

UNIVERSITÉ TOULOUSE III – PAUL SABATIER
FACULTÉ DE SANTÉ

ANNÉE 2024

2024 TOU3 1505

THÈSE

POUR LE DIPLÔME D'ÉTAT DE DOCTEUR EN MÉDECINE
MÉDECINE SPÉCIALISÉE CLINIQUE

Présentée et soutenue publiquement

par

Philippe CALAZEL

le 09 février 2024

**EMBOISATION DES MALFORMATIONS ARTERIO-VEINEUSES
PULMONAIRES : ETUDE RETROSPECTIVE MONOCENTRIQUE
AVEC
EVALUATION DU RECRUTEMENT ARTERIEL SYSTEMIQUE**

Directeur de thèse : Dr Fatima MOKRANE

JURY

Monsieur le Professeur Laurent ALRIC

Président

Madame le Professeur Fatima MOKRANE

Assesseur

Monsieur le Docteur Pierre MAREK

Assesseur

Monsieur le Docteur Guilhem TONNERRE

Assesseur



Département Médecine, Maïeutique et Paramédical
Tableau du personnel hospitalo-universitaire de médecine
2022-2023

Professeurs Honoraires

Doyen Honoraire	M. CHAP Hugues	Professeur Honoraire	Mme GENESTAL Michèle
Doyen Honoraire	M. GUIRAUD-CHAUMEIL Bernard	Professeur Honoraire	M. GERAUD Gilles
Doyen Honoraire	M. PUEL Pierre	Professeur Honoraire	M. GHISOLFI Jacques
Doyen Honoraire	M. ROUGE Daniel	Professeur Honoraire	M. GLOCK Yves
Doyen Honoraire	M. VINEL Jean-Pierre	Professeur Honoraire	M. GOUZI Jean-Louis
Professeur Honoraire	M. ABBAL Michel	Professeur Honoraire	M. GRAND Alain
Professeur Honoraire	M. ADER Jean-Louis	Professeur Honoraire	M. HOFF Jean
Professeur Honoraire	M. ADOUE Daniel	Professeur Honoraire	M. JOFFRE Francis
Professeur Honoraire	M. ARBUS Louis	Professeur Honoraire	M. LAGARRIGUE Jacques
Professeur Honoraire	M. ARLET Philippe	Professeur Honoraire	M. LANG Thierry
Professeur Honoraire	M. ARLET-SUAU Elisabeth	Professeur Honoraire	Mme LARENG Marie-Blanche
Professeur Honoraire	M. ARNE Jean-Louis	Professeur Honoraire	M. LAROCHE Michel
Professeur Honoraire	M. ATTAL Michel	Professeur Honoraire	M. LAUQUE Dominique
Professeur Honoraire	M. BARRET André	Professeur Honoraire	M. LAURENT Guy
Professeur Honoraire	M. BARTHE Philippe	Professeur Honoraire	M. LAZORTHES Franck
Professeur Honoraire	M. BAYARD Francis	Professeur Honoraire	M. LEOPHONTE Paul
Professeur Honoraire	M. BLANCHER Antoine	Professeur Honoraire	M. MAGNAVAL Jean-François
Professeur Honoraire	M. BOCCALON Henri	Professeur Honoraire	M. MALECAZE François
Professeur Honoraire	M. BONAFÉ Jean-Louis	Professeur Honoraire	M. MANELFE Claude
Professeur Honoraire	M. BONEU Bernard	Professeur Honoraire	M. MANSAT Michel
Professeur Honoraire	M. BONNEVIALLE Paul	Professeur Honoraire	M. MARCHOU Bruno
Professeur Honoraire	M. BOSSAVY Jean-Pierre	Professeur Honoraire	M. MASSIP Patrice
Professeur Honoraire	M. BOUNHOURE Jean-Paul	Professeur Honoraire	Mme MARTY Nicole
Professeur Honoraire	M. BOUTAULT Franck	Professeur Honoraire	M. MAZIERES Bernard
Professeur Honoraire Associé	M. BROS Bernard	Professeur Honoraire	M. MONROZIES Xavier
Professeur Honoraire	M. BUGAT Roland	Professeur Honoraire	M. MONTASTRUC Jean-Louis
Professeur Honoraire	M. BUJAN Louis	Professeur Honoraire	M. MOSCOVICI Jacques
Professeur Honoraire	M. CAHUZAC Jean-Philippe	Professeur Honoraire	M. MURAT
Professeur Honoraire	M. CALVAS Patrick	Professeur Honoraire associé	M. NICODEME Robert
Professeur Honoraire	M. CARATERO Claude	Professeur Honoraire	M. OLIVES Jean-Pierre
Professeur Honoraire	M. CARLES Pierre	Professeur Honoraire	M. PARINAUD Jean
Professeur Honoraire	M. CARON Philippe	Professeur Honoraire	M. PASCAL Jean-Pierre
Professeur Honoraire	M. CARRIERE Jean-Paul	Professeur Honoraire	M. PERRET Bertrand
Professeur Honoraire	M. CARTON Michel	Professeur Honoraire	M. PESSEY Jean-Jacques
Professeur Honoraire	M. CATHALA Bernard	Professeur Honoraire	M. PLANTE Pierre
Professeur Honoraire	M. CHABANON Gérard	Professeur Honoraire	M. PONTONNIER Georges
Professeur Honoraire	M. CHAMONTIN Bernard	Professeur Honoraire	M. POURRAT Jacques
Professeur Honoraire	M. CHAVOIN Jean-Pierre	Professeur Honoraire	M. PRADERE Bernard
Professeur Honoraire	M. CHIRON Philippe	Professeur Honoraire	M. PRIS Jacques
Professeur Honoraire	M. CLANET Michel	Professeur Honoraire	Mme PUEL Jacqueline
Professeur Honoraire	M. CONTE Jean	Professeur Honoraire	M. PUJOL Michel
Professeur Honoraire	M. COSTAGLIOLA Michel	Professeur Honoraire	M. QUERLEU Denis
Professeur Honoraire	M. COTONAT Jean	Professeur Honoraire	M. RAILHAC Jean-Jacques
Professeur Honoraire	M. DABERNAT Henri	Professeur Honoraire	M. REGNIER Claude
Professeur Honoraire	M. DAHAN Marcel	Professeur Honoraire	M. REME Jean-Michel
Professeur Honoraire	M. DALOUS Antoine	Professeur Honoraire	M. RISCHMANN Pascal
Professeur Honoraire	M. DALY-SCHVEITZER Nicolas	Professeur Honoraire	M. RIVIERE Daniel
Professeur Honoraire	M. DAVID Jean-Frédéric	Professeur Honoraire	M. ROCHE Henri
Professeur Honoraire	M. DELSOL Georges	Professeur Honoraire	M. ROCHICCIOLI Pierre
Professeur Honoraire	Mme DELISLE Marie-Bernadette	Professeur Honoraire	M. ROLLAND Michel
Professeur Honoraire	Mme DIDIER Jacqueline	Professeur Honoraire	M. ROQUES-LATRILLE Christian
Professeur Honoraire	M. DUCOS Jean	Professeur Honoraire	M. RUMEAU Jean-Louis
Professeur Honoraire	M. DUFFAUT Michel	Professeur Honoraire	M. SALVADOR Michel
Professeur Honoraire	M. DUPRE M.	Professeur Honoraire	M. SALVAYRE Robert
Professeur Honoraire	M. DURAND Dominique	Professeur Honoraire	M. SARRAMON Jean-Pierre
Professeur Honoraire associé	M. DUTAU Guy	Professeur Honoraire	M. SCHMITT Laurent
Professeur Honoraire	M. ESCOURROU Jean	Professeur Honoraire	M. SERRE Guy
Professeur Honoraire	M. ESQUERRE Jean-Paul	Professeur Honoraire	M. SIMON Jacques
Professeur Honoraire	M. FABIÉ Michel	Professeur Honoraire	M. SUC Jean-Michel
Professeur Honoraire	M. FABRE Jean	Professeur Honoraire	M. THOUVENOT Jean-Paul
Professeur Honoraire	M. FOURNIAL Gérard	Professeur Honoraire	M. TREMOULET Michel
Professeur Honoraire	M. FOURNIE Bernard	Professeur Honoraire	M. VALDIGUIE Pierre
Professeur Honoraire	M. FORTANIER Gilles	Professeur Honoraire	M. VAYSSE Philippe
Professeur Honoraire	M. FRAYSSE Bernard	Professeur Honoraire	M. VIRENQUE Christian
Professeur Honoraire	M. FREXINOS Jacques	Professeur Honoraire	M. VOIGT Jean-Jacques

Professeurs Emérites

Professeur BUJAN Louis	Professeur MAGNAVAL Jean-François	Professeur VINEL Jean-Pierre
Professeur CHAP Hugues	Professeur MARCHOU Bruno	
Professeur FRAYSSE Bernard	Professeur MONTASTRUC Jean-Louis	
Professeur LANG Thierry	Professeur PERRET Bertrand	
Professeur LAROCHE Michel	Professeur ROQUES LATRILLE Christian	
Professeur LAUQUE Dominique	Professeur SERRE Guy	

P.U. - P.H.
Classe Exceptionnelle et 1ère classe

M. ACAR Philippe	Pédiatrie	M. LARRUE Vincent	Neurologie
M. ACCADBLED Franck (C.E)	Chirurgie Infantile	M. LAUQUE Dominique (C.E)	Médecine d'Urgence
M. ALRIC Laurent (C.E)	Médecine Interne	Mme LAURENT Camille	Anatomie Pathologique
M. AMAR Jacques (C.E)	Thérapeutique	M. LAUWERS Frédéric	Chirurgie maxillo-faciale
Mme ANDRIEU Sandrine	Epidémiologie, Santé publique	M. LE CAIGNEC Cédric	Génétiq
M. ARBUS Christophe	Psychiatrie	M. LEVADE Thierry (C.E)	Biochimie
M. ARNAL Jean-François (C.E)	Physiologie	M. LIBLAU Roland (C.E)	Immunologie
M. AUSSEIL Jérôme	Biochimie et biologie moléculaire	M. MALVAUD Bernard (C.E)	Urologie
M. AVET-LOISEAU Hervé (C.E)	Hématologie, transfusion	M. MANSAT Pierre (C.E)	Chirurgie Orthopédique
M. BERRY Antoine	Parasitologie	M. MARCHEIX Bertrand	
Mme BERRY Isabelle (C.E)	Biophysique	M. MARQUE Philippe (C.E)	Médecine Physique et Réadaptation
M. BIRMES Philippe	Psychiatrie	M. MAS Emmanuel	Pédiatrie
M. BONNEVILLE Nicolas	Chirurgie orthopédique et traumatologique	M. MAURY Jean-Philippe (C.E)	Cardiologie
M. BONNEVILLE Fabrice	Radiologie	Mme MAZEREEUW Juliette	Dermatologie
M. BROUCHET Laurent	Chirurgie thoracique et cardio-vascul	M. MAZIERES Julien (C.E)	Pneumologie
M. BROUSSET Pierre (C.E)	Anatomie pathologique	M. MINVILLE Vincent	Anesthésiologie Réanimation
Mme BURA-RIVIERE Alessandra (C.E)	Médecine Vasculaire	M. MOLINIER Laurent (C.E)	Epidémiologie, Santé Publique
M. BUREAU Christophe	Hépto-Gastro-Entérologie	Mme MOYAL Elisabeth (C.E)	Cancérologie
M. BUSCAIL Louis (C.E)	Hépto-Gastro-Entérologie	M. MUSCARI Fabrice	Chirurgie Digestive
M. CANTAGREL Alain (C.E)	Rhumatologie	Mme NOURHASHEMI Fatemeh (C.E)	Gériatrie
M. CARRERE Nicolas	Chirurgie Générale	M. OLIVOT Jean-Marc	Neurologie
M. CARRIE Didier (C.E)	Cardiologie	M. OSWALD Eric (C.E)	Bactériologie-Virologie
M. CHAIX Yves	Pédiatrie	M. PAGES Jean-Christophe	Biologie cellulaire
Mme CHANTALAT Elodie	Anatomie	M. PARIENTE Jérémie	Neurologie
Mme CHARPENTIER Sandrine (C.E)	Médecine d'urgence	M. PAUL Carle (C.E)	Dermatologie
M. CHAUFOUR Xavier	Chirurgie Vasculaire	M. PAYOUX Pierre (C.E)	Biophysique
M. CHAUVEAU Dominique	Néphrologie	M. PAYRASTRE Bernard (C.E)	Hématologie
M. CHAYNES Patrick	Anatomie	M. PERON Jean-Marie (C.E)	Hépto-Gastro-Entérologie
M. CHOLLET François (C.E)	Neurologie	Mme PERROT Aurore	Physiologie
M. CONSTANTIN Arnaud	Rhumatologie	M. RASCOL Olivier (C.E)	Pharmacologie
M. COURBON Frédéric (C.E)	Biophysique	Mme RAUZY Odile	Médecine Interne
Mme COURTADE SAIDI Monique (C.E)	Histologie Embryologie	M. RAYNAUD Jean-Philippe (C.E)	Psychiatrie Infantile
M. DAMBRIN Camille	Chir. Thoracique et Cardiovasculaire	M. RECHER Christian(C.E)	Hématologie
M. DE BOISSEZON Xavier	Médecine Physique et Réadapt Fonct.	M. RITZ Patrick (C.E)	Nutrition
M. DEGUINE Olivier (C.E)	Oto-rhino-laryngologie	M. ROLLAND Yves (C.E)	Gériatrie
M. DELABESSE Eric	Hématologie	M. RONCALLI Jérôme	Cardiologie
M. DELOBEL Pierre	Maladies Infectieuses	M. ROUSSEAU Hervé (C.E)	Radiologie
M. DELORD Jean-Pierre (C.E)	Cancérologie	M. ROUX Franck-Emmanuel	Neurochirurgie
M. DIDIER Alain (C.E)	Pneumologie	M. SAILLER Laurent (C.E)	Médecine Interne
M. DUCOMMUN Bernard	Cancérologie	M. SALES DE GAUZY Jérôme (C.E)	Chirurgie Infantile
Mme DULY-BOUHANICK Béatrice (C.E)	Thérapeutique	M. SALLES Jean-Pierre (C.E)	Pédiatrie
M. ELBAZ Meyer	Cardiologie	M. SANS Nicolas	Radiologie
Mme EVRARD Solène	Histologie, embryologie et cytologie	Mme SELVES Janick (C.E)	Anatomie et cytologie pathologiques
M. FERRIERES Jean (C.E)	Epidémiologie, Santé Publique	M. SENARD Jean-Michel (C.E)	Pharmacologie
M. FOURCADE Olivier (C.E)	Anesthésiologie	M. SERRANO Elie (C.E)	Oto-rhino-laryngologie
M. FOURNIÉ Pierre	Ophthalmologie	M. SIZUN Jacques (C.E)	Pédiatrie
M. GALINIER Michel (C.E)	Cardiologie	M. SOL Jean-Christophe	Neurochirurgie
M. GAME Xavier (C.E)	Urologie	M. SOLER Vincent	Ophthalmologie
Mme GARDETTE Virginie	Epidémiologie, Santé publique	Mme SOTO-MARTIN Maria-Eugénia	Gériatrie et biologie du vieillissement
M. GEERAERTS Thomas	Anesthésiologie et réanimation	M. SOULAT Jean-Marc (C.E)	Médecine du Travail
Mme GOMEZ-BROUCHET Anne-Muriel (C.E)	Anatomie Pathologique	M. SOULIE Michel (C.E)	Urologie
M. GOURDY Pierre (C.E)	Endocrinologie	M. SUC Bertrand	Chirurgie Digestive
M. GROLLEAU RAOUX Jean-Louis (C.E)	Chirurgie plastique	Mme TAUBER Marie-Thérèse (C.E)	Pédiatrie
Mme GUIMBAUD Rosine	Cancérologie	M. TELMON Norbert (C.E)	Médecine Légale
Mme HANAIRE Hélène (C.E)	Endocrinologie	Mme TREMOLLIERES Florence	Biologie du développement
M. HUYGHE Eric	Urologie	Mme URO-COSTE Emmanuelle (C.E)	Anatomie Pathologique
M. IZOPET Jacques (C.E)	Bactériologie-Virologie	M. VAYSSIERE Christophe (C.E)	Gynécologie Obstétrique
M. KAMAR Nassim (C.E)	Néphrologie	M. VELLAS Bruno (C.E)	Gériatrie
Mme LAMANT Laurence (C.E)	Anatomie Pathologique	M. VERGEZ Sébastien	Oto-rhino-laryngologie
M. LANGIN Dominique (C.E)	Nutrition		
Mme LAPRIE Anne	Radiothérapie		

P.U. Médecine générale

Mme DUPOUY Julie
M. OUSTRIC Stéphane (C.E)
Mme ROUGE-BUGAT Marie-Eve

P.U. - P.H.
2ème classe

Professeurs Associés

M. ABBO Olivier	Chirurgie infantile
Mme BONGARD Vanina	Epidémiologie, Santé publique
M. BOUNES Vincent	Médecine d'urgence
Mme BOURNET Barbara	Gastro-entérologie
Mme CASPER Charlotte	Pédiatrie
M. CAVAINAC Etienne	Chirurgie orthopédique et traumatologie
M. CHAPUT Benoit	Chirurgie plastique
M. COGNARD Christophe	Radiologie
Mme CORRE Jill	Hématologie
Mme DALENC Florence	Cancérologie
M. DE BONNECAZE Guillaume	Anatomie
M. DECRAMER Stéphane	Pédiatrie
Mme DUPRET-BORIES Agnès	Oto-rhino-laryngologie
M. EDOUARD Thomas	Pédiatrie
M. FAGUER Stanislas	Néphrologie
Mme FARUCH BILFELD Marie	Radiologie et imagerie médicale
M. FRANCHITTO Nicolas	Addictologie
M. GARRIDO-STÖWHAS Ignacio	Chirurgie Plastique
Mme GASCOIN Géraldine	Pédiatrie
M. GUIBERT Nicolas	Pneumologie
M. GUILLEMINAULT Laurent	Pneumologie
M. HERIN Fabrice	Médecine et santé au travail
M. LAIREZ Olivier	Biophysique et médecine nucléaire
M. LEANDRI Roger	Biologie du dével. et de la reproduction
M. LOPEZ Raphael	Anatomie
M. MARTIN-BLONDEL Guillaume	Maladies infectieuses, maladies tropicales
Mme MARTINEZ Alejandra	Gynécologie
M. MARX Mathieu	Oto-rhino-laryngologie
M. MEYER Nicolas	Dermatologie
Mme MOKRANE Fatima	Radiologie et imagerie médicale
Mme PASQUET Marlène	Pédiatrie
M. PIAU Antoine	Médecine interne
M. PORTIER Guillaume	Chirurgie Digestive
M. PUGNET Grégory	Médecine interne
M. REINA Nicolas	Chirurgie orthopédique et traumatologique
M. RENAUDINEAU Yves	Immunologie
Mme RUYSEN-WITRAND Adeline	Rhumatologie
Mme SAVAGNER Frédérique	Biochimie et biologie moléculaire
M. SAVALL Frédéric	Médecine légale
M. SILVA SIFONTES Stein	Réanimation
Mme SOMMET Agnès	Pharmacologie
M. TACK Ivan	Physiologie
Mme VAYSSE Charlotte	Cancérologie
Mme VEZZOSI Delphine	Endocrinologie
M. YRONDI Antoine	Psychiatrie
M. YSEBAERT Loic	Hématologie

Professeur Associé de Médecine Générale

M. ABITTEBOUL Yves
M. BIREBENT Jordan
M. BOYER Pierre
Mme FREYENS Anne
Mme IRI-DELAHAYE Motoko
M. POUTRAIN Jean-Christophe
M. STILLMUNKES André

MCU - PH

Mme ABRAVANEL Florence	Bactériologie Virologie Hygiène	Mme GENNERO Isabelle	Biochimie
M. APOIL Pol Andre	Immunologie	Mme GENOUX Annelise	Biochimie et biologie moléculaire
Mme ARNAUD Catherine	Epidémiologie	Mme GRARE Marion	Bactériologie Virologie Hygiène
Mme AUSSEIL-TRUDEL Stéphanie	Biochimie	M. GUERBY Paul	Gynécologie-Obstétrique
Mme BASSET Céline	Cytologie et histologie	Mme GUILBEAU-FRUGIER Céline	Anatomie Pathologique
Mme BELLIERES-FABRE Julie	Néphrologie	Mme GUYONNET Sophie	Nutrition
Mme BERTOLI Sarah	Hématologie, transfusion	M. HAMDJ Safouane	Biochimie
M. BIETH Eric	Génétique	Mme HITZEL Anne	Biophysique
Mme BOUNES Fanny	Anesthésie-Réanimation	M. IRIART Xavier	Parasitologie et mycologie
Mme BREHIN Camille	Pneumologie	Mme JONCA Nathalie	Biologie cellulaire
M. BUSCAIL Etienne	Chirurgie viscérale et digestive	M. LAPEBIE François-Xavier	Chirurgie vasculaire
Mme CAMARE Caroline	Biochimie et biologie moléculaire	Mme LAPEYRE-MESTRE Maryse	Pharmacologie
Mme CANTERO Anne-Valérie	Biochimie	M. LEPAGE Benoit	
Mme CARFAGNA Luana	Pédiatrie	M. LHERMUSIER Thibault	Cardiologie
Mme CASPAR BAUGUIL Sylvie	Nutrition	M. LHOMME Sébastien	Bactériologie-virologie
Mme CASSAGNE Myriam	Ophtalmologie	Mme MASSIP Clémence	Bactériologie-virologie
Mme CASSAING Sophie	Parasitologie	Mme MAUPAS SCHWALM Françoise	Biochimie
Mme CASSOL Emmanuelle	Biophysique	Mme MONTASTIER Emilie	Nutrition
M. CHASSAING Nicolas	Génétique	M. MONTASTRUC François	Pharmacologie
M. CLAVEL Cyril	Biologie Cellulaire	Mme MOREAU Jessika	Biologie du dév. Et de la reproduction
Mme COLOMBAT Magali	Anatomie et cytologie pathologiques	Mme MOREAU Marion	Physiologie
M. COMONT Thibault	Médecine interne	M. MOULIS Guillaume	Médecine interne
M. CONGY Nicolas	Immunologie	Mme NOGUEIRA Maria Léonor	Biologie Cellulaire
Mme COURBON Christine	Pharmacologie	Mme PERICART Sarah	Anatomie et cytologie pathologiques
M. CUROT Jonathan	Neurologie	M. PILLARD Fabien	Physiologie
Mme DAMASE Christine	Pharmacologie	Mme PLAISANCIE Julie	Génétique
Mme DE GLISEZINSKY Isabelle	Physiologie	Mme PUISSANT Bénédicte	Immunologie
M. DEDOUIT Fabrice	Médecine Légale	Mme QUELVEN Isabelle	Biophysique et médecine nucléaire
M. DEGBOE Yannick	Rhumatologie	Mme RAYMOND Stéphanie	Bactériologie Virologie Hygiène
M. DELMAS Clément	Cardiologie	M. REVET Alexis	Pédo-psychiatrie
M. DELPLA Pierre-André	Médecine Légale	Mme RIBES-MAUREL Agnès	Hématologie
M. DESPAS Fabien	Pharmacologie	Mme SABOURDY Frédérique	Biochimie
M. DUBOIS Damien	Bactériologie Virologie Hygiène	Mme SALLES Juliette	Psychiatrie adultes/Addictologie
Mme ESQUIROL Yolande	Médecine du travail	Mme SAUNE Karine	Bactériologie Virologie
Mme FILLAUX Judith	Parasitologie	Mme SIEGFRIED Aurore	Anatomie et cytologie pathologiques
Mme FLOCH Pauline	Bactériologie-Virologie	M. TREINER Emmanuel	Immunologie
Mme GALINIER Anne	Nutrition	Mme VALLET Marion	Physiologie
M. GANTET Pierre	Biophysique	M. VERGEZ François	Hématologie
M. GASQ David	Physiologie	Mme VIJA Lavinia	Biophysique et médecine nucléaire
M. GATIMEL Nicolas	Médecine de la reproduction		

M.C.U. Médecine générale

M. BRILLAC Thierry
M. CHICOULAA Bruno
M. ESCOURROU Emile

Maîtres de Conférence Associés

M.C.A. Médecine Générale

Mme BOURGEOIS Odile
Mme BOUSSIER Nathalie
Mme DURRIEU Florence
M. GACHIES Hervé
Mme LATROUS Leila
M. PIPONNIER David
Mme PUECH Marielle

REMERCIEMENTS

Aux membres du jury

A Monsieur le Professeur Laurent ALRIC. Je vous suis très reconnaissant de présider ce jury. Je n'ai pas eu l'honneur de travailler directement avec vous, mais votre expertise dans la maladie de Rendu-Osler m'a été d'une aide précieuse pour la collecte de données dans l'élaboration de ce travail. Soyez assuré de mon plus grand respect.

