

UNIVERSITÉ DE LIMOGES

Faculté de Médecine

ANNÉE 2016

THÈSE N°

Evaluation prospective en IRM 3 Teslas des lésions ischémiques apparues après traitement endovasculaire d'anévrismes intra-crâniens non rompus, en fonction des différentes techniques couramment utilisées A propos de 164 anévrismes

THÈSE POUR LE DIPLÔME D'ÉTAT DE DOCTEUR EN MÉDECINE

présentée et soutenue publiquement

le 20 avril 2016

par

Jean-Christophe LECOMTE

né le 26/09/1987, au Lamentin (972)

EXAMINATEURS DE LA THÈSE

M. le Professeur MOUNAYER.....Président
M. le Professeur Philippe COURATIER.....Juge
M. le Professeur Jacques MONTEILJuge
Mme le Professeur Catherine YARDIN.....Juge
Mme le Docteur Christina IOSIF Directrice de thèse
Mme le Docteur Marie-Paule BONCOEUR-MARTEL Membre invité
M. le Docteur Sylvain MARTIN Membre invité



UNIVERSITÉ DE LIMOGES

Faculté de Médecine

ANNÉE 2016

THÈSE N°

Evaluation prospective en IRM 3 Teslas des lésions ischémiques apparues après traitement endovasculaire d'anévrismes intra-crâniens non rompus, en fonction des différentes techniques couramment utilisées

A propos de 164 anévrismes

THÈSE POUR LE DIPLÔME D'ÉTAT DE DOCTEUR EN MÉDECINE

présentée et soutenue publiquement

le 20 avril 2016

par

Jean-Christophe LECOMTE

né le 26/09/1987, au Lamentin (972)

EXAMINATEURS DE LA THÈSE

M. le Professeur MOUNAYER.....Président
M. le Professeur Philippe COURATIER.....Juge
M. le Professeur Jacques MONTEILJuge
Mme le Professeur Catherine YARDIN.....Juge
Mme le Docteur Christina IOSIF Directrice de thèse
Mme le Docteur Marie-Paule BONCOEUR-MARTEL Membre invité
M. le Docteur Sylvain MARTIN Membre invité

DOYEN DE LA FACULTE : Monsieur le Professeur Denis VALLEIX

ASSESEURS : Monsieur le Professeur Jean-Jacques MOREAU
Monsieur le Professeur Pierre-Marie PREUX

PROFESSEURS DES UNIVERSITES - PRATICIENS HOSPITALIERS :

ABOYANS Victor (CS)	CARDIOLOGIE
ACHARD Jean-Michel	PHYSIOLOGIE
ALAIN Sophie	BACTERIOLOGIE-VIROLOGIE
ALDIGIER Jean-Claude (SUR. 31.08.2016)	NEPHROLOGIE
ARCHAMBEAUD Françoise (CS)	MEDECINE INTERNE
ARNAUD Jean-Paul (SUR. 31.08.2016)	CHIRURGIE ORTHOPEDIQUE ET TRAUMATOLOGIQUE
AUBARD Yves (C.S.)	GYNECOLOGIE-OBSTETRIQUE
AUBRY Karine	O.R.L.
BEDANE Christophe (CS)	DERMATOLOGIE-VENERELOGIE
BERTIN Philippe (CS)	THERAPEUTIQUE
BESSEDE Jean-Pierre (CS)	O.R.L.
BORDESSOULE Dominique (CS)	HEMATOLOGIE
CAIRE François	NEUROCHIRURGIE
CHARISSOUX Jean-Louis	CHIRURGIE ORTHOPEDIQUE ET TRAUMATOLOGIQUE
CLAVERE Pierre (CS)	RADIOTHERAPIE
CLEMENT Jean-Pierre (CS)	PSYCHIATRIE D'ADULTES
COGNE Michel (CS)	IMMUNOLOGIE

