2	1	2	2	22,26
754	1	47	2	74	160	28,90625	2	2	2	2	22,3
755	3	80	1	65	169	22,758307	2	1	2	2	22,3
756	2	47	2	74	160	28,90625	2	2	2	2	22,3
757	2	80	1	65	169	22,758307	2	1	2	2	22,3
758	*	83	2	64	158	25,636917	1	1	1	2	22,4
759	1	83	2	64	158	25,636917	1	2	1	2	22,4
760	3	79	1	80	156	32,87311	1	1	1	2	22,43
761	1	79	1	80	156	32,87311	1	1	1	2	22,43
762	2	82	1	65	170	22,491349	2	1	2	2	22,5
763	1	82	1	65	170	22,491349	2	1	2	2	22,5
764	1	59	2	80	169	28,010224	1	2	1	1	22,7
765	2	54	2	85	167	30,477966	1	2	2	1	22,7
766	1	59	2	80	169	28,010224	1	2	1	1	22,7
767	2	54	2	85	167	30,477966	1	2	2	1	22,7
768	2	52	1	55	170	19,031142	2	1	2	1	22,8
769	2	52	1	55	170	19,031142	2	1	2	1	22,8
770	2	63	2	94	158	37,654222	2	2	1	2	22,9
771		63	2	94	158	37,654222	2	2	1	2	22,9
772	1	66	1	90	170	31,141869	1	1	2	2	22,9
773		66	1	90	170	31,141869	1	1	2	2	22,9
774	2	74	2	78	161	30,091432	2	2	1	2	23
775	3	83	1	78	176	25,180785	2	1	1	2	23
776	3	56	2	76	168	26,927438	2	2	2	2	23
777	2	80	2	68	150	30,222222	2	2	2	1	23
778		73	2	59	154	24,87772	2	2	2	1	23
779	2	74	2	78	161	30,091432	2	2	1	2	23
780	1	83	1	78	176	25,180785	2	1	1	2	23
781	1	56	2	76	168	26,927438	2	2	2	2	23

782	1	80	2	68	150	30,222222	2	2	2	1	23
783	1	73	2	59	154	24,87772	2	2	2	1	23
784	1	54	1	68	154	28,672626	2	2	2	2	23
785	1	59	2	98	155	40,790843	2	2	2	2	23
786	1	50	2	98	166	35,563943	2	2	2	2	23
787	1	67	1	87	170	30,103806	2	2	2	2	23
788	1	66	1	90	170	31,141869	2	2	2	2	23
789		66	2	80	175	26,122449	2	2	2	2	23
790		85	2	85	155	35,379813	2	2	2	2	23
791		53	1	74	176	23,889463	2	2	2	2	23
792	1	84	2	95	165	34,894399	2	2	2	2	23
793	1	54	1	65	169	22,758307	2	2	2	2	23
794	2	59	2	65	160	25,390625	2	2	2	2	23
795	1	50	2	68	170	23,529412	2	2	2	2	23
796	1	67	1	89	176	28,731921	2	2	2	2	23
797	1	66	1	87	160	33,984375	2	2	2	2	23
798	2	66	2	68	160	26,5625	2	2	2	2	23
799	1	85	2	69	172	23,323418	2	2	2	2	23
800	3	79	1	62	170	21,453287	1	2	2	2	23
801	2	85	1	93	170	32,179931	1	1	2	2	23
802	1	68	1	87	175	28,408163	1	2	2	1	23
804	1	60	2	75	164	27,885187	1	2	2	2	23
805	1	58	1	79	172	26,703624	2	1	2	2	23
806	2	68	1	74	175	24,163265	2	1	2	2	23
807	2	53	1	74	175	24,163265	2	2	2	2	23
808	2	64	1	72	165	26,446281	1	2	2	1	23
809	2	71	1	68	169	23,80869	1	1	2	2	23
810		72	2	75	154	31,62422	1	2	2	2	23
811	2	60	2	98	162	37,341869	1	2	1	2	23
812	2	74	2	98	168	34,722222	1	2	2	1	23
813	1	79	1	62	170	21,453287	1	2	2	2	23
814	2	85	1	93	170	32,179931	1	1	2	2	23
815	1	68	1	87	175	28,408163	2	2	2	1	23
816	1	63	1	67	148	30,58802	2	2	2	2	23
817	1	60	2	75	164	27,885187	1	2	2	2	23
818	2	58	1	79	172	26,703624	1	1	2	2	23
819	2	68	1	74	175	24,163265	1	1	2	2	23
820	1	53	1	74	175	24,163265	1	2	2	2	23
821	1	64	1	72	165	26,446281	1	2	2	1	23
822	2	71	1	68	169	23,80869	1	1	2	2	23
823	2	72	2	75	154	31,62422	1	2	2	2	23
824	1	60	2	98	162	37,341869	1	2	1	2	23
825		74	2	98	168	34,722222	1	2	2	1	23
826	1	62	2	58	154	24,456063	2	2	2	2	23,25
827		62	2	58	154	24,456063	2	2	2	2	23,25
828	1	56	1	88	174	29,065927	1	1	2	2	23,3
829	2	56	1	88	174	29,065927	1	1	2	2	23,3
830	2	51	1	67	172	22,647377	1	1	1	2	23,4
831	2	51	1	67	172	22,647377	1	1	1	2	23,4
832	3	63	1	98	178	30,930438	2	2	2	1	23,5
833	1	63	1	98	178	30,930438	1	1	1	1	23,5
834	2	76	2	96	153	41,009868	1	2	1	1	23,6
835	1	76	2	96	153	41,009868	1	2	1	1	23,6
836	1	71	1	120	175	39,183673	1	2	2	1	23,7
837	2	71	1	120	175	39,183673	1	2	2	1	23,7
838	2	73	1	82	174	27,084159	2	1	2	2	24
839	2	52	2	65	168	23,030045	2	2	1	2	24
840	2	70	1	69	176	22,27531	2	1	2	2	24
841	3	65	2	65	155	27,055151	2	2	2	2	24
842	2	73	1	82	174	27,084159	2	1	2	2	24
843	3	52	2	65	168	23,030045	2	2	1	2	24
844	2	70	1	69	176	22,27531	2	1	2	2	24
845	2	65	2	65	155	27,055151	2	2	2	2	24
846	1	52	2	72	168	25,510204	1	2	2	1	24
847	2	78	2	85	162	32,388355	1	2	2	2	24