A Madame la Professeur Fatima MOKRANE. Je te remercie en tant que directrice pour le soutien et les conseils apportés tout au long de ce travail qui aura mis plusieurs années à se concrétiser. Merci pour l'enseignement que tu m'as prodigué lors de mes passages à Rangueil. Je souhaite le meilleur à toi et à ta famille.

A Monsieur le Docteur Pierre MAREK. Je te remercie d'avoir accepté de siéger à ce jury, toi qui es si impliqué à insuffler de l'énergie à ce beau service de la colline rangueilloise. Tu as su pardonner mes excès de zèle lorsque j'étais jeune interne, et je t'en suis reconnaissant. Je te souhaite le meilleur pour ta carrière comme sur le plan personnel.

A Monsieur le Docteur Guilhem TONNERRE. Je te remercie d'avoir accepté de siéger à ce jury. Je me rappelle encore nos débuts en tant qu'internes, lorsque tu étais premier semestre et moi troisième, et que j'essayais vaguement de t'expliquer les rudiments de notre métier. Aujourd'hui, l'élève a dépassé le maître et ça me fait profondément plaisir de t'avoir à mes côtés pour ce jour important.

A mes maîtres, chefs de clinique et assistants, et collègues de travail

A Mme Bonneric, aux Dr Jeanne-Nicole Tsogou, Dr Pierre Fajadet, Dr Florence Varlais-Rouge, Dr Sandy Oeng et toute l'équipe de Montauban : je vous remercie pour l'enseignement et moments partagés lors de ces deux passages en Tarn-et-Garonne, en tout début et toute fin d'internat.

Au Pr Jean-Jacques Railhac, je vous remercie pour ces précieuses vacances du jeudi matin, ces petits cours et ce livre dédié.

Aux Dr Richard Aziza, Dr Bérénice Boulet, Dr Pierre Cantet, Dr Anne Demeulenaere, Dr Cathy Llanas, Dr Bogdan Vierasu et toute l'équipe de l'IUCT : je vous remercie pour l'enseignement et moments partagés en oncologie et sénologie.

Au Dr Franklin Gallo, c'était un plaisir de t'avoir comme chef à l'Oncopole, avec nos centres d'intérêt commun. Tu as eu la patience de me faire faire mes premiers gestes interventionnels.

Au Pr Nicolas Sans, au Pr Marie Faruch, aux Dr Hélène Chiavassa, Dr Franck Lapègue, Dr Hubert Bassellerie, Dr Marine Brunet, Dr Olivia Constans, Dr Louise Destombes, Dr Claire Ricard, Dr Florence Nougariolis et toute l'équipe de PPR : je vous remercie pour l'enseignement et moments partagés en ostéo-articulaire.

Au Pr Hervé Rousseau, aux Dr Samia Collot, Dr Marie-Charlotte Delchier, Dr Séverine Lagarde, Dr Charline Zadro, Dr François Asius, Dr Baptiste Molinier, Dr Nicolas Jubert, Dr Noé Roussel, Dr Olivier Meyrignac et toute l'équipe de Ranguel: je vous remercie pour l'enseignement et moments partagés dans le service de Ranguel.

Au Dr Philippe Otal, pour tout ce que tu as fait et continues de faire pour tes internes : tu dirais que ce n'est que la part du colibri, mais nous t'en sommes tous tant reconnaissants.

Aux Dr Sophie Combelles, Dr Julie Vial, Dr Sophie Simon, Dr Léa Gauthier, et toute l'équipe de pédiatrie : je vous remercie pour l'enseignement et moments partagés à l'Hôpital des Enfants.

Au Pr Fabrice Bonneville, je te remercie pour ton soutien et encadrement pendant cet internat, et cette passion avec laquelle tu enseignes des cas toujours plus fascinants. Sois assuré de ma plus grande reconnaissance.

Au Pr Christophe Cognard, aux Dr Annick Sevely, Dr Philippe Tall, Dr Sofia Patsoura, Dr Jean Darcourt, Dr Margaux Roques, Dr Isabelle Catalaa, Dr Philippe Tall, Dr Guillaume Bellanger, Dr Marc Denève et toute l'équipe de neuroradiologie : je vous remercie pour l'enseignement et moments partagés en neuroradiologie.

Aux Dr Cristian Livideanu, Dr Anne-Laure Dulaurans, Dr Marisol Rengel, Jean-Christophe Paulo, et toute l'équipe de Joseph Ducuing: je vous remercie pour ce semestre que j'ai grandement apprécié, avec le fameux casse-croûte du vendredi matin.

Au Pr Brousset et à toute l'équipe d'anatomo-pathologie de l'IUCT : je vous remercie pour ce semestre hors filière passionnant où j'ai pu confronter l'imagerie avec la macro et microscopie.

A mes co-internes

Ma promo #2016

A **Narimène**, copine depuis l'externat, toujours gentille et disponible, tu m'as été d'une aide précieuse pour les statistiques ; à **Constance**, également une ancienne de la promo F&F, ton humour pince-sans-rire fait mouche à chaque fois ; à **Aris**, grand cru du Limousin, pas le dernier pour la déconne, ce serait une joie de reboire des pintes avec toi ; à **Manu**, aussi haut que cool, de sacrés moments à la Grande Motte (heureusement que tu ne m'a pas aplati à cette Fête de la Musique, même si je le méritais) ; à **Samantha**, pour ta bonne humeur de tous les instants ; à **Julien**, toujours énergique, parti vers d'autres contrées dans le pays basque ; à **Sarah**, tout en douceur, qui sait tout sans le dire ; à **Antoine**, pour nos discussions philosophiques en rentrant de soirée à Paris ; et **Harold**, il me semble que nous sommes de la même année ; alors à ces saucissons réceptionnés en garde pendant le confinement, et ces parties de Mario Kart lors de ton retour en métropole.

La promo du cœur

A **Rayan**, avec qui j'entretiens une relation épistolaire à base de conseils juridiques et vidéoludiques. Mon meilleur conseil si tu veux faire des économies serait de réduire la fréquence de ces voyages au Japon. A **Elorie**, je n'en connais pas deux comme toi, et c'est un compliment ; à **Thomas**, pour ce stage légendaire à Ducuing à écouter Michel Sardou et faire des hystéros ; à **Thibault** pour ce stage en pédiatrie où tu m'as (presque) tout appris du baby-foot ; à **Axel**, détenteur du plus haut score aux évaluations de Ph. Otal ; à **Arthur**, radiologue atypique mais de qualité, reparti dans les îles ; à **Carole**, tu maîtrises les fonds marins comme pas deux, véritable sirène ; à **Jeff**, un concentré de bonne humeur.

Les aînés

A **Alex**, tout récemment parti en dispo, tu aurais fait partie de ce jury si je n'avais pas mis une demi-décade à rédiger cette thèse. Et, bien sûr, à *cette relève de garde...*

A **Gilles et Charlotte**, amis de ma sœur et donc mes amis avant d'être mes chefs ; à **Magali**, on se suit depuis la P2, on en aura vécu des choses ; à **Paul**, imitateur hors pair responsable de fous-rires en vacation de scanner, et d'un grand soutien, je te souhaite le meilleur ; à **Florent**, mon ultime chef de Montauban, je serais honoré de faire un tour de vélo avec toi à l'occasion ; à **Romain**, ton savoir quasi-encyclopédique est une bénédiction pour les radiologues occitans ; à **Julien D.**, beau gosse comme on n'en fait plus ; à **Estelle**, tu me dépassais en vélo sur le chemin de la Salade Ponsan direction Ranguel ; à **Vava**, pour ton énergie, tes cours de gynéco dont je me sers encore, et avoir pardonné une sortie de route ; à **Rafy, Chloé, Céline, Marion, Lucile, Simon, Maxence, Delphine, Djaïda, Morwenn, Etienne, Thomas, Carole et tous les autres.**

Les benjamins

A **Théo**, team NR-confinement, photoshoppeur hors-pair, cela fait un bail qu'on ne s'est pas fait un restaurant de qualité ; à **Julie, miss Loiseau**, rencontrée piou-piou sur la péniche des JFR, tu as gravi les échelons sans jamais perdre de ta répartie ; à **Gildas**, et nos parties de baby-foot au Petit Voisin ; à **Tam**, maître des Lois de la Robotique et grimpeur de sommets émérite ; à **Paoulouis, Hamza & Hamza, Rokia, Kevin, Seb, Julien A., Johan et tous les autres.**

A **tous les anatomopathologistes** qui m'ont fait passer 3 mois si sympathiques : **Lisa, Guillaume, Claire, Anna, et tous les autres.**

A ma famille

A mes parents. Maman, tu m'as donné plus d'amour qu'un homme en aurait besoin dans une vie entière ; et **Papa**, à ta manière si particulière qui se passe de mots ; je ne vous remercierai jamais assez pour m'avoir soutenu contre vents et marées, et j'aimerais pouvoir vous le rendre ne serait-ce qu'au centième. Je vous aime profondément.

A ma sœur, Clémentine. Tu as guidé mes pas dans ma carrière professionnelle : même classement en P1, même spécialité, pour finalement t'avoir en tant que mentor lors de ce dernier stage à Montauban. Mais surtout, je te remercie pour l'enfance merveilleuse que nous avons passée, je me serais bien ennuyé sans toi (et nos quelques chamailleries), et la vie d'adulte qui a suivi où tu as toujours été là pour moi. Je t'aime profondément.

A mes neveux :

Joseph, qui a vite troqué son sobriquet initial de Youssef pour devenir Jojo le patron. C'est toujours un plaisir d'aller « bourriner » avec toi, de t'assister sur les chantiers, de jouer à Zelda (sans le dire à papa bien sûr). J'ai hâte de te voir grandir et de voir le beau gosse que tu vas devenir.

Baptiste, dit Batoche, le petit deuxième, déjà plus gros que son frère et infiniment plus sage. Tu ne vas pas tarder à marcher tout seul, je me marre déjà en avance en imaginant le bazar que ce sera à Saint-Girons quand tu te mettras à faire les quatre cent coups avec le Joe. Je vous aime mes petits.

A mes grands-parents :

Api, tu es peut-être l'homme à la vie la plus dense que je connaisse ; une légende vivante. Tu m'as bercé de tes histoires incroyables, tu es une source d'inspiration de tous les instants. Je ne suis peut-être pas devenu le pêcheur dont tu rêvais mais j'espère te rendre fier en ce jour. Je t'aime.

Maya, je ne peux t'imaginer ailleurs qu'aux plus hautes strates du paradis ; peu de personnes ont en eux cette bonté d'âme limpide, et autant d'amour à distribuer. Tu es grandement responsable de l'enfance heureuse que j'ai vécue, toujours le ventre plein. Tu nous manques.

Minou, tu as su fonder et gérer une famille prolifique sur les coteaux de Mervilla. J'ai toujours chaud au cœur en repensant à ces Noël, ces dimanche après-midi autour d'un thé avec toi. Ton départ a créé un vide que nous ressentons tous.

Pierre, parti bien avant ma naissance, Professeur émérite de cardiologie ; tu as pavé la voie à tes descendants et je regrette de ne pas t'avoir connu.

A mon beau-frère, Félix. Rapatrié par ma sœur dans la campagne du Couserans, tu as su exploiter au mieux cet environnement en devenant cycliste émérite. Tu m'as transmis cette passion, et me permets à l'occasion d'exploser mes piètres records en restant dans ta roue pendant des heures. Tu as donné à Tonton deux merveilleux petits neveux, tu fais partie intégrante de la famille et je suis heureux de t'avoir comme beau-frère et ami.

A mes oncles et tantes

Côté papa :

A **Catherine**, ma marraine, tellement marrante, mes amis qui t'ont côtoyée en diabétologie n'ont dit que du bien de toi. J'espère que tes chevaux vont bien ; & à **Christian**, scientifique hors pair ; merci à vous pour tous ces bons souvenirs d'enfance dans « la ferme ».

A **Dominique**, j'interprète souvent des IRM que tu as prescrites, j'espère ne pas raconter trop de bêtises ; & à **Christine**, merci pour tous ces bons moments passés chez vous et dans votre piscine.

A **Françoise**, pour t'être occupé de moi, tous ces dimanche midi où tu m'as sustenté, et ces vacances fabuleuses au ski ; & à **Jean-François**, pour les mots d'esprit et discussions philosophiques (mais pas que) que nous avons eus autour d'un peu (ou beaucoup) de vin, et tes conseils juridiques à l'occasion.

A **Maryvonne**, pour ces belles vacances à Sainte-Maxime, Paris, et ces Noël's chaleureux et arrosés qu'on perpétue.

A **Philippe**, pour ton soutien, m'avoir accueilli dans la plus belle maison de Formentera, et cette fameuse balade en « rafting » entre octogénaires à Saint-Jean de Luz.

Côté maman :

A **Bertrand**, le Godfather, pour ces parties de padel endiablées, ces séjours à Roland-Garros, et dernièrement cette sortie VTT tout en punch ; & à **Marion**, pour m'avoir donné le gîte et le couvert tant de fois chez toi, alors que nous étions des marmots turbulents.

A **Frédéric**, pour m'avoir accueilli dans l'ancienne maison hossegorienne, et ta performance à la Casartelli au début des années 2000.

A **Paul**, tu sembles encore plus en forme que ton frère, j'espère avoir hérité de vos gènes Benqué spécifiques « longévité » ; & à **Constance** que je ne vois hélas que trop rarement.

A mes multiples cousins

Côté papa :

A **Pierre**, autoproclamé **Kratchoc** pour un surnom qui te poursuivra toute ta vie. C'est pas bien simple de trouver les mots pour décrire tout ce que tu m'as apporté, ça pourrait faire dix pages et ça me rendrait les yeux tout humides, alors je vais me contenter du classique mais on ne peut plus sincère « You're my brother, Arthur ». A True Legend.

A **Pierre-Elliott**, l'homme aux multiples casquettes, ancien champion de Tektonik, fournisseur officiel de *reels*, devenu récemment maître dronier et auteur d'un plan-séquence mémorable lors d'un départ en bateau. On ne mentionnera pas le Luna Park et on préférera se rappeler de Bon Jovi.

A **Alexandre**, partenaire tennistique et de Bomberman, le plus grand joueur de Halo de son temps, et pas en reste non plus quand il s'agit de tirer des coups francs ; on en aura passé des bons moments, en Espagne, à Hossegor et à la ferme.

A **Hugo** dit *Ufos* dit *Jagriblazor*, maître de WoW, pour avoir dormi sur un pouf misérable lors d'un week-end entièrement dédié à Brawl, avoir survécu à un terrible accident de voiture au Quai de Tounis, et tous ces moments à rigoler avec ton humour épatant.

A **Caroline**, mère de Velours, partie explorer la Chine, je te souhaite de revenir la tête pleine de souvenirs.

A **Anne-Sophie**, première maman de notre génération, et plutôt deux fois qu'une ; et première mariée ! J'espère que tous nos enfants s'entendront aussi bien que notre cousine.

A **Nicolas**, également papa et marié, il va falloir qu'on s'active pour vous rattraper ! Et penser à faire un descendant mâle, toi ou moi, pour ne pas que la lignée Calazel s'éteigne ;-) Profitez bien du ski.

A **Adrien, Paloma, Eloïse, Alejandro et Caroline**. Je vous souhaite beaucoup de bonheur en famille.

Côté maman :

A **Martin**. Tu m'as un jour dit que, si nous devions rédiger nos biographies respectives, nous serions les mieux placés pour le faire ; depuis le jour où tu m'as vu à la maternité, à l'agenda l'Équipe sur lequel nous avons fait virevolter notre plume, jusqu'à ce séjour récent à la montagne pour souffler tes 32èmes bougies, je ne peux que confirmer cette assertion. Et il reste encore beaucoup de pages à écrire.

A **Pierre**. Toujours sur la même longueur d'ondes, avec tant de moments de franche camaraderie, de beuveries, de discussions sur des sujets aussi divers que One Piece, Isaac Asimov, l'endurance fondamentale et d'autres un peu moins subtils. Mais attends que je sois prêt avant de servir au padel STP. Et à **Emilie**, pour réchauffer la vie de mon cousin, et supporter nos jérémiades.

A **Clément**. Tu m'as sauvé d'un sort funeste à Porto-Vecchio ; ta thèse a généré un premier déclic lorsque j'ai réalisé que j'étais le dernier mécréant non diplômé de la famille ; et ton tacle a concrétisé le tout en me rendant « injouable ». Je te dois tout. Reviens vite à Toulouse.

Tous les trois, pour faire original, vous êtes comme des frères.

A **Marguerite**, toujours partante pour les soirées, j'ai beaucoup apprécié cet été haut en couleurs aux ferias de Bayonne ; j'espère que tout se passe bien à Limoges. Et à **Louis**, j'espère que tu me pardonnes de n'avoir pas adhéré au club taurin. Je te présenterai Clavier un jour.

A **Timothée**, pour ces étés à Saint-Girons à jouer au tennis, à Pokémon, faire des bains de minuits ; je ne les oublierai jamais et les garde chaleureusement au fond de mon cœur. On se voit moins souvent désormais mais ça n'altère en rien l'affection que j'ai pour toi. A quand le Prix Nobel ?

A Lucas et Maxime, j'espère que vous vous portez comme un charme.

A Céleste et Violette, les cousines de Paris, que je vois une fois par décade mais qui n'en restent pas moins de sacrés phénomènes.

A mes copains

Les vieux de la vieille

A Thibault. Que dire qui n'a pas déjà été dit. Entre le discours de ton mariage, les textos d'anniversaire presque aussi longs qu'une thèse de médecine, les discussions sur nos déboires amoureuses en bas de chez moi au lycée, les rages Smash Brosesques... non, j'arrête. Tu es le sang de la veine ET de l'artère (j'espère ne pas te perdre avec ce jargon médical). Love you buddy. Je te pardonne ton absence scandaleuse à cette soutenance.

A Justine, toujours juste (ine ? Que c'est drôle) et gentille, tu m'as accueilli comme un fils au Danemark ; je vous souhaite beaucoup de bonheur pour l'heureux évènement à venir. Il va falloir songer à rentrer au bercail par contre, ça fait beaucoup, beaucoup trop longtemps.

A Guillaume, le loup des steppes, la bête furieuse, qui met un peu trop de sel dans les pâtes ; c'est toujours fascinant de discuter avec toi dans l'ancre de Volcania et de se goinfrer de cochonnaille à l'Emboucaneur. Il faudra faire ce stage intensif de Sm5sh à Paris.

A Hugo-Pierre Becq, bien plus connu en tant que **Keb**. Quand nous étions petits et inséparables dans la cour du primaire, j'étais convaincu que nous étions cousins. Depuis, même sans lien de sang, on a fait une bonne partie du chemin ensemble, et après une courte période de perte de vue, on s'est retrouvés dans un groupe de copains un peu lunaires, pour le meilleur, le pire, et surtout, faire les cons !

A Marine Keb, tu faisais presque office de sœur quand nous étions marmots et gambadions entre Ustou et Hossegor. C'est beau de voir que comme pour Hugo et moi, le temps n'a pas eu d'emprise sur ton amitié avec Clémentine.

A Doudou, qui mesurait déjà 1m80 au primaire ; je me souviens avec peine de notre séparation lors de ce fatal saut de classe en CP. Bien heureusement, le destin nous a réunis à nouveau par la suite, que ce soit au Dick's, sur un kart, une paire de skis, ou tout récemment lors d'une session cycliste mémorable au col de la Core. J'ai hâte de ce grand évènement à célébrer avec **Gaëlle**.

A Nas, le plus grand joueur de Smash Melee et Brawl avant de quelque peu sombrer en fin de carrière ; un des terribles complices du « bourrage de David » qui a failli nous valoir une déscolarisation précoce ; et mon collègue de P1. Je n'oublierai pas ta prestation footballistique mémorable contre l'équipe de St-Girons.

A Mus, inséparable du lascar sus-cité ; nous formions avec Thibault un sacré quatuor en

seconde (à vrai dire vous étiez mes seuls amis) ! Grand dormeur, amateur de chats, fournisseur de chocolats, tu sembles avoir acquis récemment une sagesse indicible.

A Baptiste, qui préfère être appelé **Goubert** : nous n'étions pas vraiment amis au lycée, mais je ne peux que t'inclure dans cette catégorie car tu complètes cette fine équipe qui se retrouve tous les ans pour goinfrer de crocodiles et schtroumpfs en jouant à Drink More Glurp ou tout autre jeu stupide dégotté par le Thibz. Merci pour ce beau week-end à Utrecht, j'ai hâte de notre prochaine aventure et de profiter encore de tes talents de conteur hors-norme.

A Gaspard, le Major, tu étais un de mes meilleurs amis au début de nos études, tu m'as été d'un grand soutien, et je garde chaleureusement en mémoire tous ces bons souvenirs. Je te souhaite le meilleur avec ta famille.