CORNU Elisabeth	CHIRURGIE THORACIQUE ET CARDIO-VASCULAIRE
COURATIER Philippe (C.S.)	NEUROLOGIE
DANTOINE Thierry (CS)	GERIATRIE ET BIOLOGIE DU VIEILLISSEMENT
DARDE Marie-Laure (C.S.)	PARASITOLOGIE et MYCOLOGIE
DAVIET Jean-Christophe	MEDECINE PHYSIQUE et de READAPTATION
DESCAZEAUD Aurélien	UROLOGIE
DES GUETZ Gaëtan	CANCEROLOGIE
DESPORT Jean-Claude	NUTRITION
DRUET-CABANAC Michel (CS)	MEDECINE ET SANTE AU TRAVAIL
DUMAS Jean-Philippe (SUR. 31.08.2018) (C.S.)	UROLOGIE
DURAND-FONTANIER Sylvaine	ANATOMIE (CHIRURGIE DIGESTIVE)
ESSIG Marie (CS)	NEPHROLOGIE
FAUCHAIS Anne-Laure (CS)	MEDECINE INTERNE
FEUILLARD Jean (CS)	HEMATOLOGIE
FOURCADE Laurent (CS)	CHIRURGIE INFANTILE
GAINANT Alain (SUR. 31.08.2017)	CHIRURGIE DIGESTIVE
GUIGONIS Vincent	PEDIATRIE
JACCARD Arnaud	HEMATOLOGIE
JAUBERTEAU-MARCHAN M. Odile	IMMUNOLOGIE
LABROUSSE François (CS)	ANATOMIE et CYTOLOGIE PATHOLOGIQUES
LACROIX Philippe	MEDECINE VASCULAIRE
LAROCHE Marie-Laure	PHARMACOLOGIE CLINIQUE
LIENHARDT-ROUSSIE Anne (CS)	PEDIATRIE
LOUSTAUD-RATTI Véronique	HEPATOLOGIE
MABIT Christian	ANATOMIE
MAGY Laurent	NEUROLOGIE

MARQUET Pierre (CS)	PHARMACOLOGIE FONDAMENTALE
MATHONNET Muriel	CHIRURGIE DIGESTIVE
MELLONI Boris (CS)	PNEUMOLOGIE
MOHTY Dania	CARDIOLOGIE
MONTEIL Jacques (CS)	BIOPHYSIQUE ET MEDECINE NUCLEAIRE
MOREAU Jean-Jacques (C.S.)	NEUROCHIRURGIE
MOUNAYER Charbel	RADIOLOGIE et IMAGERIE MEDICALE
NATHAN-DENIZOT Nathalie (CS)	ANESTHESIOLOGIE-REANIMATION
NUBUKPO Philippe	ADDICTOLOGIE
PARAF François (CS)	MEDECINE LEGALE et DROIT de la SANTE
PLOY Marie-Cécile (CS)	BACTERIOLOGIE-VIROLOGIE
PREUX Pierre-Marie	EPIDEMIOLOGIE, ECONOMIE DE LA SANTE ET PREVENTION
ROBERT Pierre-Yves (C.S.)	OPHTALMOLOGIE
SALLE Jean-Yves (C.S.)	MEDECINE PHYSIQUE ET DE READAPTATION
SAUTEREAU Denis (CS)	GASTRO-ENTEROLOGIE ; HEPATOLOGIE
STURTZ Franck (CS)	BIOCHIMIE ET BIOLOGIE MOLECULAIRE
TEISSIER-CLEMENT Marie-Pierre	ENDOCRINOLOGIE , DIABETE ET MALADIES METABOLIQUES
TREVES Richard (SUR. 31.08.2018)	RHUMATOLOGIE
TUBIANA-MATHIEU Nicole (SUR. 31.08.2018) (CS)	CANCEROLOGIE
VALLEIX Denis (CS)	ANATOMIE CHIRURGIE GENERALE
VERGNENEGRE Alain (CS)	EPIDEMIOLOGIE, ECONOMIE DE LA SANTE et PREVENTION
VERGNE-SALLE Pascale	THERAPEUTIQUE

VINCENT François (CS)	PHYSIOLOGIE
VIROT Patrice (SUR. 31.08.2016)	CARDIOLOGIE
WEINBRECK Pierre (C.S)	MALADIES INFECTIEUSES
YARDIN Catherine (C.S)	CYTOLOGIE ET HISTOLOGIE

PROFESSEUR ASSOCIE DES UNIVERSITES à MI-TEMPS DES DISCIPLINES MEDICALES

BRIE Joël	CHIRURGIE MAXILLO-FACIALE et STOMATOLGIE
------------------	--

MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES - PRATICIENS HOSPITALIERS