848	2	69	1	80	172	27,041644	1	1	1	2	24
849	3	81	1	78	170	26,989619	1	1	2	2	24
850	1	68	1	75	173	25,059307	1	1	1	1	24
851	2	52	2	72	168	25,510204	1	2	2	1	24
852	2	78	2	85	162	32,388355	1	2	2	2	24
853	3	69	1	80	172	27,041644	2	1	1	2	24
854	1	81	1	78	170	26,989619	2	1	2	2	24
855	3	68	1	75	173	25,059307	2	1	1	1	24
856	2	61	2	68	162	25,910684	1	2	2	1	24,2
857	3	61	2	68	162	25,910684	1	2	2	1	24,2
858	3	84	1	89	168	31,533447	1	1	1	1	25
859	1	51	1	80	175	26,122449	1	1	2	2	25
860	2	84	1	89	168	31,533447	1	1	1	1	25
861	2	51	1	80	175	26,122449	1	1	2	2	26
862	3	78	1	89	171	30,436716	1	1	1	2	26,5
863	2	69	1	65	168	23,030045	1	1	1	1	27
864	3	84	1	68	169	23,80869	2	2	2	1	27
865	2	60	2	92	165	33,79247	2	2	1	1	27,5
866	2	47	2	57	168	20,195578	1	2	1	1	28
867	3	78	1	89	171	30,436716	1	1	1	2	28
868	3	69	1	65	168	23,030045	1	1	1	1	28,6
870	2	76	2	93	167	33,346481	1	2	2	2	29
871	2	82	1	89	169	31,161374	2	1	1	1	29
872	3	86	1	80	174	26,42357	2	2	1	1	29
873	3	64	1	74	170	25,605536	1	2	1	1	29,4
874	3	78	1	76	175	24,816327	1	1	2	1	29,6
875	1	52	1	68	169	23,80869	2	2	1	2	29,8
876	3	62	1	110	175	35,918367	1	2	1	1	30
877	1	73	1	65	168	23,030045	2	2	2	2	30
878	2	87	1	65	168	23,030045	2	1	1	1	30
879	3	59	1	68	154	28,672626	1	2	1	2	30
880	3	83	1	85	176	27,440599	1	1	2	1	31
881	1	61	1	87	175	28,408163	1	1	1	2	31
882	2	55	1	85	176	27,440599	1	1	1	1	31
883	3	69	1	98	154	41,322314	1	1	2	2	32
884	4	65	1	98	154	41,322314	1	2	2	1	35
885	1	82	1	90	170	31,141869	2	2	1	1	35
886	2	65	1	87	175	28,408163	1	1	1	1	36
887	3	84	2	85	176	27,440599	1	1	2	1	38
888	1	69	1	87	175	28,408163	1	1	1	2	39
889	2	72	1	85	176	27,440599	1	1	1	1	41
890	3	85	1	98	154	41,322314	1	1	2	2	41
891	4	73	2	98	154	41,322314	1	2	2	1	42
892	1	69	1	90	170	31,141869	2	2	1	1	42
893	2	75	1	87	175	28,408163	1	1	1	1	43
894	3	72	1	85	176	27,440599	1	1	2	1	44
895		76	1	80	175	26,122449	1	1	1	1	45
896	1	63	1	74	164	27,513385	1	2	1	2	47
897	1	67	1	71	174	23,450918	1	1	2	2	51
898	2	64	1	71	174	23,450918	1	1	1	1	55
899	2	88	2	76	169	26,609713	2	1	1	1	57
900	4	70	1	76	169	26,609713	2	1	1	1	57
901	1	67	1	70	175	22,857143	1	1	2	1	96