Les amis des bois

A Fred, maître de chantier, architecte, collectionneur de vieilles bagnoles, agent immobilier, touchant à tous les sports de raquette ; tu disposes d'une énergie fabuleuse dont j'aimerais posséder ne serait-ce qu'une petite parcelle. Ton heure de gloire tennistique viendra, ne serait-ce que pour récompenser ta présence à tous les événements festifs, chose dont peu peuvent se targuer (sauf quand il pleut à Gruissan).

A Jessica, **Rrrrrrrroumégoux** (désolé il fallait), solide au baby-foot, moins en *blind test*, mais toujours fun ; et à **Jade**, petit bout de chou au caractère bien trempé.

A Victor, pour tes conseils de psychologue, tes cheveux rouges, ces soirées à l'ICAM, et tout récemment le cambriolage de ta baraque déjoué d'une main de maître mais qui aura valu une absence regrettée le soir de la Saint-Sylvestre.

A Momo, pour deux prestations inoubliables : la première fois où tu nous as été présentée à Gruissan, et au micro sur Céline Dion lors du mariage Bignarède ; et à **Mia**, si mignonne.

A Ben, le prêtre déjanté, pour tes farces, ta foi inébranlable, ta bonne humeur, la clarinette ; et à ma confrère **Valentine** et vos deux petits minots **Faustine** et **Cyrille**.

A Joseph, présenté comme « l'homme qui a fini IWBTG », tu fus un terrible concurrent pour le titre de BFF de notre ami Thib. On se voit peu depuis ton départ à Montpellier, je t'embrasse et ta famille aussi.

Coin-Coin / Grax's Bide / Petit papa Jacques- Homme

A Nicolas, dit **le maître**, au caractère si imprévisible qu'on ne sait jamais à quel *Scorpion* on va être mangé ; quel dommage que tu aies fait ce droit au remords, ça aurait tellement cool de t'avoir comme collègue à l'hôpital ; je te souhaite une grande carrière à Wall Street, et si jamais ça foire, l'ophtalmo c'est quand même pas dégueu.

A Olivier, el famoso **Gourgue** : une ascension sociale à faire pâlir Julien Sorel (bon, tu ne partais pas vraiment de bas), des soirées à profusion à l'orée de notre vingtaine, un voyage à Londres qui semble t'avoir tellement plu que tu as installé tes affaires là-bas. Malgré le temps qui passe, nos retrouvailles font toujours chaud au cœur.

A Arnaud dit La Gontre : pour cet été hossegorien où tu nous as révélé ton plus grand talent ; et tout récemment ces descentes endiablées sur la Luis Arias ; c'est toujours un plaisir de partager ces moments avec toi.

De la P1 à la D4

A Clément dit La jugl'. C'est un constat, les plus belles amitiés se forment souvent autour d'une passion commune, les jeux vidéo en l'occurrence. De Baqueira, Fitou, Munich à Saint-Sébastien, on aura bien baroudé tous les deux. Rentre vite de Limoges, qu'on se fasse des sessions *stash* dignes de ce nom. Et désolé de t'avoir volé le titre de bizuth déguisement, c'est toi qui méritais.

A Anaïs : collègue de ronéos tout pleines de calembours, partenaire cinématographique de choix, pas la dernière pour faire des restos et des soirées ; comment ne pas adhérer totalement ? Que notre amitié perdure à jamais. Et bien joué pour l'anniv surprise.

A Manu, tu as certainement fait le bon choix en changeant de carrière pour nous rejoindre dans ce milieu fou qu'est le médical. Profitez bien à la Réunion, ne te blesse pas en trail, et la bise à **Timothée**.

A Greg : une chose est sûre, je ne me suis pas trompé en te choisissant comme camarade de chambre lors de ce voyage irréel au Vietnam : cela a propulsé vers un niveau supérieur une amitié déjà bien établie, jusqu'à la consécration du G&P's day à Jericoacoara. Tu arrives toujours à me filer un peu de ta sérotonine que tu possèdes en excès, ce qui n'est pas un mince exploit. Et tu cours beaucoup trop vite. Le sang.

Je souhaite à **Apo** tout autant de bonne humeur, et à la belle **Raphaëlle** de l'éduquer dans la plus grande rigueur catholique !

A Olivier : tu m'as dit le dernier soir avant ton départ à la Réunion : « tu es un des meilleurs, de ceux qui manqueront le plus. On s'écrit pas car on sait pas le faire, mais à chaque fois qu'on se retrouvera, on sera juste contents de se voir ». J'ai dû cacher mon émotion sur le moment, je n'aurais pas su dire mieux. Tu as visé juste lorsque, assis côte-à-côte en TD en tant que parfaits inconnus, tu as soudain entonné « Joe la Mouk ». Bisous au **Big G** et sa casquette, et à **Rosalie** : on se comprend sur beaucoup de choses (voir trop de gens c'est *non*).

A Antoine, plus communément appelé **Pegz** : ça a très vite marché entre nous car nous partagions le goût prononcé pour les onomatopées et les phrases sans queue-ni-tête. Tu m'as introduit au groupe des *Fraîcheurs*, on s'est sauvés mutuellement la vie lors d'un WEI en Sibérie qu'on a passé à réciter *Derrick contre Superman*, et on a fait tomber le maillot de Belo par-dessus bord sur l'Amazone. Bravo, champion.

A Mathias : **Mathiazzi** pour les intimes, doté d'un humour incisif des plus appréciables, nous avons écumé la péninsule indochinoise pour des souvenirs indélébiles. Ta récente intégration au ski fait partie des plus beaux transferts de l'histoire des copains, et j'ai bien peur qu'après cette année tu nous dépasses déjà tous. Peut-être qu'un jour nous reviendrons en Bretagne...

A Vincent : chaque discussion avec toi est un plaisir de l'esprit, par ton empathie et ta connaissance de la *pop culture*, mais tu sais aussi dérider mes zygomatiques quand il se doit avec un talent narratif bien à toi. Cet homme serait-il parfait ? La bise à **Marine**.

A Délia, ma fillotte, je te souhaite le meilleur pour toi et ta future petite famille à Pau.

A Albane, j'espère que tout roule pour toi à la Réunion ; je n'ai jamais vu quelqu'un faire autant de randonnées, tu dois connaître le moindre petit caillou comme ta poche.

A Ève, à nos petits verres pour parler de nos déboires, et à ta réussite parisienne.

Aux Trashons (mais qui trashons-nous, me direz-vous) : **Jeannette** avec qui ça ronronne plein fer au Cap-Ferret et au ski (quand est-ce que tu reviens sacrebleu ?!) ; **Clara**, d'une beauté insondable tout en étant si sympa ; **Marion Bartoli**, pas la joueuse de tennis mais une confrère radiologue, on se sera bien serré les coudes et on aura bien rigolé sur les tables de la D4; **Lena**, qui m'a tant réprimandé pour mes blagues bien lourdes (dans tous les sens du terme), mais comment t'en vouloir ; **Adrian Pasdar**, créateur de la pose du même nom ; cet été post-ECN nous a valu quelques échauffourées mémorables, mais c'est parfois dans la rivalité que les hommes deviennent des frères ; bises à **Camcam** et à **Basile** ; **Gabi la Soudure**, à qui l'on donnerait le bon Dieu sans concession, jusqu'à ce qu'on l'entende beugler une chanson paillardes à réveiller tous les chalets avoisinants ; bises à **Chloé** et à l'enfant à venir ; **Toto**, tu m'as ouvert la porte de ta bicoque au sortir de la jungle thaïlandaise, quand dans mon cœur il faisait froid. La bise à **Julie** et **Gaïa** et encore félicitations à vous deux.

Aux Crustachez (pour l'étymologie, un indice dans le patronyme suivant) : **Sanchez**, membre iconique, encore désolé pour les cris bestiaux à Labastide ; je te souhaite du bonheur avec ta compagne ibérique ; **Hugolin**, tu cumules les titres : grand vainqueur du tournoi de shooters Fitou 2013, recordman VO2Max de Ranguel, amateur de chansons françaises comme on n'en fait plus ; **Johan**, le plus riche des médecins de gauche, mais qui ne prend pas pour autant la grosse tête ; ce week-end surf avec toi est un fier souvenir ; **Ali**, dit **Belladje**, nous formions un trio infernal d'externes avec Gregory Blanco, on s'est bien pris la tête sur Flappy Bird ; **William**, au potentiel destructeur titanesque dans tes jeunes années, on ne s'est jamais ennuyé lors d'une soirée en ta présence.

Aux Coucou, que des numéro 10

A Jojo, tu es un des types les plus drôles que la Terre ait porté, et je me délecte toujours à l'idée de la prochaine idiotie que tu vas nous sortir ; mais surtout un ami fidèle qui répond toujours à l'appel. Bises à **Marie** et **Billie** (quel prénom légendaire, ils ne savaient pas que c'était impossible alors ils l'ont fait).

A Adam, pour m'avoir conduit comme un seigneur après le mariage de Greg ; tu nous manques sacrément mais au moins tu n'es pas parti t'exiler à 10h d'avion, on devrait être amenés à se revoir pour mon plus grand plaisir.

Et à Justine, tu as su m'apporter un grand soutien quand cela était nécessaire.

A Pierre, dit Peters, encore un candidat potentiel au titre d'homme parfait : beau, drôle, sympa, skieur semi-pro, chirurgien,... ah mais Marseillais... eh bien, tu as réussi à me faire grandement apprécier la cité phocéenne lors de ce fameux week-end qui a fini dans un karaoké. Hâte que tu achètes un maillot de Basile Boli à mon hypothétique futur enfant. Bises à **Bianca**.

A Tony la Tone ou Tony el Tony le plus grand des Tonys (*la quasi-totalité des surnoms insensés de ce groupe sont issus du cerveau bouillonnant de M. Blanc*) : un GIF intemporel après une session ski qui l'était tout autant ; des publications cardiologiques à tour de bras ; et une épreuve d'effort où tu as fait ton possible pour me faire croire que je n'étais pas trop une tanche : heureusement qu'on ne peut résumer un homme à ses actes, sinon tu serais Top 1 mondial. Bisous à **Maëlle et Brune**.

A Antoine Magnan, comment un journaliste s'est-il retrouvé au milieu d'un troupeau de médecins (et d'un dentiste) ? C'est simple : LA NIGHT. Tu nous as tous époustouflés par ta puissance nocturne lors de ton séjour toulousain ; et, comme par hasard, tu réponds présent pour ma thèse, pour mon plus grand plaisir.

A Fabien, qui n'a pas volé son titre de **Fabulus** : entre le pull troué au Gueuleton, le concours de banane lors du nouvel an, et toutes ces anecdotes extraordinaires qui confinent presque à la fiction, tu es vraiment fabuleux.

A Arthur : le bien-nommé **Pasjosé**, étymologiquement non-José, maître dans l'art de la voile, tu n'en oublies pas de rentrer en métropole pour des congrès de la plus haute importance : un vrai professionnel.

A Victor : des blagues, des blagues, des lunettes de soleil, et Johnny Depp : à croire que la Réunion ne produit que des joueurs de la plus haute qualité.

A Toffo, je te cale ici car si tu étais toulousain tu aurais ta place d'honneur au sein de ce groupe de fous furieux. Tu as les qualités requises : déconneur, déconneur, déconneur, mais surtout extrêmement sympa. En plus ça ferait un radiologue de plus dans la Team.

Les plus récents, mais pas des moindres

A Clémence, il aura suffi de quelques mois de covoiturage à Montauban pour que tu grimpes à pas de géants les marches de la *friendship* (obligé de caler un mot anglais avec toi), et qu'on se retrouve régulièrement à déblatérer de choses et d'autres autour d'un Deliveroo/Mario Kart des familles. Ton dévouement pour tes amis est sans pareil. Mais quand est-ce que tu achètes un chat ?

A Andréa : il fût un temps l'homme le plus injouable que le Toulouse Padel Club ait connu, mais personne ne reste au sommet pour toujours. Il n'empêche que tu restes un modèle de *Chadisme*, malgré le *bashing* dont j'ai fait preuve à ton égard pour t'être soustrait à la soirée au Tiffany's, ce n'était que de l'amour.

A Valoche : le divin chauve, écrivain fantôme à ses heures perdues notamment pour le larron sus-cité, totalisant déjà plus de points SIGAPS que la moitié des PU-PH d'Occitanie. Tu

restes malgré tout humble, ne renâclant pas à nager à grandes brasses avec sur le dos ton appareil photo tout à fait perméable ; et sans toi, nous n'aurions jamais accompli la Pantera².

A Paulo : un emploi du temps de ministre lié à tes quarantrillions d'amis, nos rencontres éparées n'en sont que plus sympathiques, et ces vacances en Corse étaient d'une bonhomie sans égale.

A Catoche, pour toute ta bonne humeur déjantée, ton soutien. Cela fait un bail qu'on ne s'est vus, tu auras tant à me raconter sur ce séjour australien et ta nouvelle vie parisienne.

A Elise, pour ce retour en voiture de Dax, et tes performances Strava éblouissantes.

Aux animaux et autres êtres à poils ou à plumes

A Max, mon petit chat roux.

A Lili, la plus belle.

A Snow, beau mais gros.

Au Roi Dadidou, distributeur de mandales depuis 2008.

SERMENT D'HIPPOCRATE

Au moment d'être admis à exercer la médecine, je promets et je jure d'être fidèle aux lois de l'honneur et de la probité.

Mon premier souci sera de rétablir, de préserver ou de promouvoir la santé dans tous ses éléments, physiques et mentaux, individuels et sociaux.

Je respecterai toutes les personnes, leur autonomie et leur volonté, sans aucune discrimination selon leur état ou leurs convictions. J'interviendrai pour les protéger si elles sont affaiblies, vulnérables ou menacées dans leur intégrité ou leur dignité. Même sous la contrainte, je ne ferai pas usage de mes connaissances contre les lois de l'humanité.

J'informerai les patients des décisions envisagées, de leurs raisons et de leurs conséquences. Je ne tromperai jamais leur confiance et n'exploiterai pas le pouvoir hérité des circonstances pour forcer les consciences.

Je donnerai mes soins à l'indigent et à quiconque me les demandera. Je ne me laisserai pas influencer par la soif du gain ou la recherche de la gloire.

Admis dans l'intimité des personnes, je tairai les secrets qui me seront confiés. Reçu(e) à l'intérieur des maisons, je respecterai les secrets des foyers et ma conduite ne servira pas à corrompre les mœurs.

Je ferai tout pour soulager les souffrances. Je ne prolongerai pas abusivement les agonies. Je ne provoquerai jamais la mort délibérément.

Je préserverai l'indépendance nécessaire à l'accomplissement de ma mission. Je n'entreprendrai rien qui dépasse mes compétences. Je les entretiendrai et les perfectionnerai pour assurer au mieux les services qui me seront demandés.

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

Que les hommes et mes confrères m'accordent leur estime si je suis fidèle à mes promesses ; que je sois déshonoré et méprisé si j'y manque.

Abréviations utilisées

Fr : French

HTAP : hypertension artérielle pulmonaire

IRM : imagerie par résonance magnétique

MAV : malformation artério-veineuse

MAVP : malformation artério-veineuse pulmonaire

OR : odds ratio

PACS : *Picture Archiving and Communication System*

RR : risque relatif

RS : recrutement systémique

RSG : recrutement systémique global

RSP : recrutement systémique primaire

RSS : recrutement systémique secondaire

TDM : tomodensitométrie

THH : télangiectasie hémorragique héréditaire

Table des matières

INTRODUCTION.....	3
I- CONTEXTE GENERAL	3
1- <i>Epidémiologie des malformations artério-veineuses pulmonaires</i>	3
2- <i>La télangiectasie hémorragique héréditaire</i>	3
3- <i>Anatomie et classifications</i>	4
4- <i>Complications</i>	7
II- IMAGERIE.....	9
III- TRAITEMENT.....	10
1- <i>Indications</i>	10
2- <i>Technique</i>	10
3- <i>Choix du matériel</i>	11
4- <i>Taille du matériel</i>	14
5- <i>Procédure interventionnelle</i>	14
6- <i>Complications</i>	15
7- <i>Efficacité et suivi</i>	15
IV- CAS PARTICULIER DU RECRUTEMENT SYSTEMIQUE.....	16
1- <i>Vascularisation systémique pulmonaire physiologique et pathologique</i>	16
2- <i>Recrutement systémique des MAVPs, primaire ou secondaire</i>	17
V- OBJECTIFS DE L'ETUDE.....	19
MATERIEL ET METHODES	20
1- <i>Bases de données</i>	20
2- <i>Précisions lexicales sur les données recueillies</i>	20
3- <i>Analyses statistiques</i>	21
RESULTATS.....	23
I- ANALYSE DESCRIPTIVE	23
1- <i>Épidémiologie</i>	23
2- <i>Caractéristiques générales des MAVPs</i>	24
3- <i>MAVPs traitées</i>	26
4- <i>Efficacité du traitement</i>	28
5- <i>MAVPs non traitées</i>	30
6- <i>Recrutement systémique global</i>	30
II. ANALYSE COMPARATIVE.....	31
1- <i>Complication pré-thérapeutique de la MAVP</i>	31
2- <i>Décision d'embolisation</i>	31
3- <i>Embolisation : nombre, matériel utilisé, complications</i>	31
4- <i>Efficacité de l'embolisation</i>	33
5- <i>Reperméabilisation secondaire</i>	33
6- <i>MAVPs non traitées</i>	33
7- <i>Recrutement systémique primaire</i>	33
8- <i>Recrutement systémique secondaire post-embolisation</i>	34
9- <i>Recrutement systémique global</i>	34
DISCUSSION	35
CONCLUSION.....	43

INTRODUCTION

I- Contexte général

1- Epidémiologie des malformations artério-veineuses pulmonaires

Les MAVPs constituent une pathologie rare, avec une incidence estimée à 3 à 5 cas pour 100 000 habitants¹. Elles sont dans 70-80% des cas associées à la télangiectasie hémorragique héréditaire (THH)². Les autres causes identifiées sont : pathologies malformatives congénitales hors THH, traumatismes, chirurgie, infections, idiopathique... Il existe une prédominance féminine avec un ratio de 1/1,5 à 1/2². Elles sont parfois présentes à la naissance mais peuvent apparaître tout au long de la vie³. Ainsi, l'âge au diagnostic est variable ; il est en fonction des séries estimé à 30-40 ans². Le diagnostic est dans la majorité des cas scanographique : sur dépistage ou suivi dans le cadre de THH, sur complication de la MAVP, ou fortuit.

2- La télangiectasie hémorragique héréditaire

La télangiectasie hémorragique héréditaire (en anglais *Hereditary Haemorrhagic Telangiectasia - HHT*), ou maladie de Rendu-Osler-Weber, est une maladie autosomique dominante à pénétrance incomplète, d'incidence 1/5000 à 1/10 000. 3 gènes en cause ont été identifiés : *ENG* (phénotype HHT1), *ACVRL1* (ou *ALK1*) (phénotype HHT2), et plus rarement *SMAD4*, leur(s) mutation(s) entraînant un déséquilibre de l'angiogénèse, se traduisant sur le plan clinique par des atteintes multiples, notamment cutanées à type de télangiectasies, rhinologiques à type d'épistaxis, et profondes à type de MAV (cérébrales, pulmonaires, hépatiques, digestives)⁴. Il existe des particularités entre les phénotypes HHT 1 et HHT 2 ; notamment, le risque de MAVP est plus élevé pour la mutation *ENG* qu'*AVCRL1*³. Le risque global de MAVP dans la THH est globalement estimé entre 15 et 45%⁵.

Le diagnostic se fait selon les critères de Curaçao⁶ (**Tableau 1**) ; il est souvent retardé en raison de la rareté de la maladie et de la variété des manifestations, mais l'enquête familiale génétique permet un dépistage précoce.

Tableau 1. Critères de Curaçao

Épistaxis : spontanées, récurrentes

Télangiectasies cutanéomuqueuses multiples : langue, lèvres, doigts, nez

Malformations artério-veineuses viscérales : pulmonaires, hépatiques, cérébrales, digestives

Histoire familiale : THH chez un parent au premier degré, diagnostiquée selon les mêmes critères

3 critères ou plus : diagnostic certain

2 critères : diagnostic possible

1 critère : diagnostic improbable

3- Anatomie et classifications

Une MAVP est constituée d'une ou plusieurs artère(s) afférente(s) et veine(s) efférente(s), communiquant directement soit via un sac anévrysmal, soit un enchevêtrement de petits vaisseaux appelé *nidus*. Une classification morphologique a été proposée par *White*⁷ (**Figure 1**), subdivisant les MAVP en deux sous-catégories : simples (80-90% des cas) possédant une seule artère segmentaire afférente (**Figure 2**), et complexe (10-20%) possédant deux artères ou plus (**Figure 3**). Il est important de noter que le nombre d'artères sous-segmentaires afférentes et de veines efférentes ne compte pas.

Il existe par ailleurs deux autres sous-types décrits hors de cette classification: télangiectasique correspondant à un amas de vaisseaux microscopiques, parfois difficilement visibles au scanner (**Figure 4**) ; et diffus correspondant à l'envahissement d'une grande partie du parenchyme par plusieurs MAVPs étendues, relevant d'un traitement chirurgical (**Figure 5**)⁸.

Sur le plan topographique, il existe une prédominance de localisation aux lobes inférieurs (potentiellement pourvoyeuse de platypnée/orthodéoxie), et périphérique plutôt que centrale⁹.

Chez un même patient les MAVPs sont le plus souvent multiples notamment dans la THH¹⁰.

Enfin, la vascularisation artérielle peut être de caractère pulmonaire +/- systémique, cette dernière composante étant rarement retrouvée (estimée à 5%)¹¹ avec des particularités anatomiques décrites plus loin (cf. « IV. Cas particulier du recrutement systémique »).

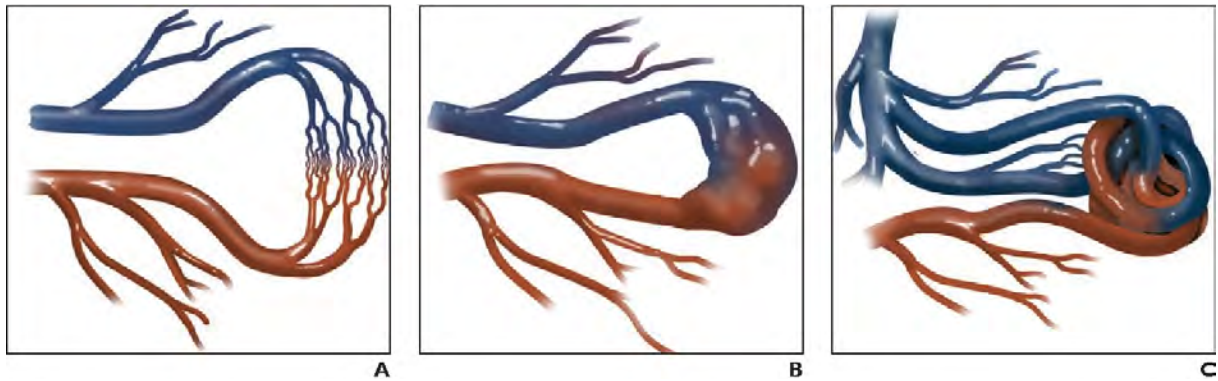


Figure 1. Anatomie et classification des MAVPs. D'après Trerotola et Pyeritz¹².