AJZENBERG Daniel	PARASITOLOGIE ET MYCOLOGIE
BARRAUD Olivier	BACTERIOLOGIE-VIROLOGIE
BOURTHOMIEU Sylvie	CYTOLOGIE et HISTOLOGIE
BOUTEILLE Bernard	PARASITOLOGIE ET MYCOLOGIE
CHABLE Hélène	BIOCHIMIE ET BIOLOGIE MOLECULAIRE
DURAND Karine	BIOLOGIE CELLULAIRE
ESCLAIRE Françoise	BIOLOGIE CELLULAIRE
HANTZ Sébastien	BACTERIOLOGIE-VIROLOGIE
JESUS Pierre	NUTRITION
LE GUYADER Alexandre	CHIRURGIE THORACIQUE ET CARDIO-VASCULAIRE
LIA Anne-Sophie	BIOCHIMIE ET BIOLOGIE MOLECULAIRE
MARIN Benoît	EPIDEMIOLOGIE, ECONOMIE de la SANTE et PREVENTION
MURAT Jean-Benjamin	PARASITOLOGIE et MYCOLOGIE
QUELVEN-BERTIN Isabelle	BIOPHYSIQUE ET MEDECINE NUCLEAIRE
TCHALLA Achille	GERIATRIE et BIOLOGIE du VIEILLISSEMENT
RIZZO David	HEMATOLOGIE
TERRO Faraj	BIOLOGIE CELLULAIRE
WOILLARD Jean-Baptiste	PHARMACOLOGIE FONDAMENTALE

P.R.A.G

GAUTIER Sylvie

ANGLAIS

PROFESSEUR DES UNIVERSITES DE MEDECINE GENERALE

BUCHON Daniel

PROFESSEURS ASSOCIES A MI-TEMPS DES MEDECINE GENERALE

DUMOITIER Nathalie

MEDECINE GENERALE

PREVOST Martine

MEDECINE GENERALE

MAITRE DE CONFERENCES ASSOCIE A MI-TEMPS

MENARD Dominique

MEDECINE GENERALE

PAUTOUT-GUILLAUME Marie-Paule

MEDECINE GENERALE

PROFESSEURS EMERITES

ADENIS Jean-Paul

du 01.09.2015 au 31.08.2017

MERLE Louis

du 01.09.2015 au 31.08.2017

MOULIES Dominique

du 01.09.2015 au 31.08.2017

VALLAT Jean-Michel

du 01.09.2014 au 31.08.2017



Le 1^{er} novembre 2015

ASSISTANTS HOSPITALIERS UNIVERSITAIRES

BLANC Philippe	BIOPHYSIQUE et MEDECINE NUCLEAIRE
CHUFFART Etienne	ANATOMIE
DONISANU Adriana	ANESTHESIOLOGIE-REANIMATION
FAYE Piere-Antoine	BIOCHIMIE et BIOLOGIE MOLECULAIRE
FREDON Fabien	ANATOMIE
KASPAR Claire	ANESTHESIOLOGIE-REANIMATION
LEGRAS Claire	ANESTHESIOLOGIE-REANIMATION
MANCIA Claire	ANESTHESIOLOGIE-REANIMATION
MATHIEU Pierre-Alain	ANATOMIE (Service d'Orthopédie-Traumatologie)
OLOMBEL Guillaume	IMMUNOLOGIE
SERENA Claire	ANESTHESIOLOGIE-REANIMATION

CHEFS DE CLINIQUE - ASSISTANTS DES HOPITAUX

ARDOUIN Elodie	RHUMATOLOGIE
ASSIKAR Safaë	DERMATO-VERNEREOLOGIE
BIANCHI Laurent	GASTROENTEROLOGIE (A compter du 12 novembre 2015)
BORDES Jérémie	MEDECINE PHYSIQUE et de READAPTATION
BOURMAULT Loïc	OPHTALMOLOGIE
BUISSON Géraldine	PEDOPSYCHIATRIE
CASSON-MASSSELIN Mathilde	RADIOLOGIE et IMAGERIE MEDICALE
CAZAVET Alexandre	CHIRURGIE THORACIQUE et CARDIOVASCULAIRE
CHATAINIER Pauline	NEUROLOGIE
CHRISTOU Niki	CHIRURGIE DIGESTIVE
COSTE-MAZEAU Perrine	GYNECOLOGIE-OBSTETRIQUE (SURNOMBRE du 1 ^{er} novembre 2015 au 20 février 2016)