Color Code	Age	BMI	Aneurysm
	40 < A < 60	18,5 < B < 24,5	25 < V < 30
	60 < A < 80	24,5 < B < 29,5	30 < V < 50
	80 < A < 100	B > 30	V > 50

	Sex	Diabetes	Smoking	Blood pressure	Hyperlipidemia
(1)	Male	Positives	Positives	Positives	Positives
(2)	Female	Negatives	Negatives	Negatives	Negatives

BMI Categories

Underweight	<18.5
Normal weight	18.5–24.9
Overweight	25–29.9
Obesity	30 or greater

Aneurysm Categories

Low risk of rupture	2,5 < ASI < 3 cm
Moderate risk	3 < ASI < 5 cm
High risk	ASI > 5 cm

Prédiction et dépistage automatisé de l'anévrisme de l'aorte abdominale: une approche basée sur l'IA

Objectif : L'anévrisme de l'aorte abdominale (AAA) est une maladie vasculaire multifactorielle avec une mortalité élevée. Sa gravité réside dans le fait qu'elle reste silencieuse. Les AAA sont découverts souvent accidentellement sous forme de masse abdominale pulsatile lors d'un examen physique de routine ou comme découverte fortuite à l'échographie, à la tomodensitométrie abdominale ou à l'imagerie par résonance magnétique réalisée à d'autres fins. Si cette maladie se manifeste à un âge avancé, d'autres facteurs sont à considérer. Différents pays déploient des programmes de dépistage systématiques des anévrismes. L'objectif de cette étude était de développer une méthode de prédiction précoce et de dépistage automatisé de l'anévrisme de l'aorte abdominale (AAA).

Matériel et Méthode : Dans le but de prévoir cette maladie, notre étude analyse des variables de plus de 900 patients diagnostiqués au niveau de l'hôpital universitaire de la ville de Sétif.

Différents paramètres sont prélevés et couplés à l'imagerie et sont mis en correspondance avec les diamètres de l'aorte abdominale sous forme de base de données. Vu la complexité du système, une analyse statistique est effectuée pour tenter de corréliser ces facteurs. Des techniques de l'intelligence artificielle sont proposées dans cette étude. Une application des réseaux de neurones artificiels est établie pour analyser ces variables. Aussi, les principes de l'inférence floue sont également appliqués à cette analyse.

Résultat : Comme les réseaux de neurones artificiels ont la capacité de traiter une masse énorme de données, leur application dans ce domaine s'est avérée très adéquate. Aussi, vue la complexité et l'incertitude des données, l'analyse de ces variables par logique floue s'est trouvée capable de compenser ces imprécisions inhérentes à la nature même des variables physiologiques. Ainsi, le diamètre probable de l'aorte prévu peut être calculé à partir des variables d'entrée avant diagnostic radiologique dans le but de réduire le nombre de personnes à dépister par imagerie.