(A) Communication artério-veineuse normale via capillaires. (B) MAVP simple : une artère segmentaire afférente, un sac anévrismal, une veine efférente. (C) MAVP complexe : deux artères segmentaires afférentes, un nidus, une veine efférente.

Ici, l'artère pulmonaire contenant du sang non oxygéné est colorée en bleu ; pour les cas présentés par la suite, nous utiliserons une iconographie classique de type « flèche rouge = artère » et « flèche bleue = veine », indépendamment de la charge en oxygène.

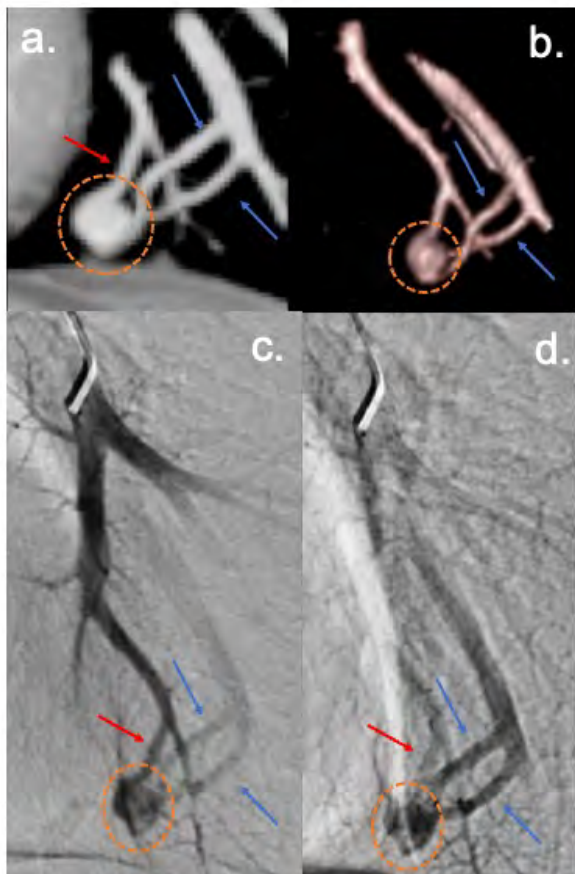


Figure 2. MAVP simple, une artère afférente (flèches rouges), un nidus (cercle), deux veines efférentes (flèches bleues).

(a) TDM reconstruction coronale en mode MIP épais. (b) TDM reconstruction en mode VRT (Volume Rendering Technique). (c & d) Angiographies.

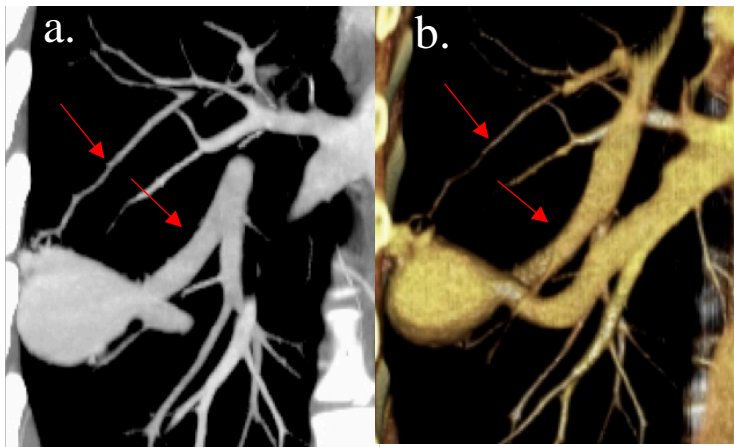


Figure 3. MAVP complexe, deux artères segmentaires afférentes (flèches). (a) TDM reconstruction MIP épais. (b) TDM reconstruction 3D.

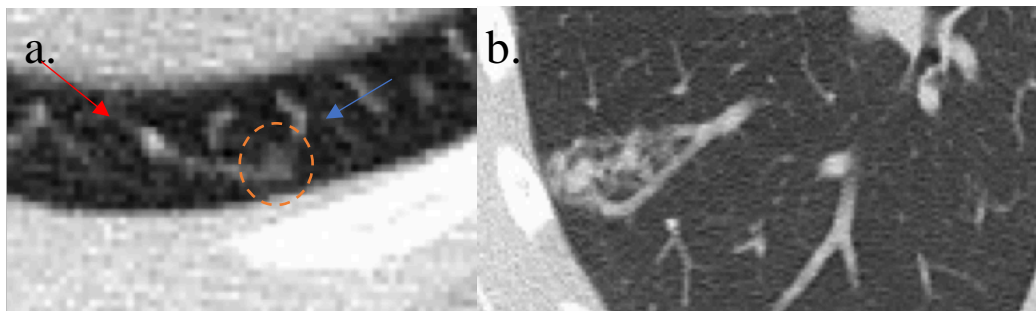


Figure 4. MAVPs télangiectasiques au TDM. (a) Nidus millimétrique en verre dépoli difficilement visible (cercle), petits vaisseaux afférent et efférent (flèches bleue et rouge). (b) Enchevêtrement de vaisseaux et nidus difficilement délimitables.

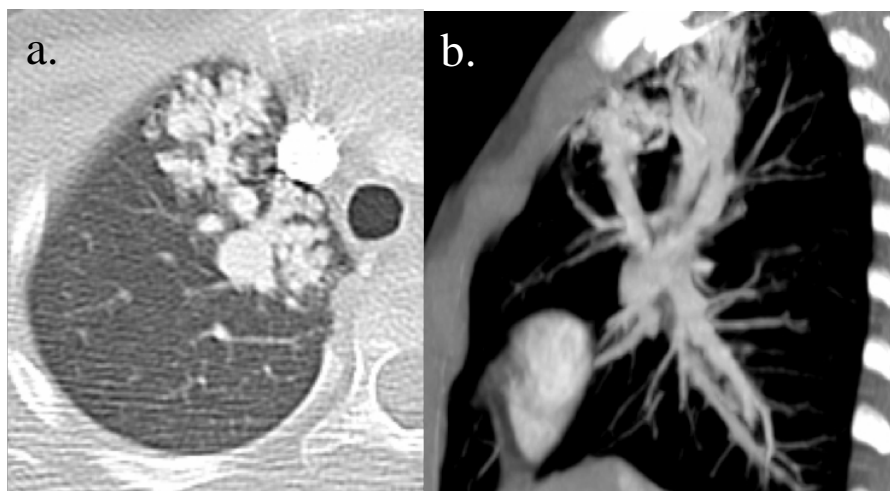


Figure 5. MAVP diffuse lobaire supérieure droite au TDM chez un enfant de 6 ans. (a) Coupes axiales fines. (b) Reconstruction sagittale MIP épais.

4- Complications

Les MAVPs présentent plusieurs risques de complications³, principalement circulatoires du fait du shunt droite-gauche et de l'altération de la filtration capillaire pulmonaire : hypoxémie (souvent asymptomatique), dyspnée, cyanose. Elles peuvent dans de rares cas être responsables d'HTAP, pré-capillaire ou post-capillaire (liée alors à une augmentation du débit cardiaque causée par les MAV viscérales).

Les complications emboliques sont les plus redoutées, le plus souvent neurologiques avec accidents ischémiques cérébraux, mais peuvent toucher toute la circulation générale. La thrombophilie serait due à des modifications biologiques causées par l'altération de la filtration capillaire pulmonaire, avec diminution de la concentration sérique en fer et élévation du fibrinogène³.

Le shunt droite-gauche dans les MAVPs majore également le risque infectieux avec abcès cérébraux (**Figure 6**) et plus rarement splanchniques. Une étude¹³ a montré un risque d'abcès cérébral majoré en cas de diminution de la saturation en O₂.

Les complications hémorragiques (hémoptysies, hémothorax) sont rares (**Figure 7**) et seraient plus fréquentes dans le cadre de la grossesse.

Les risques de complication apparaissent variables selon les études^{3,10}: jusqu'à 59% d'intolérance à l'effort, 6-33% d'accidents ischémiques cérébraux, 5-19% d'abcès cérébraux,

3% d'hémorragie pulmonaire. L'évaluation précise de ces risques en l'absence de traitement est difficile à estimer en l'absence d'étude prospective, car il est généralement considéré comme non-éthique la constitution d'un groupe de suivi prospectif « non-traités ».⁵

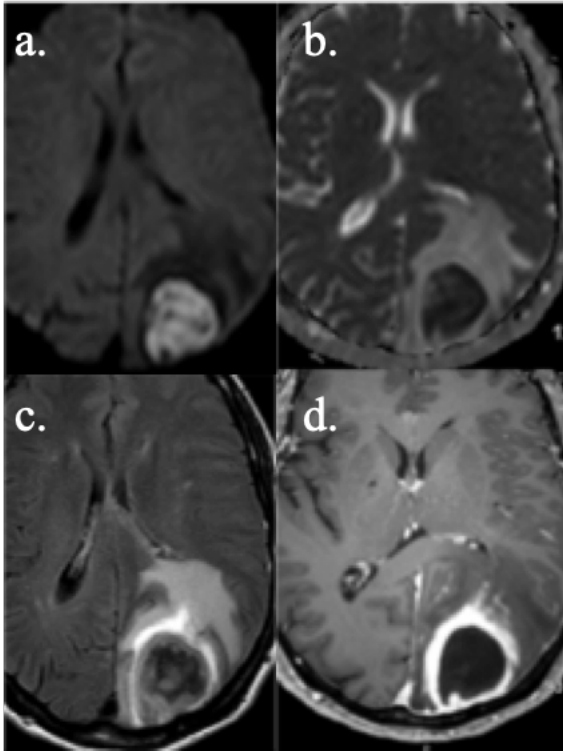


Figure 6. Abscès cérébral compliquant une MAVP à l'IRM. (a) Lésion nodulaire en hypersignal diffusion et (b) restriction d'ADC. (c) FLAIR, lésion d'aspect hétérogène et œdème péri-lésionnel en hypersignal. (d) T1 gadolinium, prise de contraste pariétale lésionnelle.

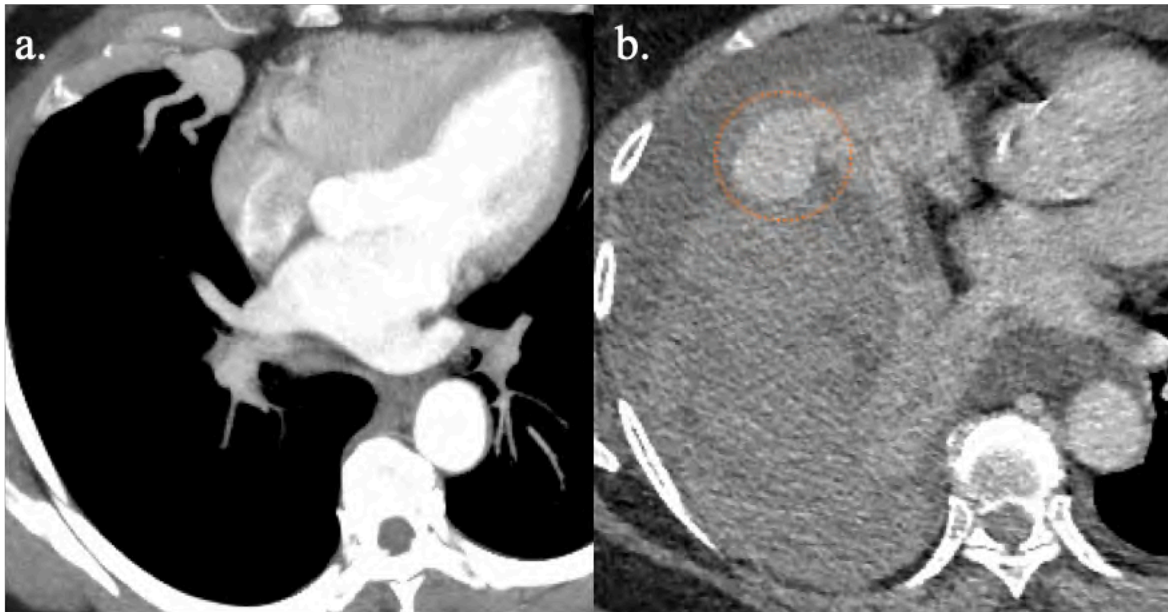


Figure 7. MAVP simple lobaire moyenne compliquée d'hémothorax au TDM. (a) TDM de suivi pré-complication, reconstruction MIP épais. (b) Hémothorax droit de grande abondance de densité hétérogène. Cercle : nidus.

II- Imagerie

L'imagerie de référence pour le diagnostic et le suivi est le TDM. Une acquisition sans produit de contraste est possible pour le dépistage mais elle devra être complétée par une acquisition injectée et en coupes fines en cas de MAVP avérée ou de forte suspicion¹⁶. L'angio-TDM met en évidence les vaisseaux afférent(s) et efférent(s), ainsi que le sac anévrismal ou nidus sous la forme d'un nodule arrondi ou polylobé, souvent bien limité, parfois en verre dépoli notamment dans la forme télangiectasique. Les reconstructions 3D peuvent aider le praticien lors du geste thérapeutique.

Le diagnostic scanographique est généralement aisé, mais il faut garder en tête les diagnostics différentiels pouvant rarement prêter à confusion, représentés principalement par les anévrismes artériels pulmonaires ou bronchiques, les shunts directs artère systémique-artère pulmonaire¹⁷, les varices pulmonaires, les bronchocèles, kystes bronchogéniques, granulomes, hamartomes, lésions malignes primitives ou secondaires⁸.

L'angiographie apparaît moins sensible mais plus spécifique. Une étude comparative¹⁸ a mis en évidence le bon rapport sensibilité/risque de l'échographie de contraste. L'IRM présente un intérêt limité, réservée à certaines formes pédiatriques. Une étude a démontré son efficacité dans la réduction des artefacts métalliques dus aux coils¹⁹.

III- Traitement

1- Indications

L'intérêt thérapeutique de l'embolisation des MAVPs a été prouvé par de nombreuses études^{4,10,20}. L'amélioration des symptômes respiratoires peut être rapide¹³. Le risque de complication neurologique serait moindre que sans traitement²¹. Les reprises sont souvent nécessaires, mais les traitements itératifs sont souvent bien tolérés.

Les recommandations actuelles sont issues de la dernière conférence de consensus de 2009⁴. Toutes les MAVPs symptomatiques doivent être traitées. Si asymptomatique, le critère est morphologique, et a été établi en fonction du diamètre de l'artère nourricière : initialement fixé à 3mm au début des années 1990, il est désormais suggéré un seuil de 2mm si techniquement faisable^{12,21}. En effet le risque de complications notamment infectieuses existe pour des artères afférentes de moins de 3mm de diamètre²².

2- Technique

L'embolisation par voie endo-vasculaire est le traitement de première intention en l'absence d'hémorragie menaçant le pronostic vital. En effet, du fait du caractère souvent multiple, bilatéral et évolutif des MAVPs⁷, la réalisation de chirurgies itératives présenterait une iatrogénie majeure.

Il est réalisé préférentiellement dans un centre expert. L'objectif est d'exclure la MAVP de la circulation par occlusion des vaisseaux nourriciers le plus proche possible du nidus, pour préserver le parenchyme et les vaisseaux normaux, prévenir les complications, tout en évitant la reperméabilisation future de la MAVP. Le site d'occlusion privilégié est l'(les) artère(s) afférente(s) ou le nidus. Fréquemment, de nouveaux vaisseaux nourriciers sont opacifiés à l'angiographie après pose du matériel, nécessitant un complément de traitement. Le nombre maximal de MAVP traitable en une fois est limité par le temps, l'irradiation et l'injection d'iode.

Une étude²³ a décrit l'utilité de l'occlusion veineuse, qui présenterait l'avantage d'épargner la circulation artérielle et de diminuer ce faisant le risque d'infarctus, et pourrait avoir son intérêt si les artères afférentes sont trop courtes ou dans les MAVP à flux élevé. Cependant cette technique requiert une anticoagulation forte et une voie trans-septale, nécessitant donc de mobiliser une équipe multi-disciplinaire avec un chirurgien thoracique.

3- Choix du matériel

Les matériels d'embolisation varient en fonction des centres et des caractéristiques de la MAVP avec, en 2023, une nette prédominance des coils et des plugs Amplatzer²⁴, parfois utilisés de façon conjointe (**Figures 8, 9, 10, 11**). Ils possèdent un double effet, mécanique par obstruction et pro-thrombogène. Les agents liquides ne sont plus indiqués en raison du risque élevé d'embolies dans la veine pulmonaire. Historiquement ont été utilisés également des ballons détachables, et dans des cas exceptionnels des stents. Les coils sont des spires métalliques déroulables présentant des caractéristiques variables : matière (platine, acier inoxydable, Inconel), nu ou couvert (fibres en Nylon, hydrogel), sans différence significative d'efficacité mise en évidence à l'heure actuelle²⁵. Ils peuvent être à largage contrôlé ou non. Les coils à largage contrôlé sont plus chers et plus difficiles à utiliser mais présentent l'avantage d'un déploiement plus précis avec un moindre risque de migration veineuse. Pour les coils à largage non contrôlé, deux techniques sont principalement utilisées, *l'ancrage* ou *l'échafaud*²⁶.

L'ancrage consiste à se placer dans une branche collatérale, commencer à y déployer le coil, puis le faire s'enrouler dans l'artère nourricière, et finalement compléter par de plus petits coils. *L'échafaud* consiste à placer un premier coil *oversized* (de diamètre plus élevé que le vaisseau) avec une force radiale élevée dans le vaisseau cible pour former un support. Il est possible de s'aider d'un ballonnet pour réduire le flux, améliorer la stabilité et réduire le risque d'embol. Par la suite plusieurs petits coils sont posés dans le vaisseau cible.

Les plugs Amplatzer sont des dispositifs auto-expansibles faits d'un treillis en nitinol. Ils sont en général plus volumineux que les coils, et nécessitent des cathéters plus larges et des porteurs plus rigides. Ils ont pour avantages, comparativement aux coils, un risque moindre de migration, une procédure moins longue, au détriment d'un coût plus élevé.

Certaines études rétrospectives ont mis en évidence des taux d'occlusion plus élevés avec les plugs Amplatzer qu'avec les coils^{27,28}. Il n'existe pas à notre connaissance d'étude prospective sur le sujet, le choix reste donc souvent une affaire de préférence individuelle, et repose surtout sur la morphologie de la MAVP et la cible choisie : si la cible est le nidus, seuls les coils pourront être utilisés. En cas de petite artère tortueuse, les coils sont préférables ; en cas d'artère large et rectiligne, le plug pourra être choisi.

Parfois, il persiste une opacification après la pose d'un plug, nécessitant la pose de coils en complément²⁹.

Il existe également des plugs micro-vasculaires, ayant fait preuve de leur efficacité³⁰. Ils présentent l'avantage d'une occlusion rapide et d'un déploiement via micro-cathéter.

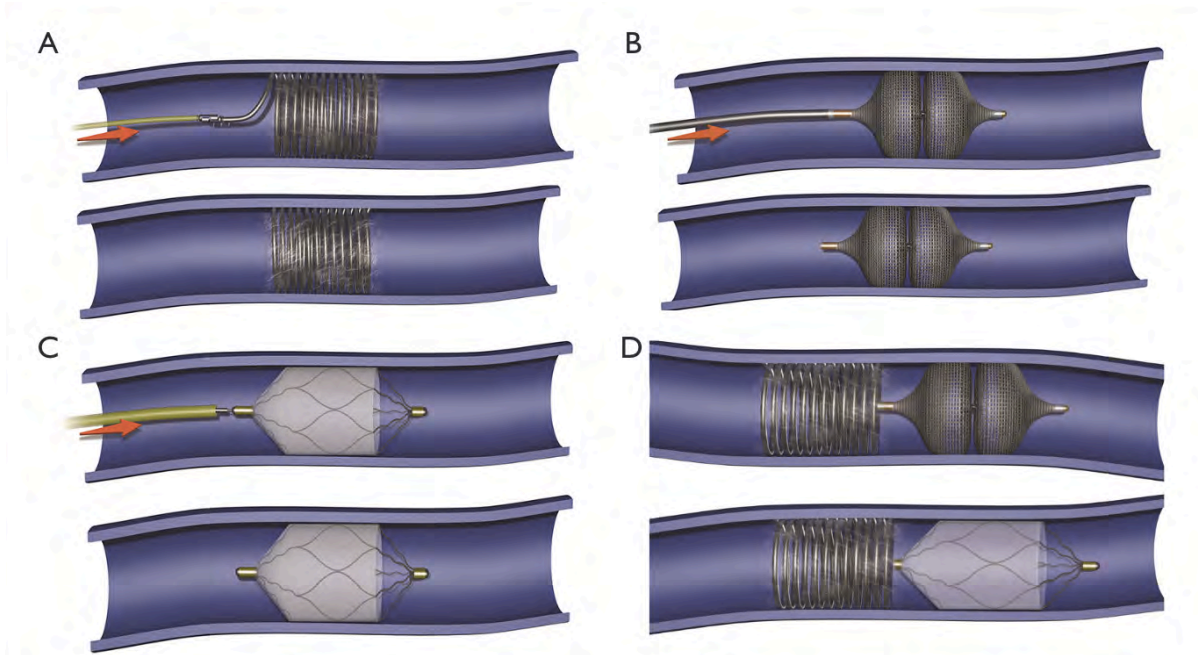


Figure 8. Matériel d'embolisation des MAVPs. *D'après Chamarthy et al.*²¹
(A) Coil. (B) Plug Amplatzer. (C) Plug micro-vasculaire. (D) Combinaisons de plug et coil.

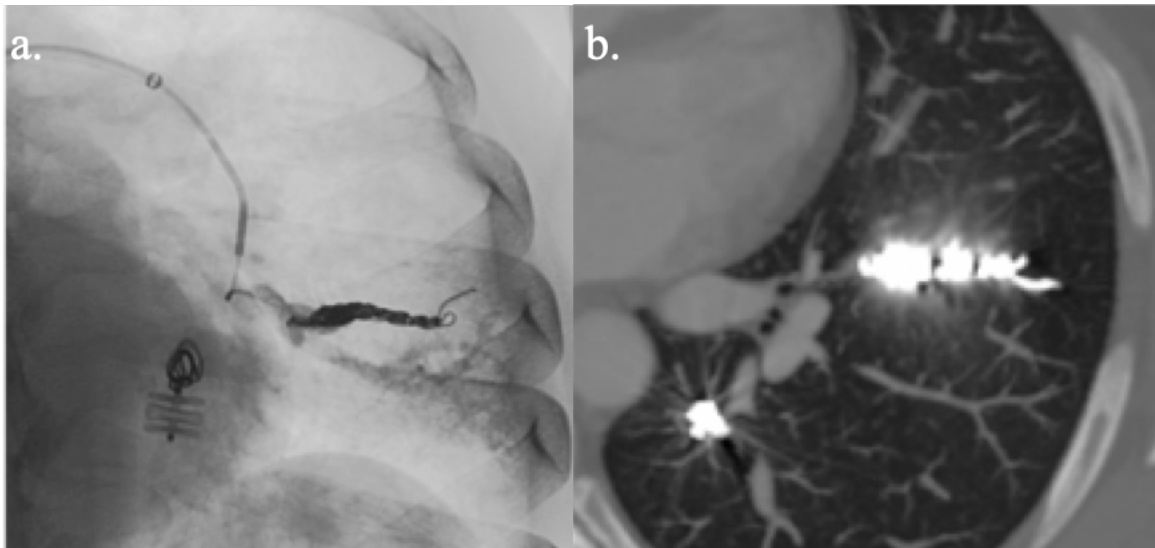


Figure 9. Traitement par multiples coils d'une artère de petit calibre.
(a) Angiographie per-interventionnelle. (b) Contrôle TDM, MAVP occluse.