CYPIERRE Anne	MEDECINE INTERNE A
DAIX Thomas	REANIMATION
DIJOUX Pierrick	CHIRURGIE ORTHOPEDIQUE et TRAUMATOLOGIQUE
DOST Laura	OPHTALMOLOGIE
EVENO Claire	CHIRURGIE THORACIQUE et CARDIOVASCULAIRE
GANTOIS Clément	NEUROCHIRURGIE
GARDIC Solène	UROLOGIE
GONZALEZ Céline	REANIMATION
GSCHWIND Marion	MEDECINE INTERNE B
HOUMAÏDA Hassane	CHIRURGIE THORACIQUE et CARDIOVASCULAIRE (A compter du 02 novembre 2015)
JACQUES Jérémie	GASTRO-ENTEROLOGIE
KENNEL Céline	HEMATOLOGIE
LACORRE Aymeline	GYNECOLOGIE-OBSTETRIQUE
LAFON Thomas	MEDECINE d'URGENCE
LAVIGNE Benjamin	PSYCHIATRIE d'ADULTES
LE BIVIC Louis	CARDIOLOGIE
LE COUSTUMIER Eve	MEDECINE INTERNE A
LEGROS Emilie	PSYCHIATRIE d'ADULTES
LERAT Justine	O.R.L.
MARTIN Sylvain	RADIOLOGIE et IMAGERIE MEDICALE
MATT Morgan	MALADIES INFECTIEUSES
MESNARD Chrystelle	GYNECOLOGIE-OBSTETRIQUE
MONTCUQUET Alexis	NEUROLOGIE
PAPON Arnaud	GERIATRIE et BIOLOGIE du VIEILLISSEMENT
PETITALOT Vincent	CARDIOLOGIE
PONTHIER Laure	PEDIATRIE
ROGER Thomas	CHIRURGIE ORTHOPEDIQUE et TRAUMATOLOGIQUE
SAINT PAUL Aude	PNEUMOLOGIE

SCOMPARIN Aurélie

O.R.L.

TAÏBI Abdelkader

CANCEROLOGIE

TRIGOLET Marine

PEDIATRIE

CHEF DE CLINIQUE – MEDECINE GENERALE

RUDELLE Karen

CHEF DE CLINIQUE ASSOCIE – MEDECINE GENERALE

(du 1^{er} novembre 2015 au 31 octobre 2016)

LAUCHET Nadège

PRATICIEN HOSPITALIER UNIVERSITAIRE

BALLOUHEY Quentin

CHIRURGIE INFANTILE

(du 1^{er} mai 2015 au 30 avril 2019)

CROS Jérôme

ANESTHESIOLOGIE-REANIMATION

(du 1^{er} mai 2014 au 31 octobre 2018)

*A Marie,
Carrément ! ;-)*

*A Romance,
Ces 6 mois à m'émerveiller de toi au quotidien sont passés bien vite !*

*A mes parents, toujours présents malgré la distance,
Merci pour votre amour et votre confiance.*

*A mes frères François-Xavier et Pierre-Yves,
Nous nous voyons trop peu ; je vais essayer de courir un peu moins désormais.*

*A mes grands-mères,
Tout simplement extraordinaires.*

A la mémoire de mes grands-pères.

*A Eric et Isabelle,
Vous suivez nos efforts avec patience et bienveillance ; merci.*

*A Romain, Caroline et Noémie,
La montagne, ça vous gagne !*

Remerciements

- A NOTRE MAITRE, PRESIDENT DU JURY

Monsieur le Professeur Charbel MOUNAYER

Professeur des Universités, Praticien Hospitalier,
Neuroradiologie Interventionnelle, Radiologie et Imagerie médicale ; Responsable de service

C'est un honneur pour moi que vous présidiez mon jury de thèse.

Merci pour votre implication dans la formation des internes et chefs de clinique, localement et bien au-delà.

Votre motivation et votre rigueur vous ont permis d'atteindre l'excellence dans votre discipline.

Recevez l'assurance de mon profond respect.

- A NOS MAITRES ET JUGES

Monsieur le Professeur Philippe COURATIER

Professeur des Universités, Praticien Hospitalier,
Neurologie, Responsable de service

Malgré la charge de travail qui vous incombe, vous avez toujours été très disponible pour me recevoir et toujours été bienveillant quant à ce travail.