L'application établie par notre étude est tout à fait intégrable sur smartphone ou couplée à un poste de traitement d'imagerie. L'introduction des variables d'entrée peut être remplacée par des images radiologiques de l'AAA. Après apprentissage du système, la détection de l'anévrisme sera systématique et totalement automatisée, ce qui laisse la liberté au radiologue de s'occuper de l'analyse des lésions plus complexes.

Mots clés : imagerie, radiologie, anévrisme, dépistage, facteurs de risque, intelligence artificielle.

Automated Prediction and Screening of Abdominal Aortic Aneurysm: An AI-Based Approach

Objective: Abdominal aortic aneurysm (AAA) is a multifactorial vascular disease with high mortality. Its severity lies in the fact that it remains silent. AAAs are often accidentally discovered in the form of a pulsatile abdominal mass during a routine physical examination or as an incidental finding on abdominal ultrasonography, computed tomography or magnetic resonance imaging performed for other purposes. If this disease manifests itself at an advanced age, other factors must be considered. Different countries deploy systematic AAA screening programs.

The objective of this study was to develop an early prediction and automated screening method for abdominal aortic aneurysm (AAA).

Material and Methods: In order to predict this disease, our study analyzes variables from more than 900 patients diagnosed at the university hospital in the city of Sétif.

Different parameters are taken and combined with imaging and are matched with abdominal aortic diameters in the form of a database. Given the complexity of the system, a statistical analysis is performed to try to correlate these factors. Artificial intelligence techniques are proposed in this study. An application of artificial neural networks is established to analyze these variables. Also, the principles of fuzzy inference are also applied to this analysis.

Results: As artificial neural networks have the ability to process huge amounts of data, their application in this field has proven to be very suitable. Also, given the complexity and uncertainty of the data, the analysis of these variables by fuzzy logic has been able to compensate for these inherent inaccuracies in the very nature of the physiological variables. Thus, the probable diameter of the aorta predicted can be calculated from the input variables before radiological diagnosis in order to reduce the number of people to be screened by imaging.

The application established by our study is fully integratable on a smartphone or coupled with an imaging processing station. The introduction of the input variables can be replaced by radiological images of the AAA. After system training, aneurysm detection will be systematic and fully automated, leaving the radiologist free to deal with the analysis of more specific lesions.

Keywords: imaging, radiology, aneurysm, screening, risk factors, artificial intelligence.

Les travaux réalisés dans le cadre de cette thèse ont fait l'objet de :

-Une présentation par poster aux Journées Françaises de Radiologie Paris 2023.

Publications:

- [1]. Imene B, Nasser-Eddine B, Khaoula B, Slimane L. Fuzzy inference analysis of the arterial hypertension effect on aneurysm. *Vasc Invest. Ther* 2022;5:37-41.
- [2]. Imene Bouharati, Nasser-Eddine Boubendir, Khaoula Bouharati, Slimane Laouamri. Effect of Age on the Abdominal Aortic Aneurysm: Fuzzy Logic Analysis. *EMJ Cardiol.* 2022; DOI/10.33590/emjcardiol/21-00277R1. <https://doi.org/10.33590/emjcardiol/21-00277R1>
- [3]. Bouharati Imene, Boubendir Nasser-Dine, Bouharati Khaoula, Laouamri Slimane. Artificial neural networks analysis of the risk factors for aneurysm in the population of the Setif region in Algeria. *WSEAS transactions on Biology and Biomedicine.* Volume 19, 2022. 158-162. DOI: 10.37394/23208.2022.19.17
- [4]. Bouharati Imene, Boubendir Nasser-Eddine, Bouharati Khaoula, Laouamri Slimane. *Research and clinical medicine journal. The European Journal of Innovative, Integrative and Translational Medicine.* 2021 Volume V, Issue 4, 1-4.
- [5]. Bouharati Imene, Boubendir Nasser-Eddine, Bouharati Khaoula, Laouamri Slimane. *International Journal of Biology and Biomedicine.* Volume 6, Pp. 42-45 2021. <http://www.ias.org/ias/journals/ijbb>
- [6] Bouharati Imene, Bouharati Khaoula, and Laouamri Slimane, “Arterial hypertension and aneurysm: Artificial neural networks analysis,” *Global Journal of Scientific and Research Publications (GJSRP)*, Volume 1, Issue 12, pp. 1-3, 2021.