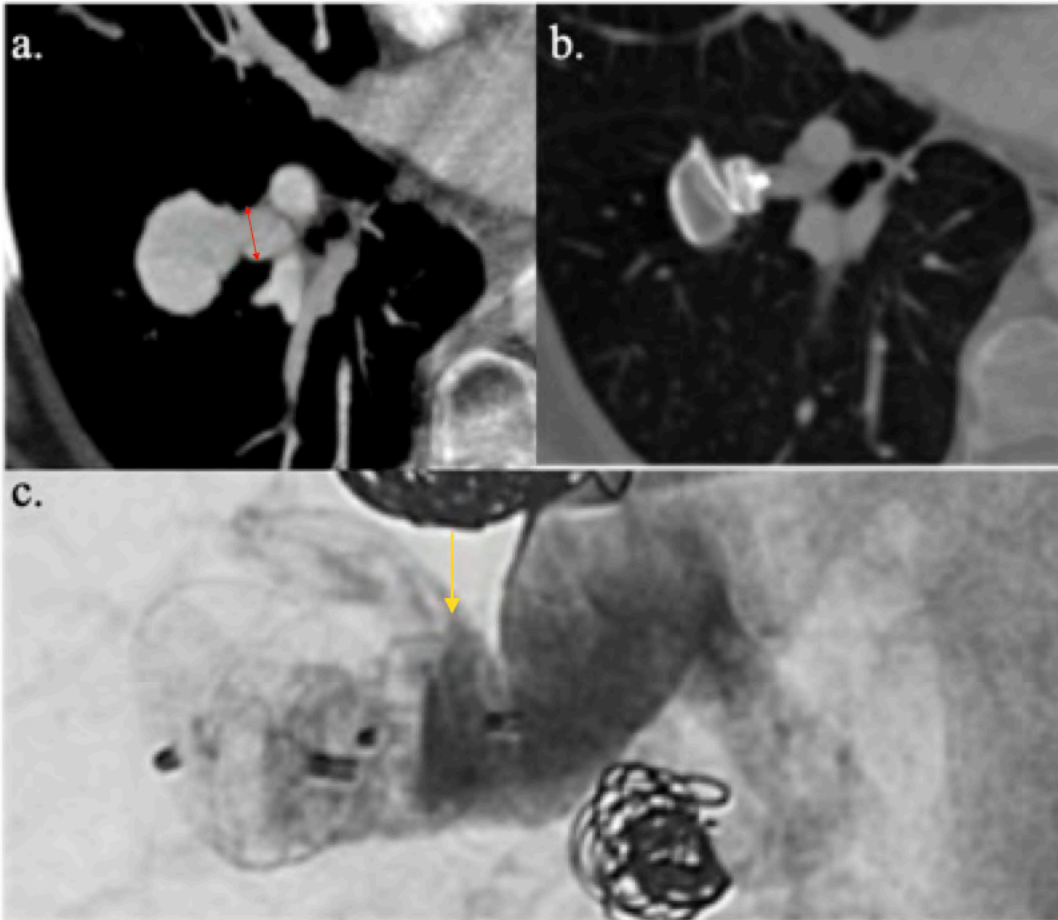


Figure 10. Traitement par plug Amplatzer d'une MAVP à large artère afférente. TDMs pré- (a) et post- (b) embolisation en reconstruction MIP épais. Noter le large collet artériel (double flèche rouge). La MAVP est exclue sur le contrôle. (c) Angiographie per-interventionnelle, l'opacification s'interrompt en regard du plug (flèche jaune). Il est à noter que la MAVP s'est reperméabilisée lors du suivi.

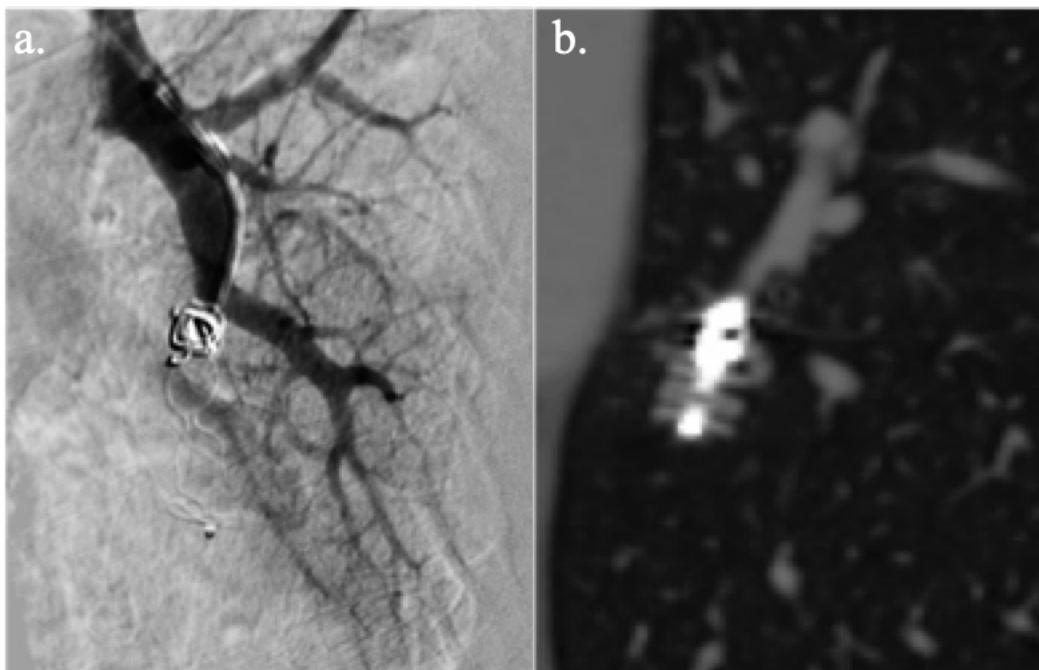


Figure 11. Traitement par plug Amplatzer + coils. (a) Angiographie per-interventionnelle. (b) Contrôle TDM en reconstruction MIP épais : occlusion de la MAVP.

4- Taille du matériel

Un élément important est le choix du diamètre du matériel (*sizing*) : un diamètre trop petit favorise le risque emboligène dans la veine de drainage et l'inefficacité du traitement ; un diamètre trop grand favorise le risque d'occlusion de vaisseaux non cibles ou de rupture vasculaire. Des études suggèrent un *oversizing* minimal de 20-30%^{28,32}, ou dans le cadre de coils à largage non contrôlé un diamètre supérieur d'au moins 2mm à celui de l'artère²⁶.

5- Procédure interventionnelle

Il n'existe pas de procédure standardisée reconnue par conférence de consensus. Par exemple, le geste peut être réalisé sous sédation ou sous anesthésie générale. En fonction de la difficulté, l'anesthésie générale sera à privilégier. Toutefois, les différentes étapes suivies sont classiquement les suivantes :

- Abord veineux fémoral commun droit le plus souvent mais pouvant se faire en fémoral commun gauche ou en jugulaire interne.
- Mise en place d'un introducteur long 6 ou 7Fr en fonction de la technique d'embolisation prévue (plugs ou coils).
- L'héparinothérapie per-procédure est optionnelle.

- Cathétérisme de l'atrium droit puis de l'artère pulmonaire, qui peut être réalisé à l'aide de différentes sondes (*pigtails*, APC/Grollman, Simmons...).
- En cas de suspicion d'HTAP, la mesure de la pression artérielle pulmonaire peut être réalisée.
- Une angiographie artérielle pulmonaire est optionnelle : 40cc d'iode à 20cc/s.
- Cathétérisme sélectif puis hyper-sélectif de la ou des artère(s) porteuse(s) de la malformation.
- Angiographie sélective pour confirmer le bon positionnement du cathéter ou du micro-cathéter.
- Traitement de la malformation à l'aide de systèmes d'occlusion (*voir chapitre dédié*).
- A la fin du geste, une compression du point de ponction de quelques minutes est suffisante en l'absence de troubles de l'hémostase.

6- Complications

Les complications sont rares, principalement représentées par la douleur thoracique aiguë sur irritation pleurale, dont la fréquence (estimée à 13%) augmenterait avec la taille de la MAV, et l'infarctus pulmonaire (3%)². La complication redoutée est l'embolie (gazeuse, cruorique, de matériel) avec risque d'accident ischémique cérébral ou d'infarctus myocardique³³. Les complications plus rares comprennent l'apparition ou aggravation d'une HTAP, la rupture de la MAV. La mortalité est extrêmement faible.

7- Efficacité et suivi

Les MAVPs doivent bénéficier d'un suivi par imagerie régulier en raison du risque de reperméabilisation, dont le taux a été globalement estimé jusqu'à 20%^{9,34}. Les mécanismes potentiels de reperméabilisation sont les suivants : traitement initial incomplet (petites artères non visibles ou non accessibles lors de l'embolisation), recanalisation à travers le matériel (par résorption du thrombus ou distension vasculaire), recrutement de nouveaux vaisseaux pulmonaires et/ou systémiques. Le gold-standard pour évaluer la reperméabilisation est l'angiographie³⁵, mais ne peut être réalisée en routine. Les critères de réussite sont donc généralement scanographiques : diminution de la taille du nidus et absence d'opacification de l'artère afférente¹⁶. L'opacification de la veine efférente, fréquemment retrouvée, n'est pas un critère significatif car possible *a retro*⁹. Les *cut-off* pour le critère de taille varient selon les auteurs avec de fait des performances diagnostiques (sensibilité et spécificité) du TDM variables^{34,36}. Une étude récente montre une amélioration de la précision du TDM pour une valeur de diminution de 55% contre 70%¹⁹. Deux exemples de reperméabilisation TDM sont regroupés sur la **Figure 12**.

Parmi les critères favorisant la reperméabilisation ont été décrits une embolisation trop proximale, un grand diamètre de l'artère afférente, un *oversizing* trop marqué³⁷. Le suivi TDM est également justifié par le fait que de nouvelles MAVPs peuvent apparaître et que les MAVPs préexistantes non traitées peuvent augmenter de taille.¹⁰

Pour le suivi en imagerie, les recommandations sont : pour les MAVPs non traitées, un angio-TDM tous les 1 à 5 ans ; pour les MAVPs traitées, un angio-TDM à 6 à 12 mois du traitement, puis un tous les 3 ans⁴.

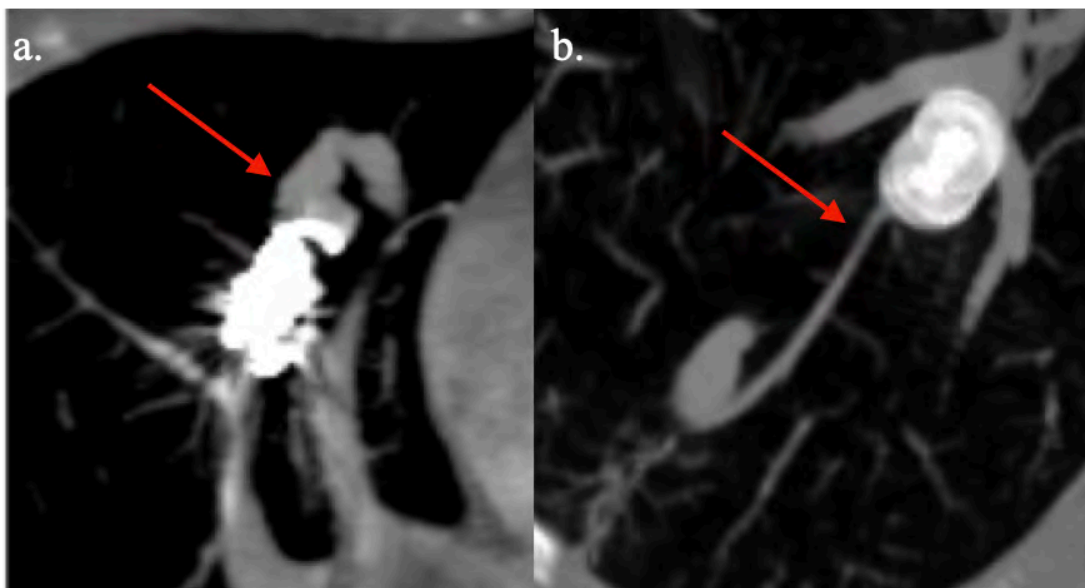


Figure 12. Reperméabilisations TDM d'artères afférentes de MAVPs. Opacification artérielle en aval (flèches) d'un traitement endo-vasculaire par (a) coils et (b) plug.

IV- Cas particulier du recrutement systémique

1- Vascolarisation systémique pulmonaire physiologique et pathologique

La vascularisation systémique physiologique du poumon ne représente qu'1% du flux sanguin pulmonaire total, mais assure l'apport de sang oxygéné aux structures pulmonaires (bronches, plèvre, artères pulmonaires...). Elle est assurée par les artères bronchiques. A l'état physiologique, elles ne participent pas aux échanges gazeux pulmonaires, mais elles possèdent une importante capacité d'adaptation³⁸ en cas de défaut de la vascularisation artérielle pulmonaire (HTAP post-embolique³⁹, maladie respiratoire chronique). Elles peuvent alors dans ces cas pathologiques s'hypertrophier et créer des shunts artériels systémo-pulmonaires

généralement microscopiques, avec un flux pouvant atteindre jusqu'à 30% du flux pulmonaire total.

L'anatomie « classique », la plus fréquemment retrouvée correspond à deux artères bronchiques gauches et une droite. Leur naissance « modale » se fait à la paroi antérieure droite de l'aorte thoracique descendante, de son origine jusqu'au plan inférieur de la bronche souche gauche, entre T5 et T6 dans 70-80% des cas⁴⁰. L'artère bronchique droite est généralement issue d'un tronc commun avec une artère intercostale (tronc inter-costo-bronchique). Elles présentent un trajet médiastinal et passent par les hiles pulmonaires. A l'état normal, leur calibre proximal n'excède pas 1,5-2mm, et au niveau des hiles 0,5mm (généralement non visibles au TDM). Elles se terminent dans les capillaires des bronchioles. En cas d'hypertrophie, leur calibre peut excéder 1,5-2mm, elles sont alors souvent visibles au TDM au niveau des hiles et présentent un trajet tortueux. Elles peuvent alors être responsables d'hémoptysie grave, et représenter la cible de choix de l'embolisation. Les shunts artériels systémo-pulmonaires créés en réponse à l'ischémie artérielle pulmonaire sont généralement microscopiques et donc rarement visibles au TDM. Ils constituent toutefois un diagnostic différentiel rare des MAVPs à recrutement systémique¹⁷, se distinguant par l'absence de nidus et de veine efférente.

Les artères bronchiques peuvent présenter une origine atypique (20% des cas), en dehors de T5-T6 : arc aortique ou aorte thoracique basse. Elles peuvent plus rarement avoir une origine ectopique : troncs supra-aortiques, artères thoraciques internes.

La vascularisation systémique pulmonaire non bronchique ne passe pas par les hiles mais à travers la plèvre ou le ligament triangulaire pulmonaire. Elle n'existe pas à l'état physiologique et peut apparaître dans divers cas pathologiques (THH, HTAP post-embolique³⁹, pathologie pleurale inflammatoire, traumatique, iatrogène...). Il existe de multiples origines possibles : troncs supra-aortiques, thoracique interne, intercostale, diaphragmatique inférieure, hépatique⁴¹...

2- Recrutement systémique des MAVPs, primaire ou secondaire

Il n'existe pas, à notre connaissance, de large étude centrée sur la vascularisation systémique des MAVPs, qu'elle soit primaire ou secondaire (apparue dans un second temps par ouverture de collatérales ou néo-angiogénèse). La fréquence de cette vascularisation a été estimée à 5%¹¹. Ces MAVPs à composante artérielle systémique sont généralement classées complexes, car presque toujours associées à une artère pulmonaire afférente ; en effet, il n'a pas été décrit à notre connaissance de MAVP avec la triade « artère(s) afférente(s) uniquement systémique(s)-nidus-veine pulmonaire efférente ».

Des descriptions de cas ont mis en évidence certains facteurs de risque de recrutement systémique : la chirurgie⁴², qui favoriserait le recrutement trans-pleural ; et l'embolisation de MAVPs⁴³⁻⁴⁵. Sur le plan anatomique, n'importe quelle artère systémique à destinée pulmonaire décrite dans le paragraphe précédent peut théoriquement être concernée (**Figure 13**).

Un article de 2006¹⁴ a étudié la présence de vaisseaux systémiques pulmonaires dilatés dans les suites d'embolisation de MAVPs chez 32 patients. Chez 40% de patients étaient présents des vaisseaux systémiques dilatés mais aucune communication directe avec une MAVP n'a été mise en évidence. Cette dilatation peut s'expliquer par l'ischémie créée par de potentiels infarctus pulmonaires post-embolisation, dans un mécanisme similaire à l'HTAP post-embolique.

En ce qui concerne les complications, il a été suggéré que les MAVPs à recrutement systémique seraient plus sujettes à des complications hémorragiques⁴⁵, en raison du flux sanguin élevé dans ce shunt gauche-gauche ; mais cet élément n'a jamais été significativement prouvé à notre connaissance^{14,34}. Nous n'avons pas trouvé de données sur les risques emboliques et infectieux. Toutefois, ce risque semble moindre car il ne s'agit pas d'un shunt droite-gauche.

Il n'existe pas non plus de recommandation sur l'indication thérapeutique. Il a été théorisé que le shunt droite-gauche pourrait être compensé par l'apport de sang oxygéné par le versant systémique¹⁴, et donc qu'en cas de traitement du versant systémique, le versant pulmonaire devait être traité conjointement.

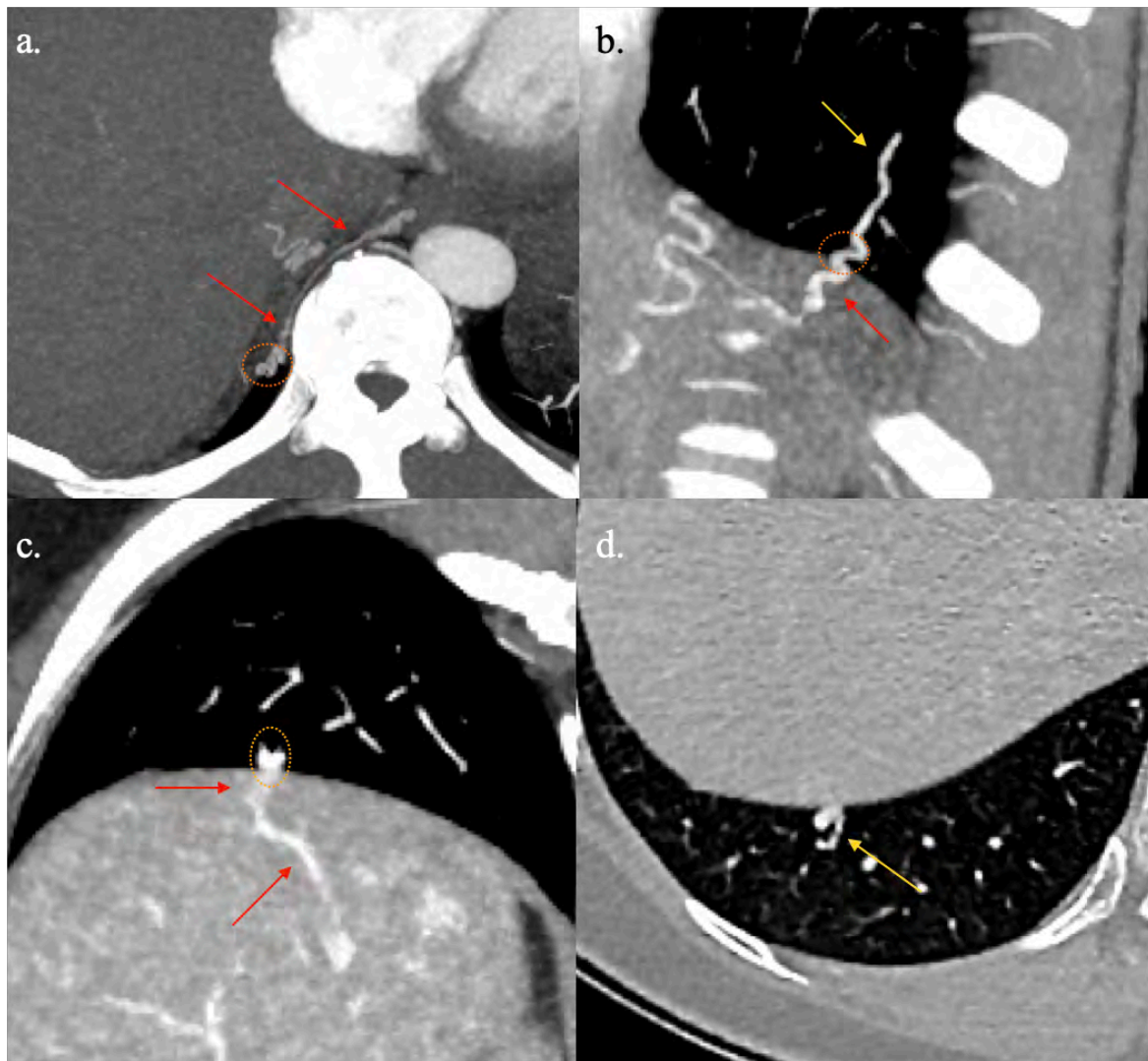


Figure 13. Recrutements artériels systémiques primaires de MAVPs. TDMs avec reconstructions MIP épais.
(a) & (b) Recrutement par une artère diaphragmatique inférieure droite tortueuse (flèches rouges) d'une MAVP sous-pleurale avec contingent artériel pulmonaire associé (flèche jaune). Il existait un doute sur un diagnostic différentiel de shunt direct artère systémique-artère pulmonaire, mais infirmé par la présence d'une veine pulmonaire efférente (non visible sur ces coupes) et d'un sac anévrismal millimétrique (cercles). **(c) & (d)** Recrutement par une branche artérielle hépatique (flèches rouges) se jetant directement dans le nidus (cercle), présence d'un contingent artériel pulmonaire associé (flèche jaune).