Je vous remercie d'avoir accepté de juger ma thèse.

Veuillez trouver ici l'expression de ma gratitude et de mon profond respect.

Monsieur le Professeur Jacques MONTEIL

Professeur des Universités, Praticien Hospitalier,
Biophysique et Médecine nucléaire ; Responsable de service

Vous m'avez accueilli pendant 6 mois dans votre service et j'en garde d'excellents souvenirs.

Si cela avait eu lieu plus tôt dans mon internat, j'aurais sans doute eu une vie très différente.

Vous êtes un modèle d'accomplissement dans la triple-fonction hospitalo-universitaire, à travers vos activités cliniques (dans le service mais aussi dans de multiples staffs), d'enseignement (dès le premier cycle et bien au-delà) et de recherche.

Vous partagez vos connaissances avec autant de passion que vous communiquez vos passions à vos connaissances.

Votre bienveillance envers les internes de Radiologie est une aide inestimable.

Vous me faites l'honneur de juger mon travail et je vous en remercie.

Soyez assuré de mon respect et de ma sincère reconnaissance.

Madame le Professeur Catherine YARDIN

Professeur des Universités, Praticien Hospitalier
Cytologie et Histologie ; Responsable de service

Vous avez co-dirigé la thèse de Sciences de ma directrice de thèse.

Vous me faites l'honneur de prolonger l'expérience en jugeant mon travail, qu'elle a su diriger en parallèle de sa thèse de Sciences.

Vos implications dans la vie hospitalo-universitaires sont reconnues par tous et votre bienveillance envers les internes est appréciée au quotidien.

Je vous remercie de juger ma thèse ; recevez l'assurance de mon profond respect.

Madame le Docteur Christina IOSIF

Praticien Hospitalier,
Neuroradiologie Interventionnelle

Tu as su me faire travailler pendant 3 ans sur un domaine auquel je ne connaissais rien !

Je me souviendrai toujours de nos relectures d'artériographies et discussions, passant du français à l'anglais, de l'anglais au français, du franglais au franglais...

Quelle joie de voir enfin assemblées les pièces du puzzle de cette thèse ; merci pour tout.

Sois assurée de ma sincère reconnaissance.

Madame le Docteur Marie-Paule BONCOEUR-MARTEL

Praticien Hospitalier,
Neuroradiologie Diagnostique

Vous alliez la rigueur de l'analyse sémiologique neuroradiologique et la bienveillance dans la transmission de vos connaissances.

Vous avez marqué mon internat et je suis heureux que vous jugiez ma thèse.

Soyez assurée de mon respect et de toute ma reconnaissance.

Monsieur le Docteur Sylvain MARTIN

Chef de Clinique, Assistant des Hôpitaux,
Radiologie et Imagerie médicale

Depuis notre rencontre devant la salle de colloque de Radiologie A, nous ne nous sommes plus quittés.

Malgré les difficultés organisationnelles, tu m'impressionnes par ta passion inaltérable dans ton activité au sein du service (« La main sur le cœur ! »).

Tes qualités sont appréciées de tous dans le service de Radiologie.

Tu me fais l'amitié de juger ma thèse ; sois assuré de ma reconnaissance.

Encore un merci...

A nos patients, qui nous font tellement confiance qu'ils nous poussent à nous dépasser au quotidien.

Aux médecins radiologues qui ont marqué mon internat : Abdelkader Menzli, Alice Mampassi-Makaya, Khaled Lacheheb et Cyrille Aké qui m'ont initié à la Radiologie au CH de Guéret, dans la bonne humeur permanente ; feu Edith Pascaud puis Agnès Maréchal qui m'a accueillie en Radiopédiatrie, où nous passions des MOC aux orchidées, des échographies de hanches à la Pinacothèque et des bilans de scoliose au Pop Art ; Philippe Bouillet à la passion inébranlable pour la Radiologie Interventionnelle et dont je commence enfin à comprendre les conseils, malgré la soufflerie du RV1 ; Isabelle Jammet, véritable Wonder Woman de l'HME ; Philippe De Souza, avec qui je n'ai malheureusement pas eu l'occasion de travailler (surprise en préparation avant ton mariage fin juin !) ; Jean-Léon Pascaud, en cours de préparation de la synthèse du Laredo et du Cotten.