V- Objectifs de l'étude

L'objectif principal de l'étude est de déterminer les facteurs favorisant un recrutement systémique des MAVPs, qu'il soit primaire ou secondaire, notamment post-embolisation.

Tableau 2. Lexique utilisé pour les données recueillies

Recrutement artériel	Pulmonaire et/ou systémique « global »	Primaire (présent sur la 1 ^{ère} imagerie disponible)	
		Secondaire « global » (apparu au cours du suivi)	Hors embolisation
			Post-embolisation
Efficacité du traitement	Occlusion (sur la dernière imagerie disponible)		
	Reperméabilisation « globale »	Primaire (présente dès le 1 ^{er} contrôle TDM)	
		Secondaire (non présente au 1 ^{er} contrôle TDM)	
Causes de repermeabilisation	Embolisation incomplète (toutes les artères afférentes n'ont pas été traitées)		
	Recanalisation (passage de produit de contraste au travers du matériel d'embolisation)		
	Recrutement secondaire post-embolisation (pulmonaire et/ou systémique)		

Pour l'efficacité de l'embolisation, étaient considérées comme occluses au TDM de contrôle les MAVPs dont l'ensemble des artères afférentes n'étaient pas opacifiées ; était généralement associé un affaissement au moins partiel du nidus, mais ce critère n'a pas été mesuré. L'opacification des veines efférentes et du nidus n'étaient pas prises en compte car possible *a retro*.

3- Analyses statistiques

L'ensemble des analyses statistiques a été réalisé à l'aide du logiciel Statist[®] (version 25.7 pour Mac).

Pour les comparaisons entre deux valeurs qualitatives, le test Chi² a été utilisé (Yates en cas de tableau 2x2), avec calcul de l'odds ratio et du risque relatif.

Pour les comparaisons entre valeurs qualitatives et quantitatives : si la valeur qualitative a deux classes, ont été utilisés comme test paramétriques le z de l'écart-réduit pour les effectifs ≥ 30 , le t de Student si un effectif est < 30 , et le calcul d'un rapport de variance F ; comme test non paramétrique le U de Mann-Whitney. Si la valeur qualitative a plus de deux classes, ont été

utilisés le test paramétrique F de l'ANOVA et le test non paramétrique K de Kruskal-Wallis. Ces tests étaient bilatéraux, sauf précision si unilatéral.

Les comparaisons entre valeurs quantitatives faisaient appel au test paramétrique r de corrélation (pente de la droite de régression) où p est calculé à partir de la table de r, et au test non paramétrique Spear.

Un résultat devait avoir une valeur de p inférieure à 0,05 pour être considéré comme significatif. Dans certains cas, lorsque l'impossibilité d'obtenir un résultat significatif semblait potentiellement liée à des effectifs trop réduits, une fonctionnalité « Joker » a été testée, multipliant le nombre de cas par 2 sans en changer la répartition. Il est précisé lorsque ce « Joker » a permis d'obtenir des résultats significatifs ou non pour le test utilisé, posant la question d'une absence de lien significatif potentiellement liée à des effectifs trop faibles.

RESULTATS

I- Analyse descriptive

1- Épidémiologie

Les caractéristiques générales épidémiologiques des 63 patients analysés sont regroupées dans le **Tableau 3**. Aucune autre mutation qu'ENG ou ACVRL1 n'a été retrouvée, notamment SMAD4.

Tableau 3. Caractéristiques épidémiologiques par patient (n=63 patients)

Sexe	Homme	18 (29)	
	Femme	45 (71)	
Age (ans) *		44 (6-74)	
THH	Diagnostic selon Curaçao	Certain	50 (80)
		Possible	6 (10)
		Improbable	6 (10)
	Symptômes	Epistaxis	48 (76)
		Télangiectasies	46 (73)
		Atteinte hépatique	17 (27)
		Atteinte digestive	13 (21)
		Atteinte neurologique	9 (14)
	Antécédent familial		39 (62)
	Test génétique	Réalisé	46 (73)
		Positif ¹	37 (82)
		Mutation ²	ENG
	ACVRL1		11 (31)
Diagnostic THH		54 (86)	
Traités	Embolisation	43 (68)	
	Chirurgie	3 (5)	
Nombre MAVP/patient	Total*	4 (1-10+)	
	Traitées*	2 (1-7)	

Résultats sous la forme « nombre total (moyenne en %) », sauf « * » sous la forme « valeur moyenne (extrêmes) ».

¹Résultats au sein du groupe « réalisé ».

²Résultats au sein du groupe « positif »

2- Caractéristiques générales des MAVPs

Les caractéristiques générales des 97 MAVPs analysées sont regroupées dans le **Tableau 4**.

Le critère « diagnostic fortuit » signifiait diagnostic sur un TDM thoracique réalisé pour une autre raison qu'une recherche de MAVP.

Le critère « complications » désigne la présence d'une complication qu'elle soit initiale ou au cours du suivi. 1 patient a présenté 2 types de complications et 1 a présenté 3 types de complications. Parmi les complications emboliques, 8 accidents ischémiques cérébraux dont 6 constitués et 2 transitoires, 1 thrombose veineuse cérébrale profonde compliquée d'embolie pulmonaire et d'embolies paradoxales artérielles abdominales et carotidienne. Parmi les complications infectieuses, 4 abcès cérébraux et 1 pneumopathie. Parmi les complications gazométriques, 1 insuffisance respiratoire avérée. Parmi les complications hémorragiques, 1 hémoptysie et 1 hémothorax.

Pour la localisation, 2 MAVPs étaient bi-lobaires. Le critère sous-pleural était à 1cm ou moins de la plèvre ou la scissure. Parmi les 5 MAVP télangiectasiques, 3 étaient de type simples, 1 complexe, 1 indéterminée de découverte anatomopathologique post-lobectomie. 1 MAVP était de type diffus, chez une enfant de 6 ans.

Un recrutement systémique primaire était présent chez 6 MAVPs (6%), avec 1 patient en présentant 2, pour un total de 5 patients (5%).

Tableau 4. Caractéristiques générales des MAVPs (n=97 MAVPs)

THH diagnostiquée			87 (90)	
Circonstances diagnostiques		Dépistage THH	39 (40)	
		Sur complication	25 (26)	
		Suivi	5 (5)	
		Fortuit	13 (13)	
Complications¹		Toutes causes	17 (27)	
		Gazométrique	4 (6)	
		Embolique	8 (13)	
		Infectieuse	5 (8)	
		Hémorragique	2 (3)	
Localisation	Lobaire	Inférieur	50 (52)	
		Moyen/lingula	25 (26)	
		Supérieur/culmen	24 (25)	
	Sous-pleurale	Périphérique	74 (77)	
		Juxta-scissurale	18 (19)	
		Périph. et/ou juxta-sc.	82 (85)	
Classification		Simple	81 (84)	
		Complexe	15 (16)	
		Télangiectasique	5 (5)	
		Diffuse	1 (1)	
Recrutement pulmonaire segmentaires) (artères)	Nombre	Moyen*	1,1 (1-3)	
		Une	88 (91)	
		Deux	7 (7)	
		Trois	2 (2)	
	Diamètre maximal	Moyen (mm)*	3,3 (1-13)	
		≥3mm	52 (57)	
Recrutement systémique primaire		Présent	6 (6)	
		Artères	Nombre moyen*	1 (1-1)
			Diamètre maximal (mm)*	1,3 (0,5-1,5)
		Type d'artère ²	Diaphragmatique inférieure	3 (50)
			Intercostale	2 (33)
			Hépatique	1 (17)
Nidus		Diamètre moyen (mm)*	13 (3-50)	
Suivi TDM		Durée (ans)*	6 (0-17)	
		Nombre	5 (1-11)	
Traitement		Embolisation	70 (72)	
		Chirurgie	3 (3)	

Résultats sous la forme « nombre total (moyenne en %) », sauf « * » sous la forme « valeur moyenne (extrêmes) ».

¹Résultats par patient (n=63 patients).

²Résultats au sein du groupe « recrutement systémique primaire présent ».

3- MAVPs traitées

70 MAVPs ont été traitées par embolisation chez 43 patients. 3 MAVPs ont bénéficié d'une chirurgie chez 3 patients différents, à chaque fois avec embolisation antérieure, et un délai dernière embolisation-chirurgie de 1 à 2 jours pour 2 MAVPs et de 286 jours pour 1 MAVP.

Les caractéristiques générales des embolisations sont regroupées dans le **Tableau 5**. Nous disposons des informations sur les marques de coil utilisées pour 30 MAVP (49% des cas), avec 4 marques différentes : Terumo (Azur et Azur Cx, revêtement hydrogel, largage contrôlé), Cook (Nester, Jackson, Tornado à largage non contrôlé et Mreye à largage contrôlé, revêtement fibres), Boston Scientific (IDC nu et Interlock revêtement fibres, largage contrôlé), et Penumbra (Pod et Packing, nus, largage non contrôlé). Tous les plugs utilisés étaient de la marque Amplatzer (I et II).

L'*oversizing* en % est calculé par la formule « largeur matériel/diamètre artère – 1 ». Seules 3 embolisations (4%) ont généré une complication, avec 3 infarctus pulmonaires sur l'imagerie de contrôle, sans conséquence significative sur la fonction respiratoire. Aucune embolie systémique ou complication hémorragique n'a été rapportée.

Tableau 5. MAVPs embolisées, caractéristiques générales (n=70 MAVPs)

Nombre d'embolisations				Moyen*	1,3 (1-3)
				≥2	15 (21)
Délai diagnostic TDM/embolisation				Moyen (ans)*	1,7 (0,1-13)
				≤3 mois	29 (45)
Suivi TDM post-embolisation	Global		Présent	67 (96)	
			Durée (ans)*	5 (0-15)	
			Nombre*	4 (0-9)	
	Délai 1 ^{er} contrôle	Moyenne (mois)*	5 (0,2-45)		
		≤3 mois	31 (53)		
Type de matériel				Coils	61 (91)
				Coils uniquement	51 (78)
				Plug	14 (22)
				Plug uniquement	5 (8)
				Coils & plug	9 (14)
Marque du matériel		Coils ¹	Terumo	16 (53)	
			Cook	8 (27)	
			Boston Scientific	7 (23)	
			Penumbra	3 (10)	
		Plugs ²	Amplatzer I ou II	4 (100)	
Dimensions du matériel				Largeur maximale moyenne (mm)*	6,4 (3-14)
				Oversizing (%)*	66 (20-130)
Complication				Présente	3 (4)
				Type ³	Infarctus pulmonaire

Résultats sous la forme « nombre total (moyenne en %) », sauf « * » sous la forme « valeur moyenne (extrêmes) ».

¹Résultats au sein du groupe « traité par coils et marque précisée (n=30) ». 4 MAVPs avaient été traitées avec 2 marques différentes.

²Résultats au sein du groupe « traité par plug et marqué précisée (n=4) ».

³Résultats au sein du groupe « complication présente ».

4- Efficacité du traitement

La chronologie des embolisations, occlusions et reperméabilisations itératives des MAVPs est résumée dans la **Figure 15**. 24 MAVPs se sont reperméabilisées au cours du suivi, leurs caractéristiques sont résumées dans le **Tableau 6**.

Dans le cadre du recrutement systémique secondaire, une même patiente avait 3 MAVPs concernées, pour un total de 5 patients différents (8% des patients).

Tableau 6. MAVPs reperméabilisées

Reperméabilisation globale (n=24)	Cause** ¹	Délai moyen (ans)*		2 (0,02-9)
		Recanalisation		11 (48) / (16)
		Incomplet		10 (43) / (13)
		Recrutement secondaire	pulmonaire	1 (4) / (1)
		Recrutement secondaire	systémique	7 (30) / (10)
Reperméabilisation secondaire (n=8)	Cause	Délai moyen (ans)*		4 (0,75-9)
		Recanalisation		4 (50)
		Recrutement secondaire	systémique	4 (50)
Recrutement systémique secondaire (n=7)	Artères recrutées	Nombre moyen*		1,3 (1-2)
		Une		5 (71)
		Deux		2 (29)
		Diamètre moyen (mm)*		1,6 (1-4)
	Type d'artère ²	Diaphragmatique inférieure		5 (71)
		Thoracique interne		2 (29)
		Épigastrique		1 (14)
		Intercostale	1 (14)	
Reprise selon la cause (n=14)¹	Recanalisation		9 (82)	
	Incomplet		5 (50)	
	Recrutement systémique secondaire		3 (43)	

« n=x » : x est le nombre de MAVPs par catégorie.

Résultats sous la forme « nombre total (moyenne en %) », sauf « * » sous la forme « valeur moyenne (extrêmes) », et ** sous la forme « nombre total (moyenne en % sur les 24 MAVPs avec reperméabilisation globale) / (moyenne en % sur les 70 MAVPs traitées) ».

¹6 MAVPs avaient 2 causes différentes de reperméabilisation.

²2 patients présentaient 2 types d'artère différents pour un total de 9 artères.

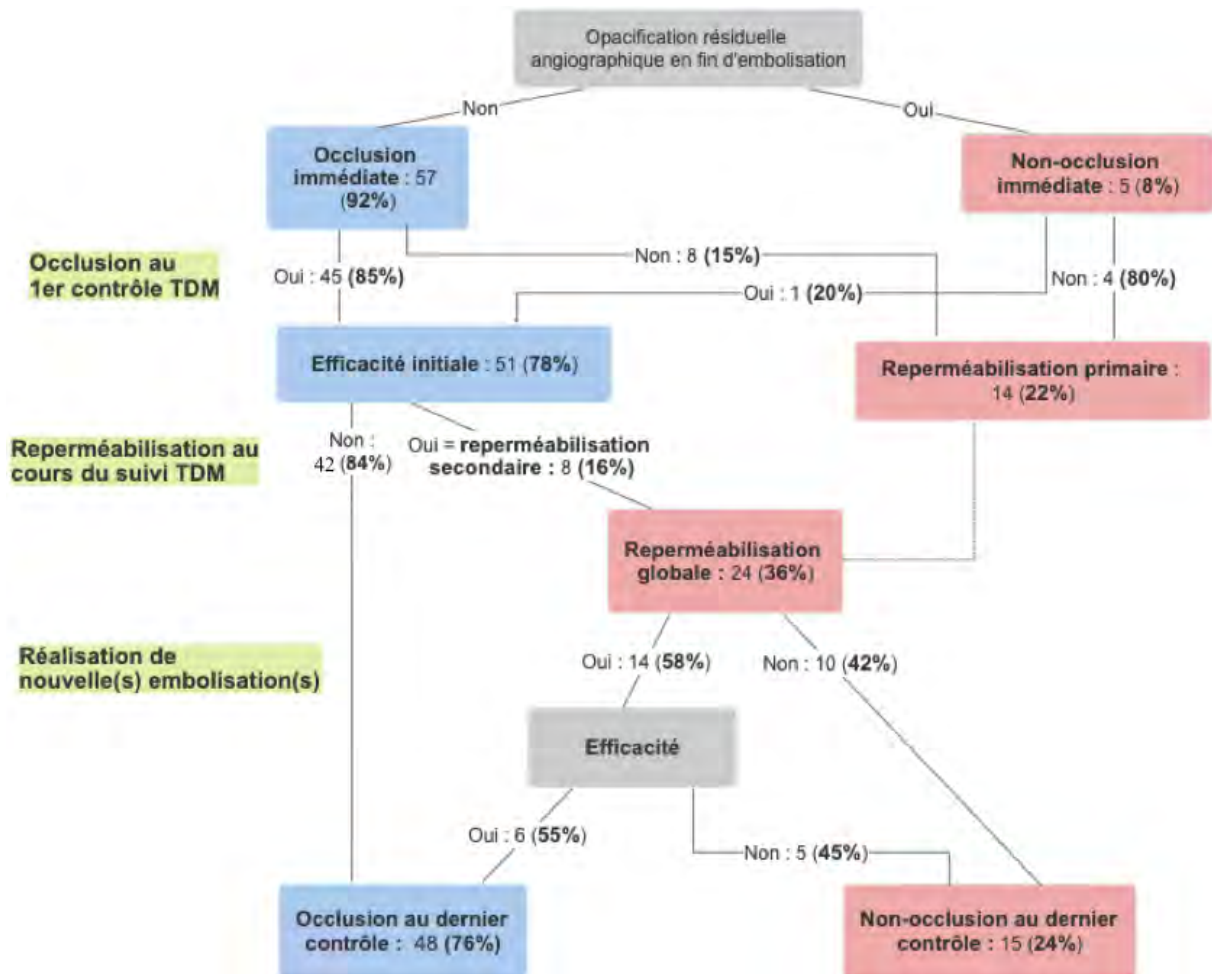


Figure 15. Embolisations et repermeabilisations, chronologie (n=70 MAVPs traitées)

5- MAVPs non traitées

27 MAVPs n'ont pas été traitées. Leur évolution est décrite dans le **Tableau 7**.

Tableau 7. MAVPs non traitées, évolution (n=27 MAVPs)

Stabilité	18 (75)
Augmentation	1 (4)
Diminution	2 (8)
Disparition	3 (13)
Recrutement systémique secondaire hors embolisation	0 (0)

Résultats sous la forme « nombre total (moyenne en %) ».

6- Recrutement systémique global

Les caractéristiques du recrutement systémique global sont regroupées dans le **Tableau 8**.

Tableau 8. Recrutement systémique global (n=97 MAVPs)

Présence du recrutement systémique	Primaire	6 (6)	
	Secondaire	Hors embolisation	0 (0)
		Post-embolisation (n=70 MAVPs traitées)	7 (10)
		Global	7 (8)
	Global ¹	12 (13)	
Recrutement systémique global : artères recrutées²		Nombre*	1,2 (1-2)
		Diamètre maximal moyen (mm)*	1,4 (0,5-4)
	Type	Diaphragmatique inférieure	8 (53)
		Intercostale	3 (20)
		Thoracique interne	2 (13)
		Épigastrique	1 (7)
Hépatique		1 (7)	

« n=x » : x est le nombre de MAVPs par catégorie.

Résultats sous la forme « nombre total (moyenne en %) », sauf « * » sous la forme « valeur moyenne (extrêmes) ».

¹1 MAVP présentait à la fois un recrutement systémique primaire et secondaire.

²Résultats au sein du groupe « recrutement systémique global présent ».

II. Analyse comparative

Les principaux critères évalués sont résumés dans le **Tableau 9**.

1- Complication pré-thérapeutique de la MAVP

Parmi les critères significatifs : taille de l'artère afférente (moyenne de 3,9mm pour les compliquées contre 2,8mm pour les non compliquées) ($p < 0,03$) et *cut-off* thérapeutique de 3mm (RR 1,85 au-dessus du *cut-off* [$p < 0,05$], 50% des MAVP au-dessus du *cut-off* étant compliquées) ; taille du nidus (16,4mm contre 11,3mm) ($p < 0,04$) ; caractère sous-pleural ($p < 0,05$) ; localisation lobaire moyenne ou linguale ($p < 0,05$). Le diagnostic de THH n'était pas un critère significatif, mais le type de mutation oui ($p < 0,02$), avec 0% de mutations ACVRL1 compliquées contre 39% d'ENG.

2- Décision d'embolisation

Parmi les critères significatifs : caractère compliqué ou non (100% des MAVPs compliquées ont été embolisées contre 50% pour les non-compliquées, soit un RR de 2) ($p < 0,001$) ; taille moyenne de l'artère (3,8mm pour les cas embolisés contre 1,8mm pour les non-embolisés) ($p < 0,01$) et *cut-off* de 3mm (96% contre 46%) ($p < 0,001$) ; taille moyenne du nidus (15,4mm contre 7mm) ($p < 0,01$). 2 patients au-dessus du *cut-off* n'ont pas été traités.

A noter que le diamètre du nidus était significativement lié au diamètre maximal de l'artère afférente, avec un r de corrélation de 0,69 ($p < 0,02$), ainsi qu'au *cut-off* de 3mm avec un diamètre moyen du nidus au-dessus du *cut-off* de 16,8mm contre 7,4mm ($p < 0,001$).

3- Embolisation : nombre, matériel utilisé, complications

Le nombre moyen d'embolisations des MAVPs était lié de façon significative au caractère simple ou complexe, avec 1,2 pour les simples contre 2,2 pour les complexes ($p < 0,01$).

Le matériel utilisé variait significativement en fonction de la taille maximale de l'artère segmentaire ($p < 0,01$) et du nidus ($p < 0,01$), avec un diamètre moyen artériel de 3,3mm & du nidus de 13mm pour les coils, 5,9mm & 22,8mm pour les plugs, 5,8mm & 27,1mm pour la combinaison des deux. Il variait également significativement en fonction du caractère simple ou complexe, avec en cas de caractère simple une utilisation plus fréquente de coils uniquement ($p < 0,05$), et en cas de caractère complexe une utilisation plus fréquente de plug ($p < 0,05$) et coils + plug ($p < 0,02$).

La présence d'une complication post-embolisation était liée de façon significative à l'utilisation de coils + plug ($p < 0,001$), avec 100% (n=3) des MAVPs compliquées d'infarctus pulmonaire ayant bénéficié de la pose de coils + plug, et 33% de MAVPs compliquées en cas d'utilisation de ces deux matériels. Cela peut s'expliquer par la différence significative du nombre d'artères embolisées en cas de coils + plug : 1,6 contre 1,1 pour les coils et 1 pour les plugs ($p < 0,01$).

Tableau 9. Corrélations statistiques entre les principaux critères étudiés

Critère étudié / FDR	Complication pré-traitement	Décision de traiter	Matériel utilisé	Complication post-embolisation	Efficacité initiale	Reperm. Secondaire	Chirurgie	RS primaire	RS secondaire post-embolisation	RS global
Sexe								X (H>F)		JX (H>F)
THH										
Mutation	X (ENG>ACVRL1)									
Complication pré traitement		+					J+			
Localisation sous-pleurale périphérique	+									J+
Type simple/complexe			Coils uniq. : S>C Plug : C>S Coils & plug : C>S		X (S>C)					
Nombre d'artères segmentaires						+				
Taille artère afférente	+	+	Coils/coils uniq. : - Plug/plug uniq. : + Coils & plug : +		-	+	+ ¹			
Diamètre nidus	+	+	Coils uniq. : - Plug : + Coils & plug : +		-	+	+			
Recrutement systémique primaire		J-								
Nombre d'embolisations									+ ¹	
Matériel utilisé				Coils & plug : +	Coils uniq. : +	Coils uniq. : - Plug : + Coils & plug : +	Coils uniq. : -		Coils & plug : J-	
Oversizing										
Complication post-embolisation						+				

Les symboles X, + et - signifient la présence d'une corrélation significative entre le critère étudié et le FDR correspondant.

+ signifie une corrélation positive, les deux variables évoluent dans la même direction.

- signifie une corrélation négative, les deux variables évoluent dans des directions opposées.

+ et - peuvent être utilisés pour les variables qualitatives uniquement en cas de caractère binaire « Présent/absent ».

En cas de variable qualitative binaire d'un autre type (« Sexe » et « Mutation »), X est utilisé, avec précision sous la forme « (facteur avec relation positive>facteur avec relation négative) ».

J utilisé en préfixe d'un symbole signifie une corrélation significative obtenue en utilisant le *Joker* (cf. *Matériel et méthodes-Analyses statistiques*).

¹Test unilatéral

4- Efficacité de l'embolisation

L'efficacité de l'embolisation initiale présentait comme critères significatifs : caractère simple ou complexe (RR de réussite de 6,6 pour le caractère simple) ($p < 0,01$) ; taille de l'artère segmentaire (3,5mm en cas de réussite contre 4,6mm en cas d'échec) ($p < 0,02$) ; diamètre du nidus (12,7mm contre 20,5mm) ($p < 0,01$). L'efficacité du traitement était également liée au matériel utilisé avec une réussite plus fréquente pour l'utilisation de coils uniquement ($p < 0,01$), mais il existe un biais car nous avons vu précédemment que le matériel utilisé variait lui aussi en fonction des caractéristiques morphologiques des MAVPs.

L'efficacité lors du 1^{er} contrôle TDM était corrélée au délai embolisation/TDM : 4 mois pour une réussite contre 16 mois pour un échec ($p < 0,01$).

5- Reperméabilisation secondaire

Parmi les critères significatifs : nombre d'artères segmentaires (1,3 en cas de reperméabilisation contre 1 en l'absence de reperméabilisation) ($p < 0,02$) ; taille de l'artère (5,3mm contre 3,4mm) ($p < 0,02$) ; diamètre du nidus (20,3mm contre 12,6mm) ($p < 0,02$) ; matériel utilisé (avec ici encore le même biais que celui décrit au paragraphe précédent) : RR pour coils uniquement de 7% contre 57% ($p < 0,01$), pour plug de 57% contre 8% ($p < 0,01$), pour coils + plug de 60% contre 9%, ($p < 0,02$) ; une complication (infarctus pulmonaire) post-embolisation (RR 100% contre 9%) ($p < 0,02$).

6- MAVPs non traitées

100% (3) des MAVPs ayant spontanément disparu étaient de type simple (effectifs trop faibles pour test χ^2). Aucun critère significatif n'a été retrouvé par ailleurs pour préjuger de l'évolution des MAVPs non traitées, notamment les critères de taille de l'artère afférente ou du nidus.

7- Recrutement systémique primaire

6 MAVPs présentaient un RSP. Le seul critère significatif était le sexe avec un recrutement systémique primaire plus présent chez les hommes (RR 9,8) ($p < 0,05$). 100% des MAVPs avec RSP présentaient une localisation sous-pleurale périphérique (« Joker » négatif). Aucune artère systémique primaire n'a été traitée, 2 MAVPs ont bénéficié d'une embolisation sur le versant pulmonaire uniquement.

8- Recrutement systémique secondaire post-embolisation

7 MAVPs présentaient un RSS, toutes de caractère « post-embolisation ». Le seul critère significatif était le nombre moyen d'embolisations avec une moyenne de 1,3 en cas de RSS présent contre 1,7 (unilatéral- $p < 0,05$). Les MAVPs traitées par utilisation combinée de coils et plug présentaient plus fréquemment un RSS avec un OR de 6,1 ($p < 0,02$), « Joker Chi² » positif. Les MAVPs traitées compliquées d'infarctus pulmonaire présentaient plus fréquemment un RSS avec un OR de 4,25 ($p < 0,5$ - « Joker » positif pour OR mais pas pour Chi²).

100% (n=5) des patients avec RSS avaient un diagnostic de THH (« Joker » négatif). Comme pour le recrutement primaire, 100% des MAVPs avec RSS présentaient une localisation sous-pleurale périphérique (« Joker » négatif).

Un recrutement secondaire n'était pas significativement lié à une reprise thérapeutique par embolisation.

A noter, pour le critère « recrutement systémique secondaire global », 100% (n=7) des cas étaient « post-embolisation » et 0% « hors-embolisation » ; ce critère « RSS global » était lié au critère « traitement par embolisation » de façon significative en cas d'utilisation du « Joker ».

9- Recrutement systémique global

12 MAVPs présentaient un RS toutes causes confondues. 1 MAVP présentait à la fois un recrutement systémique primaire et secondaire. Aucun critère significatif n'a été mis en évidence. Les hommes présentaient plus fréquemment des MAVPs avec recrutement systémique global, avec un « Joker » positif. 100% des MAVPs avec RSG présentaient une localisation sous-pleurale périphérique, avec « Joker » positif.

DISCUSSION

Dans cette étude observationnelle monocentrique rétrospective basée sur 63 patients et 97 MAVPs, plusieurs points peuvent être soulignés, du point de vue épidémiologique, clinique, radiologique et du suivi.

Du point de vue épidémiologique, les caractéristiques générales des MAVPs par patient étaient en accord avec les données de la littérature : prédominance féminine, contexte de THH, prédominance de la mutation ENG^{2,3}. Le test génétique de THH était réalisé chez la majorité des patients, y compris ceux classés « improbables » selon les critères de Curaçao ; dans ce sous-groupe, 5 patients ont été testés sur 6 (soit 83% d'entre eux), avec 1 patient sur les 5 testé positif. Il ne présentait comme critère que l'atteinte viscérale profonde, avec une atteinte hépatique associée en plus de la MAVP. La réalisation du test génétique chez les patients « improbables » peut donc apparaître justifiée en cas de forte suspicion de THH. Le diagnostic de MAVP était dans la majorité des cas (40%) sur dépistage dans un cadre de THH, et dans plus d'un quart des cas (26%) sur complication de la MAVP.

On note une fréquence élevée de complication des MAVPs, chez plus d'un quart des patients (27%) de notre échantillon. Les plus fréquentes étaient les complications emboliques (13% des patients) et infectieuses (8%), avec prédominance de l'atteinte neurologique (8 accidents ischémiques, 1 thrombose veineuse et 4 abcès cérébraux), justifiant la prise en charge préventive. Les complications hémorragiques étaient rares, traitées dans les deux cas par embolisation puis chirurgie rapide. Ces deux MAVPs ne présentaient pas de recrutement systémique (décrit comme pouvant majorer le risque hémorragique). Ces données sont en accord avec la littérature^{3,10}, sauf pour les complications gazométriques, qui présentaient une faible prévalence ; cela peut potentiellement s'expliquer par un grand nombre de MAVPs diagnostiquées via dépistage dans le cadre de la THH, en l'absence de symptôme respiratoire. Le risque de complication était significativement lié au diamètre de l'artère afférente et notamment au *cut-off* de 3mm, en accord avec les recommandations thérapeutiques ; ainsi qu'au diamètre du nidus. En revanche le caractère simple ou complexe n'avait pas de lien significatif avec le risque de complication ; on peut formuler l'hypothèse que l'importance du shunt droite-gauche est plus liée au volume de la MAVP (artères et nidus) qu'au nombre d'artères recrutées. Le diamètre du nidus étant significativement lié au diamètre artériel, l'intérêt de l'ajout d'un critère morphologique du nidus en plus de celui artériel n'apparaît pas évident. Le diagnostic de THH ne majorait pas significativement le risque de complication, mais le type de mutation si, avec aucune complication retrouvée chez les patients mutés AVCRL1.

D'un point de vue descriptif anatomique à l'imagerie, nos résultats étaient en accord avec la littérature : caractère multiple¹⁴ ; prédominance sous-pleurale périphérique, aux lobes inférieurs¹³ ; prédominance du type simple ; rareté des formes télangiectasiques et diffuses, ainsi que du recrutement systémique primaire. Le suivi par imagerie était long (6 ans en moyenne, allant jusqu'à 17 ans), avec de multiples TDMs (5 en moyenne).

Du point de vue de la thérapeutique, la nécessité d'un traitement par embolisation est fréquente avec près de 2/3 (68%) des patients traités. En accord avec la littérature, le matériel utilisé était dans la majorité des cas des coils uniquement, les plugs étant plus fréquemment utilisés pour les MAVPs aux artères afférentes volumineuses²⁴. La combinaison coils + plug était plus utilisée pour les MAVPs complexes, majorant de fait le risque d'infarctus pulmonaire, un plus grand nombre d'artères traitées signifiant une amputation majorée du territoire vasculaire. Ces complications étaient toutefois rares, et aucune complication mettant en jeu le pronostic vital n'a été rapportée, notamment embolique.

Nous avons un *oversizing* moyen de 66%, bien au-dessus des limites inférieures recommandées de 20 à 30%. Ceci pourrait s'expliquer dans notre expérience par la discordance entre le diamètre mesuré au scanner et celui mesuré à l'angiographie, potentiellement liée à des variations respiratoires. Cela pourrait faire le sujet d'une étude ultérieure.

Du point de vue de l'efficacité thérapeutique, près de 4/5 (78%) des MAVPs étaient occluses au 1^{er} contrôle TDM. A titre de comparaison, nous n'avons pas trouvé d'étude dans la littérature décrivant précisément ce taux de réussite au contrôle initial. Cette réussite technique initiale ne doit pas faire baisser la garde des médecins quant au suivi des patients. En effet, 16% des patients initialement traités de manière optimale ont présenté une reperméabilisation secondaire, avec un délai moyen embolisation-reperméabilisation de 2 ans pouvant aller jusqu'à 9 ans, justifiant le suivi par imagerie à long terme chez les patients traités.

En regroupant toutes les causes, un peu plus d'1/3 (36%) des MAVPs se sont reperméabilisées au cours du suivi, la cause principale était la recanalisation de l'artère traitée (16%, en accord avec les données de la littérature où le taux est estimé à 15-20%^{13,34}). Il y avait un certain nombre d'embolisations incomplètes, parfois découvertes à posteriori, démontrant l'importance d'une analyse anatomique précise des artères afférentes sur le TDM, et la nécessité d'un cathétérisme sélectif ou hyper-sélectif dans les vaisseaux cibles, souvent difficile, notamment s'il s'agit de collatérales de petite taille.

Le taux de recrutement systémique secondaire post-embolisation, calculé à 10% des MAVPs traitées, était plus élevé que dans les rares autres études ayant étudié ce facteur (1 sur 64 MAVPs dans l'étude de *Remy-Jardin et al.*⁹ ; 0 sur 53 MAVP dans l'étude de *Brillet et al.*¹⁴). Il est à noter qu'un seul recrutement artériel pulmonaire a été retrouvé, avec visualisation de petites collatérales à l'angiographie de contrôle. Il est cependant possible que des petites collatérales non visibles macroscopiquement au TDM aient été recrutées dans d'autres cas, notamment lors de recanalisation de l'artère traitée.

Les critères liés à une meilleure efficacité du traitement initial étaient essentiellement anatomiques : caractère simple, diamètre moindre de l'artère afférente et du nidus. Le matériel utilisé constituait également un critère significatif, probablement lié à un biais confondant : le matériel utilisé était également corrélé à la morphologie de la MAVP. L'*oversizing* n'a pas eu de lien significatif avec l'efficacité du traitement et notamment avec le risque de recanalisation de l'artère traitée, comme cela avait été décrit dans une étude³⁷.

Un peu moins de la moitié des MAVPs reperméabilisées n'ont pas été retraitées, et aucune d'entre elles n'a présenté de complication lors du suivi. Ceci s'explique probablement par une diminution du shunt droite-gauche (affaissement du nidus, diminution du débit artériel) suffisante pour limiter les risques de complication malgré une occlusion « imparfaite » (persistance d'une opacification artérielle) en imagerie.

Ainsi la reprise en cas de reperméabilisation ne doit pas être systématique, discutée au cas par cas en fonction des critères morphologiques et de la récurrence de complications.

Les reprises par embolisation (jusqu'à 3 embolisations par MAVP), lorsque jugées nécessaires, ont permis une amélioration du taux d'occlusion, calculé à 76% au dernier contrôle TDM.

Du point de vue chirurgical, et malgré un très faible effectif (3 patients ont été opérés), tous présentent une histoire particulière avec complications notamment hémorragiques chez 2 d'entre eux.

Une patiente a présenté une hémoptysie, sans MAVP visible scanographiquement, mais retrouvée après analyse anatomopathologique de la pièce chirurgicale. La seconde patiente présentait une MAVP simple connue depuis 5 ans, compliquée d'hémothorax (**Figure 7**), traitée par embolisation à priori complète mais complétée d'une chirurgie par résection atypique dans les suites immédiates. Le troisième patient présentait une volumineuse MAVP lobaire moyenne découverte sur pneumopathie de ce lobe. Cette MAVP complexe présentait une artère pulmonaire afférente et un probable RSP diaphragmatique associé ; les embolisations itératives sur les versants pulmonaire puis systémique et n'ont pas permis d'obtenir une occlusion au

TDM, avec notamment un RSS par une volumineuse branche thoracique interne de 4mm. Une lobectomie moyenne a finalement été réalisée 9 mois après la dernière embolisation.

Ces observations sont en accord avec les recommandations de réserver la chirurgie aux rares cas de complications hémorragiques insuffisamment tarées par l'embolisation, ainsi qu'aux MAVPs compliquées trop volumineuses ou diffuses pour être traitées entièrement par cathétérisme⁴⁶.

Concernant les MAVPs non traitées, aucun critère significatif n'a été retrouvé pour préjuger de leur évolution. Les 3/4 sont restées stables. 1 seule a augmenté de taille, mais ce nombre est biaisé car certaines MAVPs ayant augmenté de taille ont été traitées et n'ont pas été classées dans « non traitées » ; et le critère d'augmentation de taille n'a pas été mesuré dans le groupe « MAVPs traitées », cela n'étant pas l'objet de notre étude. Le nombre réel pourrait ainsi être plus en accord avec une étude¹⁰ ayant retrouvé un chiffre de 20% de MAVPs augmentant spontanément de taille.

A noter, 3 MAVPs ont spontanément disparu, toutes de type simple, et de localisation sous-pleurale. A ce jour, nous n'avons pas trouvé de publication ayant décrit des disparitions de MAVPs. Ceci pourrait s'expliquer en partie par leur localisation sous-pleurale, qui entrainerait un effet compressif sur les artères afférentes, tarissant ainsi l'alimentation artérielle pulmonaire et mettant le nidus en ischémie.

Concernant le recrutement systémique primaire (RSP), conformément aux données de la littérature, la fréquence était de 6%. Ce risque était significativement plus présent chez les hommes, élément pouvant faire l'objet d'une analyse complémentaire sur une autre étude plus vaste. Sa présence ne majorait pas le risque de complication pré-thérapeutique ni de réalisation d'un geste thérapeutique, avec seulement 1/3 des MAVPs avec RSP ayant été traitées. Ces 2 cas traités l'ont été seulement sur le versant pulmonaire, et le suivi a montré une diminution du nidus dans un cas, et une discrète augmentation dans l'autre cas. Il n'y a pas eu de complication de ces MAVPs lors du suivi alors que seul le versant systémique persistait.

Concernant le recrutement systémique secondaire (RSS), aucun RSS « hors embolisation » n'a été mis en évidence, l'ensemble des cas étant de survenue « post-embolisation », correspondant aux données de la littérature décrivant l'embolisation comme un facteur de risque de ce recrutement. Un nombre d'embolisations plus élevé était associé à un plus grand risque de RSS, avec notamment une MAVP embolisée à 3 reprises ayant présenté

un recrutement secondaire 11 ans après la première embolisation. L'utilisation combinée de coils et plug, favorisant le risque d'infarctus, était plus fréquemment associée à ce recrutement, corroborant l'hypothèse d'une néo-angiogénèse systémique compensatrice post-infarctus (**Figure 16**). L'ensemble des patients présentant un RSS étaient diagnostiqués THH, ici encore en rapport avec un contexte de néo-angiogénèse majorée. Une MAVP a été découverte sur une pneumopathie lobaire contiguë ; en l'absence d'imagerie antérieure, on ne peut déterminer si le recrutement systémique est apparu à cause de la pneumopathie (l'inflammation pleurale étant un facteur de risque). La présence d'un RSS ne majorait pas le risque de reprise thérapeutique : dans notre cohorte, seules 2 MAVPs à recrutement systémique secondaire ont été traitées sur le versant systémique. Une patiente initialement traitée sur le versant pulmonaire a présenté une reperméabilisation mixte, par recrutement secondaire mixte, à la fois pulmonaire et diaphragmatique inférieur. Le traitement de l'artère diaphragmatique par coils n'a pas permis une occlusion, cette dernière reperméabilisée directement en aval du matériel potentiellement par des collatérales non visibles au TDM, ainsi qu'en distalité par des anastomoses thoraciques internes (**Figure 17**). Il n'y a pas eu de reprise thérapeutique car le nidus était diminué. L'histoire du second patient a déjà été décrite dans le paragraphe *Chirurgie*. Il présentait une volumineuse MAVP lobaire moyenne complexe, avec un RSP probablement déjà présent sur le versant diaphragmatique avant embolisation du versant pulmonaire. Après deux gestes sur le versant pulmonaire ayant permis une occlusion de ce dernier, les vaisseaux systémiques adjacents épigastriques et thoraciques internes sont devenus mieux visibles, et le RSS a été confirmé lors de la 3ème angiographie. Le traitement par coils de l'artère diaphragmatique (**Figure 18**) (considéré comme un traitement de RSS car non certain sur les imageries pré-embolisations, et nettement majoré après les embolisations itératives) et de l'artère thoracique interne n'a pas permis une diminution suffisante du nidus avec persistance d'une importante collatéralité pariétale antérieure. Une chirurgie a finalement dû être réalisée.

Concernant le recrutement systémique global, la présence d'un recrutement artériel systémique toutes causes confondues était plus élevée que dans les données de la littérature, calculée à 13% des MAVPs. Toutes ces MAVPs étaient de localisation sous-pleurale périphérique, en accord avec l'anatomie de la vascularisation systémique du poumon qui se fait par néo-angiogénèse trans-pleurale. Le caractère juxta-scissural n'était pas un facteur de risque significatif, les scissures n'accueillant pas de vaisseaux à l'état physiologique. Les artères recrutées étaient généralement de petite taille, la grande majorité inférieure à 2mm de diamètre (1,4mm en moyenne). Le type d'artère était diaphragmatique inférieur dans plus de la moitié

des cas. Étaient également recrutées par fréquence décroissante des artères de type intercostal, thoracique interne, épigastrique et hépatique. Aucune artère bronchique n'a été recrutée.

Il n'y a pas de recommandation thérapeutique établie à notre connaissance concernant les MAVPs à recrutement systémique. Plusieurs éléments permettent toutefois de formuler des hypothèses. Premièrement, sur le plan des complications, on rappelle que la théorie physiopathologique principale expliquant le risque majoré d'infections et de thrombophilie des MAVPs est la présence d'un shunt droite-gauche avec altération de la filtration capillaire pulmonaire. Quant au RS, qui n'entraîne qu'un shunt gauche-gauche, l'hypothèse soulevée dans la littérature serait une majoration du risque hémorragique en raison d'un débit augmenté. Cependant cela n'a jamais été prouvé à notre connaissance^{14,45}, et, dans notre étude, aucune complication hémorragique n'a été retrouvée toutes causes de RS confondues. Le risque de complications non hémorragiques n'était pas majoré non plus en cas de RS.

Deuxièmement, concernant le rapport bénéfice/risque d'un traitement de ces MAVPs à RS, il est important de prendre en compte que certaines de ces localisations anatomiques peuvent être difficiles à cathétériser, que ce soit l'accès à l'ostium ou le cathétérisme jusqu'en distalité du vaisseau, avec parfois des artères longues, sinueuses (artères diaphragmatiques notamment), et souvent de petit calibre comme vu précédemment. De plus, le réseau systémique est décrit comme moins compliant⁴⁷ que le réseau pulmonaire, avec un risque traumatique vasculaire (dissection, rupture) potentiellement majoré lors du geste, nécessitant également une adaptation du matériel occlusif utilisé.

Enfin, dans notre étude, les deux seules MAVPs avec RS ayant été traitées sur le versant systémique se sont reperméabilisées par la suite ; le risque d'échec thérapeutique pourrait potentiellement être plus important en raison d'une néo-angiogénèse et/ou ouverture de collatérales majorées sur le versant systémique comparativement au versant pulmonaire.

Ainsi, le traitement du versant systémique ne semble pas recommandé en première intention, lorsque le contingent pulmonaire est occlus et le patient asymptomatique. Cependant, une étude complémentaire de plus grande puissance pourrait permettre de déterminer s'il existe vraiment un risque hémorragique majoré en cas de RS. On peut théoriser que, si présent, ce risque hémorragique soit lié à des critères morphologiques tels qu'un volume artériel systémique élevé, ou une augmentation de taille du nidus, qui pourraient alors devenir des critères d'indication thérapeutique.

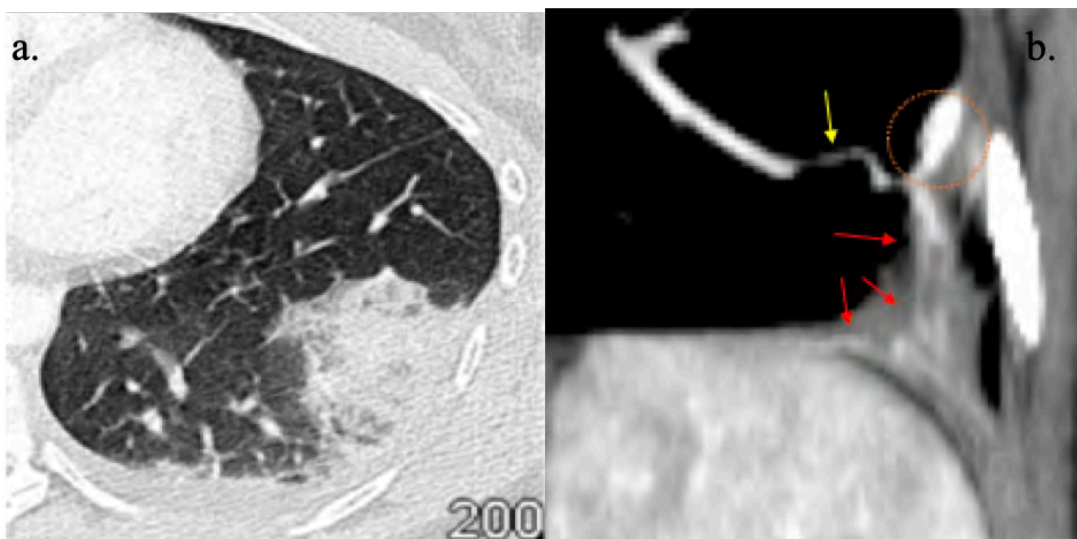


Figure 16. Infarctus pulmonaire post-embolisation compliqué de recrutement systémique secondaire.