Aux autres médecins avec qui j'ai passé beaucoup de temps : je ne peux pas tous les citer mais je pense tout particulièrement à Claudine Prodel-Duminy (ma marraine à Limoges) et aux nucléaristes (Sandrine Verbeke, Assmaë El Badaoui-Oubrahim et Laurent Négrier).

A mes anciens CCA et assistants de Radiologie : Pierre-Yves, Brice, Hind, Marine, Vincent et Yann.

A tous mes co-internes : Mathilde (désormais CCA), Denis, David, Florian, Julien (prêt pour 2027 ?!), Justin (courage avec certains « fadas des urgences » !), Raphaël (à la recherche d'une thèse en ORL, en dehors des saisons d'ouverture de la pêche...), Anne-Hélène, Pierre (te voilà désormais champion de squash ; bon courage pour ta thèse !), Guillaume (à la recherche d'une thèse sur les courants du Death Metal...).

Aux manipulateurs, brancardiers, secrétaires et autres membres des différents services dans lesquels j'ai travaillé. Désolé, je ne citerai pas de noms mais le cœur y est ! J'ai une pensée toute particulière pour ceux impliqués dans les activités de Radiologie Interventionnelle (TDM5 et RV1) et ceux que j'ai eu l'occasion de connaître « hors relations professionnelles » (mariages, naissances et, hélas, parfois problèmes de santé).

A tous ceux qui s'investissent dans le versant associatif de la Médecine et de la Radiologie, avec une mention particulière pour le TAT et l'UNIR...

Quinté dans le désordre :

A Alban, Lola et Gabriel : il va falloir reprendre le rythme de nos soirées à refaire le monde et mener des expéditions punitives dans le vignoble bordelais !

A Mégabast et Sarah : j'ai hâte de débrifer de vos 6 mois avant votre probable crise en mode « Je ne veux pas retourner à l'école ! » ;

A Sylvain et Amandine : Dream Team un jour, Dream Team toujours !

A Ugo et Erika : mes amis de début d'internat ;

A Aurélien et Camille : a dan on dot soley !

A Tat' et Cassiopée : ma cheffe préférée et sa fille ;

A Youri : comment « la force des liens faibles » vous fait découvrir un excellent ami !

A Alexis, Ludivine et Auxane : à l'aise Breizh !

A Youcef : attention, je vais enfin pouvoir me remettre sérieusement au squash !

A Raf, Charl's, Julien et Jon : amis depuis Fermat !

A Sam : sacré pain grillé !

A tous ceux que j'ai oubliés mais qui me le pardonneront !

Droits d'auteurs



Cette création est mise à disposition selon le Contrat : « **Attribution-Pas d'Utilisation Commerciale-Pas de modification 3.0 France** » disponible en ligne