(a) Aspect TDM typique d'infarctus sous la forme d'une condensation alvéolaire arrondie sous-pleurale. (b) 9 mois plus tard, recrutement systémique secondaire post-embolisation par une branche de l'artère diaphragmatique inférieure gauche (flèches rouges). Flèche jaune : Artère pulmonaire afférente. Cercle : nidus. TDM en reconstruction MIP épais.

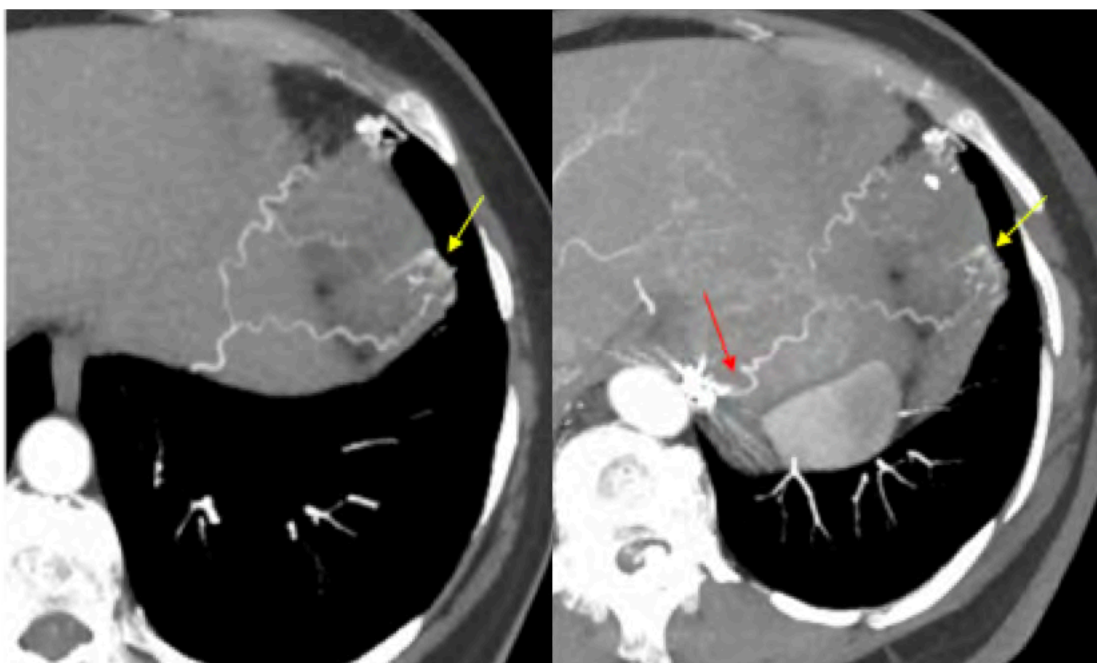


Figure 17. Recrutement systémique secondaire diaphragmatique inférieur et embolisation par coils avec repermeabilisation. TDM pré- (a) et post- (b) embolisation en reconstruction MIP épais. Repermeabilisation artérielle directement en aval des coils (flèche rouge). Flèches jaunes : nidus.

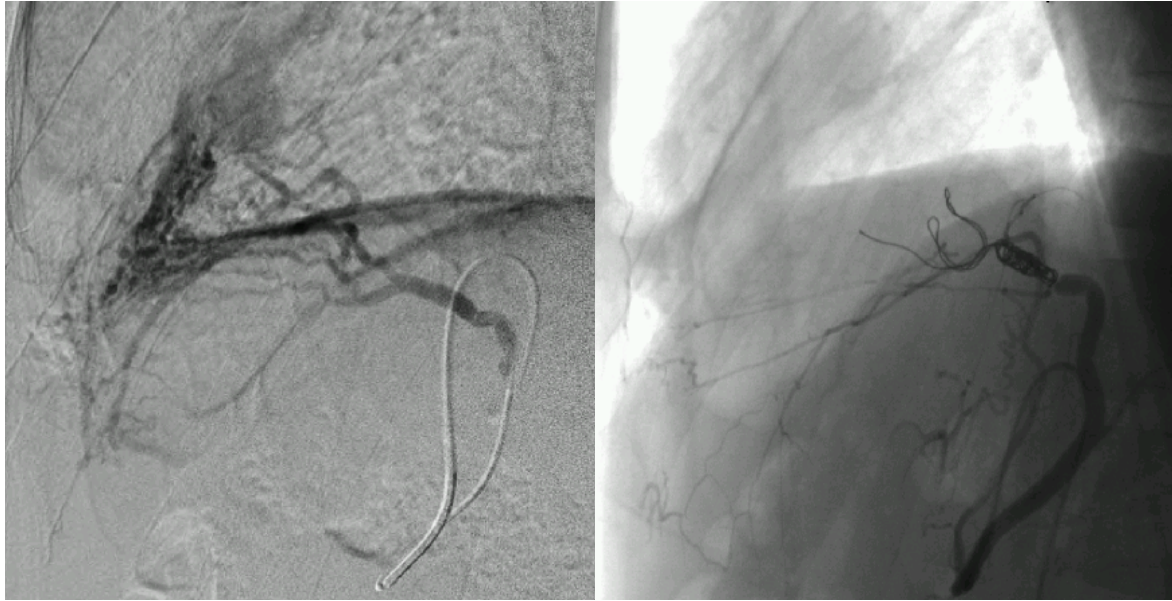




Figure 18. Embolisation par coils d'un recrutement artériel diaphragmatique inférieur avec contrôle angiographique satisfaisant.

CONCLUSION

Les malformations artério-veineuses pulmonaires à recrutement pulmonaire sont documentées par de multiples articles et présentent des recommandations thérapeutiques établies. Les résultats de notre étude sur ce sujet sont concordants avec ceux de la littérature. En revanche, le recrutement artériel systémique, primaire ou secondaire, est peu étudié dans la littérature. Dans cette étude monocentrique observationnelle rétrospective, basée sur 63 patients et 97 MAVPs, le sexe masculin, la localisation sous-pleurale, la prise en charge par embolisation notamment en cas de MAVP volumineuse et/ou complexe favorisant le risque d'infarctus pulmonaire et d'embolisations itératives étaient des facteurs liés à la présence d'un recrutement systémique. Certains auteurs ont théorisé une majoration des complications hémorragiques par le shunt gauche-gauche, mais cela n'a jamais été prouvé à notre connaissance dans la littérature et n'a pas été mis en évidence dans notre étude. Le traitement du versant systémique ne semble donc pas recommandé en l'absence de symptômes et d'importante majoration morphologique de la MAVP. Toutefois cette étude présente des limites, principalement représentées par son caractère monocentrique et son effectif relativement faible notamment en sous-groupes. Des études complémentaires multicentriques de plus grande puissance pourraient permettre de mettre en évidence d'éventuels autres facteurs de risques de recrutement systémique et de déterminer plus précisément son impact clinique, radiologique et ses indications thérapeutiques.

Vu et permis d'imprimer
Le Président de l'Université Toulouse III – Paul Sabatier
Faculté de Santé
Par délégation,
La Doyenne-Directrice
Du Département de Médecine, Maïeutique, Paramédical
Professeure Odile RAUZY

Avis favorable
MHC 25/1/29



Bibliographie

1. Blivet S, Lacombe P, Chinnet T. Malformations artério-veineuses pulmonaires. *Rev Mal Respir Actual*. 2011;3:S61-S66. doi:10.1016/S1877-1203(11)70035-0
2. Khurshid I, Downie GH. Pulmonary arteriovenous malformation. *Postgrad Med J*. 2002;78(918):191-197. doi:10.1136/pmj.78.918.191
3. Dupuis-Girod S, Cottin V, Shovlin CL. The Lung in Hereditary Hemorrhagic Telangiectasia. *Respiration*. 2017;94(4):315-330. doi:10.1159/000479632
4. Faughnan ME, Palda VA, Garcia-Tsao G, et al. International guidelines for the diagnosis and management of hereditary haemorrhagic telangiectasia. *J Med Genet*. 2011;48(2):73-87. doi:10.1136/jmg.2009.069013
5. Faughnan ME, Granton JT, Young LH. The pulmonary vascular complications of hereditary haemorrhagic telangiectasia. *Eur Respir J*. 2009;33(5):1186-1194. doi:10.1183/09031936.00061308
6. Shovlin CL, Guttmacher AE, Buscarini E, et al. Diagnostic criteria for hereditary hemorrhagic telangiectasia (Rendu-Osler-Weber syndrome). *Am J Med Genet*. 2000;91(1):66-67. doi:10.1002/(sici)1096-8628(20000306)91:1<66::aid-ajmg12>3.0.co;2-p
7. White RI, Pollak JS, Wirth JA. Pulmonary arteriovenous malformations: diagnosis and transcatheter embolotherapy. *J Vasc Interv Radiol JVIR*. 1996;7(6):787-804. doi:10.1016/s1051-0443(96)70851-5
8. Gill SS, Roddie ME, Shovlin CL, Jackson JE. Pulmonary arteriovenous malformations and their mimics. *Clin Radiol*. 2015;70(1):96-110. doi:10.1016/j.crad.2014.09.003
9. Remy-Jardin M, Dumont P, Brilllet PY, Dupuis P, Duhamel A, Remy J. Pulmonary arteriovenous malformations treated with embolotherapy: helical CT evaluation of long-term effectiveness after 2-21-year follow-up. *Radiology*. 2006;239(2):576-585. doi:10.1148/radiol.2391050333
10. Pollak JS, Saluja S, Thabet A, Henderson KJ, Denbow N, White RI. Clinical and anatomic outcomes after embolotherapy of pulmonary arteriovenous malformations. *J Vasc Interv Radiol JVIR*. 2006;17(1):35-44; quiz 45. doi:10.1097/01.RVI.0000191410.13974.B6
11. Prager RL, Laws KH, Bender HW. Arteriovenous fistula of the lung. *Ann Thorac Surg*. 1983;36(2):231-239. doi:10.1016/s0003-4975(10)60465-1
12. Trerotola SO, Pyeritz RE. PAVM embolization: an update. *AJR Am J Roentgenol*. 2010;195(4):837-845. doi:10.2214/AJR.10.5230
13. Gupta P, Mordin C, Curtis J, Hughes JMB, Shovlin CL, Jackson JE. Pulmonary arteriovenous malformations: effect of embolization on right-to-left shunt, hypoxemia, and exercise tolerance in 66 patients. *AJR Am J Roentgenol*. 2002;179(2):347-355. doi:10.2214/ajr.179.2.1790347
14. Brilllet PY, Dumont P, Bouaziz N, et al. Pulmonary arteriovenous malformation treated with embolotherapy: systemic collateral supply at multidetector CT angiography after 2-20-year follow-up. *Radiology*. 2007;242(1):267-276. doi:10.1148/radiol.2421041571
15. Shovlin CL, Sodhi V, McCarthy A, Lasjaunias P, Jackson JE, Sheppard MN. Estimates of maternal risks of pregnancy for women with hereditary haemorrhagic telangiectasia (Osler-Weber-Rendu syndrome): suggested approach for obstetric services. *BJOG Int J Obstet Gynaecol*. 2008;115(9):1108-1115. doi:10.1111/j.1471-0528.2008.01786.x
16. Contegiacomo A, Del Ciello A, Rella R, et al. Pulmonary arteriovenous malformations: what the interventional radiologist needs to know. *Radiol Med (Torino)*. 2019;124(10):973-988. doi:10.1007/s11547-019-01051-7
17. Toupchiani S, Hegab S, Rana DES, Ainley A. A systemic arterial-pulmonary arterial shunt mimicking a pulmonary embolism on CT pulmonary angiogram. *Radiol Case Rep*. 2023;18(5):1905-1908. doi:10.1016/j.radcr.2023.02.029

18. Cottin V, Plauchu H, Bayle JY, Barthelet M, Revel D, Cordier JF. Pulmonary arteriovenous malformations in patients with hereditary hemorrhagic telangiectasia. *Am J Respir Crit Care Med.* 2004;169(9):994-1000. doi:10.1164/rccm.200310-1441OC
19. Shimohira M, Kiyosue H, Osuga K, et al. Location of embolization affects patency after coil embolization for pulmonary arteriovenous malformations: importance of time-resolved magnetic resonance angiography for diagnosis of patency. *Eur Radiol.* 2021;31(7):5409-5420. doi:10.1007/s00330-020-07669-w
20. Mager JJ, Overtoom TTC, Blauw H, Lammers JWJ, Westermann CJJ. Embolotherapy of pulmonary arteriovenous malformations: long-term results in 112 patients. *J Vasc Interv Radiol JVIR.* 2004;15(5):451-456. doi:10.1097/01.rvi.0000126811.05229.b6
21. Chamarchy MR, Park H, Sutphin P, et al. Pulmonary arteriovenous malformations: endovascular therapy. *Cardiovasc Diagn Ther.* 2018;8(3):338-349. doi:10.21037/cdt.2017.12.08
22. Boother EJ, Brownlow S, Tighe HC, Bamford KB, Jackson JE, Shovlin CL. Cerebral Abscess Associated With Odontogenic Bacteremias, Hypoxemia, and Iron Loading in Immunocompetent Patients With Right-to-Left Shunting Through Pulmonary Arteriovenous Malformations. *Clin Infect Dis Off Publ Infect Dis Soc Am.* 2017;65(4):595-603. doi:10.1093/cid/cix373
23. Hayashi S, Baba Y, Senokuchi T, Nakajo M. Efficacy of venous sac embolization for pulmonary arteriovenous malformations: comparison with feeding artery embolization. *J Vasc Interv Radiol JVIR.* 2012;23(12):1566-1577; quiz p. 1581. doi:10.1016/j.jvir.2012.09.008
24. Shimohira M, Kawai T, Ohta K. An Update on Embolization for Pulmonary Arteriovenous Malformations. *Interv Radiol.* 2023;8(2):56-63. doi:10.22575/interventionalradiology.2021-0030
25. Prasad V, Chan RP, Faughnan ME. Embolotherapy of pulmonary arteriovenous malformations: efficacy of platinum versus stainless steel coils. *J Vasc Interv Radiol JVIR.* 2004;15(2 Pt 1):153-160. doi:10.1097/01.rvi.0000106390.63463.05
26. White RI. Pulmonary arteriovenous malformations: how do I embolize? *Tech Vasc Interv Radiol.* 2007;10(4):283-290. doi:10.1053/j.tvir.2008.03.007
27. Andersen PE, Duvnjak S, Gerke O, Kjeldsen AD. Long-Term Single-Center Retrospective Follow-Up After Embolization of Pulmonary Arteriovenous Malformations Treated Over a 20-year Period: Frequency of Re-canalization with Various Embolization Materials and Clinical Outcome. *Cardiovasc Intervent Radiol.* 2019;42(8):1102-1109. doi:10.1007/s00270-019-02204-x
28. Tau N, Atar E, Mei-Zahav M, et al. Amplatzer Vascular Plugs Versus Coils for Embolization of Pulmonary Arteriovenous Malformations in Patients with Hereditary Hemorrhagic Telangiectasia. *Cardiovasc Intervent Radiol.* 2016;39(8):1110-1114. doi:10.1007/s00270-016-1357-7
29. Trerotola SO, Pyeritz RE. Does use of coils in addition to amplatzer vascular plugs prevent recanalization? *AJR Am J Roentgenol.* 2010;195(3):766-771. doi:10.2214/AJR.09.3953
30. Ratnani R, Sutphin PD, Koshti V, et al. Retrospective Comparison of Pulmonary Arteriovenous Malformation Embolization with the Polytetrafluoroethylene-Covered Nitinol Microvascular Plug, AMPLATZER Plug, and Coils in Patients with Hereditary Hemorrhagic Telangiectasia. *J Vasc Interv Radiol JVIR.* 2019;30(7):1089-1097. doi:10.1016/j.jvir.2019.02.025
31. Conrad MB, Ishaque BM, Surman AM, et al. Intraprocedural Safety and Technical Success of the MVP Micro Vascular Plug for Embolization of Pulmonary Arteriovenous Malformations. *J Vasc Interv Radiol JVIR.* 2015;26(11):1735-1739. doi:10.1016/j.jvir.2015.08.005

32. Vaidya S, Tozer KR, Chen J. An overview of embolic agents. *Semin Interv Radiol*. 2008;25(3):204-215. doi:10.1055/s-0028-1085930
33. Meek ME, Meek JC, Beheshti MV. Management of Pulmonary Arteriovenous Malformations. *Semin Interv Radiol*. 2011;28(1):24-31. doi:10.1055/s-0031-1273937
34. Lee DW, White RI, Egglin TK, et al. Embolotherapy of large pulmonary arteriovenous malformations: long-term results. *Ann Thorac Surg*. 1997;64(4):930-939; discussion 939-940. doi:10.1016/s0003-4975(97)00815-1
35. Gossage JR, Kanj G. Pulmonary arteriovenous malformations. A state of the art review. *Am J Respir Crit Care Med*. 1998;158(2):643-661. doi:10.1164/ajrccm.158.2.9711041
36. Gamondès D, Si-Mohamed S, Cottin V, et al. Vein Diameter on Unenhanced Multidetector CT Predicts Reperfusion of Pulmonary Arteriovenous Malformation after Embolotherapy. *Eur Radiol*. 2016;26(8):2723-2729. doi:10.1007/s00330-015-4090-8
37. Milic A, Chan RP, Cohen JH, Faughnan ME. Reperfusion of pulmonary arteriovenous malformations after embolotherapy. *J Vasc Interv Radiol JVIR*. 2005;16(12):1675-1683. doi:10.1097/01.RVI.0000182163.25493.BB
38. Carette MF, Parrot A, Fartoukh M, Tassart M, Khalil A. Semiologie de la vascularisation systemique normale et pathologique du poumon en scanner. *J Radiol*. 2008;89(10):1403-1404. doi:10.1016/S0221-0363(08)76246-2
39. Remy-Jardin M, Duhamel A, Deken V, Bouaziz N, Dumont P, Remy J. Systemic collateral supply in patients with chronic thromboembolic and primary pulmonary hypertension: assessment with multi-detector row helical CT angiography. *Radiology*. 2005;235(1):274-281. doi:10.1148/radiol.2351040335
40. Walker CM, Rosado-de-Christenson ML, Martínez-Jiménez S, Kunin JR, Wible BC. Bronchial arteries: anatomy, function, hypertrophy, and anomalies. *Radiogr Rev Publ Radiol Soc N Am Inc*. 2015;35(1):32-49. doi:10.1148/rg.351140089
41. Ponnuswamy I, Sankaravadevelu ST, Maduraimuthu P, Natarajan K, Sathyanathan BP, Sadras S. 64-detector row CT evaluation of bronchial and non-bronchial systemic arteries in life-threatening haemoptysis. *Br J Radiol*. 2012;85(1017):e666-e672. doi:10.1259/bjr/24730002
42. Laffey K, Thomashow B, Jaretzki A, Martin E. Systemic supply to a pulmonary arteriovenous malformation: a relative contraindication to surgery. *Am J Roentgenol*. 1985;145(4):720-722. doi:10.2214/ajr.145.4.720
43. Remy J, Remy-Jardin M, Giraud F, Wattinne L. Angioarchitecture of pulmonary arteriovenous malformations: clinical utility of three-dimensional helical CT. *Radiology*. 1994;191(3):657-664. doi:10.1148/radiology.191.3.8184042
44. Wispelaere JF, Trigaux JP, Weynants P, Delos M, Coene BD. Systemic supply to a pulmonary arteriovenous malformation: potential explanation for recurrence. *Cardiovasc Intervent Radiol*. 1996;19(4):285-287. doi:10.1007/BF02577652
45. Sagara K, Miyazono N, Inoue H, Ueno K, Nishida H, Nakajo M. Recanalization after coil embolotherapy of pulmonary arteriovenous malformations: study of long-term outcome and mechanism for recanalization. *AJR Am J Roentgenol*. 1998;170(3):727-730. doi:10.2214/ajr.170.3.9490963
46. Nagano M, Ichinose J, Sasabuchi Y, Nakajima J, Yasunaga H. Surgery versus percutaneous transcatheter embolization for pulmonary arteriovenous malformation: Analysis of a national inpatient database in Japan. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2017;154(3):1137-1143. doi:10.1016/j.jtcvs.2017.04.069
47. Saouti N, Westerhof N, Postmus PE, Vonk-Noordegraaf A. The arterial load in pulmonary hypertension. *Eur Respir Rev Off J Eur Respir Soc*. 2010;19(117):197-203. doi:10.1183/09059180.00002210

**EMBOUSATION DES MALFORMATIONS ARTERIO-VEINEUSES
PULMONAIRES : ETUDE RETROSPECTIVE MONOCENTRIQUE AVEC
EVALUATION DU RECRUTEMENT ARTERIEL SYSTEMIQUE**

Introduction : les malformations artério-veineuses pulmonaires (MAVP) sont une affection rare, essentiellement rencontrées dans la télangiectasie hémorragique héréditaire. Elles sont à risque de complications graves notamment emboliques et infectieuses, nécessitant souvent un traitement par embolisation percutanée. La présence d'un recrutement artériel systémique est un sujet peu étudié dans la littérature, sans recommandation établie contrairement aux MAVPs strictement pulmonaires. Elles présentent un risque théorique hémorragique majoré, n'ayant jamais été formellement mis en évidence.

Matériel et méthodes : les TDM et angiographies de 97 MAVPs chez 63 patients ont été analysés rétrospectivement, avec pour objectif principal la recherche de facteurs favorisant un recrutement systémique, et comme objectifs secondaires, l'analyse des éventuels risques de complication et de l'intérêt thérapeutique de ces MAVPs systémiques, et l'évaluation des pratiques globales liées aux MAVPs dans notre centre.

Résultats : les pratiques dans notre centre étaient en accord avec les données de la littérature, notamment sur le taux de recanalisation artérielle post-embolisation. Les seuls facteurs significatifs retrouvés pour l'objectif principal étaient le sexe pour le recrutement systémique primaire et l'embolisation pour le recrutement secondaire. Tous les cas de recrutement systémique étaient de localisation sous-pleurale. Le recrutement secondaire était retrouvé plus fréquemment dans les cas de THH.

Conclusion : dans notre étude, la présence d'un recrutement systémique n'était pas liée à une majoration du risque de complication notamment hémorragique. Ainsi, en l'absence de complication, le traitement de ce versant ne semble pas recommandé en première intention, pouvant se discuter au cas par cas sur d'éventuels critères morphologiques qui pourraient être évalués par des études complémentaires de plus grande puissance.

TITRE EN ANGLAIS : Embolotherapy of pulmonary arterio-venous malformations : retrospective monocentric study with assessment of systemic arterial supply

DISCIPLINE ADMINISTRATIVE : Médecine spécialisée clinique

MOTS-CLÉS : malformation artério-veineuse pulmonaire, embolisation, recrutement artériel systémique, occlusion, reperméabilisation, coils, plug, TDM

INTITULÉ ET ADRESSE DE L'UFR OU DU LABORATOIRE :

Université Toulouse III-Paul Sabatier
Faculté de Santé de Toulouse
37 Allées Jules Guesde 31000 Toulouse

Directeur de thèse : Fatima MOKRANE