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/fr/>

Table des matières

Introduction	21
1. Généralités	23
1.1. Anévrysmes intra-crâniens non rompus.....	23
1.1.1. Epidémiologie des anévrysmes intra-crâniens	23
1.1.2. Facteurs de risque	23
1.1.2.1. Génétiques.....	23
1.1.2.2. Autres facteurs de risque	24
1.1.3. Pathogenèse des anévrysmes intra-crâniens.....	25
1.1.4. Manifestations cliniques et diagnostic des anévrysmes intra-crâniens non rompus	26
1.1.4.1. Manifestations cliniques des anévrysmes intra-crâniens non rompus.....	26
1.1.4.2. Diagnostic des anévrysmes intra-crâniens non rompus.....	26
1.1.4.3. Dépistage des anévrysmes intra-crâniens non rompus	28
1.2. Gestion et traitement des anévrysmes intra-crâniens non rompus.....	29
1.2.1. Evaluation du rapport bénéfice/risque : risque de rupture versus risque du traitement	29
1.2.1.1. Etudes ISUIA 1 et 2.....	30
1.2.1.2. Autres études comparant clipping et coiling	36
1.2.2. Modalités de traitement des anévrysmes intra-crâniens non rompus	39
1.2.2.1. Traitement conservateur	39
1.2.2.2. Traitement chirurgical et endovasculaire : présentation « historique ».....	39
1.3. Principales complications du traitement endovasculaire des anévrysmes intra-crâniens non rompus	43
1.3.1. Taux de complications globaux.....	43
1.3.2. Complications thrombo-emboliques	44
1.3.3. Perforation anévrysmale	44
1.3.4. Dissection artérielle.....	45
1.3.5. Migration et étirement de coil	45
1.3.6. Recanalisation anévrysmale et rupture après coiling	45
2. Notre étude.....	47
2.1. Justification et objectifs de l'étude.....	47
2.2. Méthodes.....	47
2.2.1. Méthodes de sélection : population étudiée	48
2.2.1.1. Critères d'inclusion.....	48
2.2.1.2. Critères de non-inclusion.....	48
2.2.1.3. Choix de la taille de la population	48
2.2.2. Protocole thérapeutique	48
2.2.2.1. Modalités de traitement.....	48
2.2.2.2. Traitements adjuvants	74
2.2.3. Méthodes d'observation	75
2.2.3.1. Données démographiques	76
2.2.3.2. Données cliniques.....	76
2.2.3.3. Données biologiques.....	77
2.2.3.4. Données artériographiques.....	77
2.2.3.5. Données d'Imagerie par Résonance Magnétique (IRM)	80
2.2.4. Analyse statistique	85
2.3. Résultats	86
2.3.1. Population de patients	88
2.3.2. Caractéristiques des anévrysmes	89
2.3.3. Résultats techniques des procédures thérapeutiques	89
2.3.4. Résultats cliniques immédiats et au cours du suivi.....	91
2.3.5. Complications et impact clinique	94
2.3.6. Résultats IRM	95

2.3.6.1. Résultats de l'IRM post-procédure par territoire de branche artérielle	95
2.3.6.2. Résultats de l'IRM intermédiaire par territoire de branche artérielle	95
2.3.6.3. Résultats de l'IRM de contrôle (à 6 mois) par territoire de branche artérielle	95
2.3.7. Résultats artériographiques	96
2.3.8. Analyse en sous-groupes.....	98
2.3.9. Cas cliniques	100
2.3.9.1. Cas clinique de double microcathéter (patient 113).....	100
2.3.9.2. Cas clinique de double remodeling (en kissing) (patiente 66).....	104
2.3.9.3. Cas clinique de jailing avec stent à diversion de flux (patient 55)	109
2.3.9.4. Cas clinique de stenting en Y (patiente 126)	113
2.3.9.5. Cas clinique de stenting télescopique avec stents à diversion de flux (patient 48)	117
2.4. Discussion	122
2.4.1. Faisabilité du traitement endovasculaire dans le traitement des anévrysmes intra-crâniens non rompus, grâce à une large gamme d'approches techniques.....	122
2.4.1.1. Coiling.....	122
2.4.1.2. Remodeling.....	122
2.4.1.3. Stenting.....	123
2.4.1.4. Stents à diversion de flux	123
2.4.1.5. Dispositifs de perturbation de flux	123
2.4.1.6. Techniques très complexes.....	124
2.4.1.7. Agents liquides.....	124
2.4.2. Sécurité et efficacité comparatives des différentes approches techniques du traitement endovasculaire des anévrysmes intra-crâniens non rompus	125
2.4.2.1. Coiling.....	125
2.4.2.2. Remodeling.....	126
2.4.2.3. Stenting.....	126
2.4.2.4. Stents à diversion de flux	128
2.4.2.5. Dispositifs de perturbation de flux	130
2.4.2.6. Techniques très complexes.....	130
2.4.2.7. Agents liquides.....	131
2.4.2.8. Analyse transversale de la sécurité et de l'efficacité des différentes techniques	132
2.4.3. Limites de notre étude	133
Conclusion	135
Références bibliographiques	136
SERMEN D'HIPPOCRATE	145

Liste des abréviations

ACROSS : Australasian Cooperative Research on Subarachnoid hemorrhage Study

ADC : Coefficient de Diffusion Apparente

ATENA : Analysis of Treatment by Endovascular approach of Nonruptured Aneurysms

CAMEO : Cerebral Aneurysm Multicenter European Onyx

CTA : Computed-Tomography Angiography

DDL : Degrés De Liberté

DSA : Digital Subtraction Angiography

DWI : Diffusion Weighted Images

F : French

FD : Flow Diversion stent

FH-1 : Hyperaldostéronisme Familial de type 1

FIA : Familial Intracranial Aneurysm study

FLAIR : Fluid Attenuated Inversion Recovery

FOV : Field of View

IC : Intervalle de Confiance

IRM : Imagerie par Résonance Magnétique

ISAT : International Subarachnoid Aneurysm Trial

ISUIA : International Study of Unruptured Intracranial Aneurysms

LVIS : Low profile Visualized Intraluminal Support

MRA : Magnetic Resonance Angiography

mRS : modified Rankin Scale

OKM : échelle O'Kelly-Marotta

OR : Odds Ratio

PED : Pipeline Embolization Device

PXE : Pseudo-Xanthome Elastique

RADAR : Retrospective Analysis of Delayed Aneurysm Ruptures after flow diversion

RR : Risque Relatif

SENAT : Safety and Efficacy of Neuroform for Treatment of intracranial Aneurysms

TE : Temps d'Echo

TI : Temps d'Inversion

TR : Temps de Répétition

UCLA : University of California, Los Angeles

VIH : Virus de l'Immunodéficience Humaine

Introduction

La prévalence globale des anévrysmes intra-crâniens est estimée entre 1,8 et 3,2 % dans la population générale [1, 2]. Le risque évolutif principal est la rupture, dont le pronostic est sombre avec environ un tiers de décès, un tiers de handicaps sévères et un tiers de bons résultats après traitement [3]. En cas de rupture anévrysmale, le traitement d'un anévrysmes intra-crânien est réalisé en urgence afin de prévenir la re-rupture (dont le pronostic est très péjoratif) [4], en association avec une prise en charge neuro-réanimatoire spécialisée.

La prévention de la rupture anévrysmale s'appuie essentiellement sur le traitement préalable et cible donc les anévrysmes intra-crâniens à risque de rupture. L'évaluation des anévrysmes intra-crâniens à risque de rupture est essentiellement basée sur les antécédents personnels et familiaux du patient et l'évaluation de la taille, de la forme, de la localisation et de l'éventuelle multiplicité des lésions [5].

Cependant, cette prise en charge n'est pas dénuée de risques. De plus, le rapport bénéfice / risque du traitement endovasculaire doit être considéré à la lumière de l'histoire naturelle de la maladie. Publiées en 1998 et en 2003, les deux études ISUIA (International Study of Unruptured Intracranial Aneurysms) [6, 7] ont apporté des données scientifiques capitales, utilisées quotidiennement pour l'information pré-thérapeutique des patients.

Le traitement endovasculaire des anévrysmes intra-crâniens est un domaine particulièrement dynamique avec l'introduction de nombreuses nouvelles techniques lors des 15 à 20 dernières années, donc souvent de manière postérieure aux études ISUIA. Ces techniques visent à obtenir une exclusion complète de l'anévrysmes avec un résultat anatomique stable dans le temps, dit « sans recanalisation ». Chaque technique a été évaluée de manière comparative avec une ou plusieurs autre(s) technique(s), dans le cadre de séries plus ou moins importantes.

Néanmoins, dans la littérature, les données d'évaluation des profils de sécurité et d'efficacité des différentes techniques endovasculaires sont très variables. Les principales complications des techniques endovasculaires sont les ruptures péri-procédurales de l'anévrysmes, les complications techniques et les événements ischémiques. Ces derniers étaient évalués cliniquement jusqu'à ce que l'IRM de diffusion soit récemment utilisée pour objectiver d'éventuelles lésions ischémiques [8], cliniquement évidentes ou silencieuses.

Concept introduit depuis peu dans le traitement endovasculaire, la diversion de flux est associée à un taux de complications ischémiques plus élevé [9], amenant certaines équipes à reconsidérer son utilisation [10].

Ainsi, selon la ou les technique(s) employée(s), la fréquence de survenue de lésions ischémiques pourrait être différente. Cette donnée capitale devrait alors être prise en compte dans les choix techniques et diffusée dans le cadre de l'information préalable due au patient.

Malgré l'existence dans la littérature de quelques travaux comparant les taux d'événements ischémiques entre différentes techniques endovasculaires, il n'existe actuellement pas d'étude prospective comparative de l'ensemble des techniques courantes.

Le but de ce travail est d'évaluer de manière prospective en IRM 3 Teslas l'apparition de lésions ischémiques après traitement endovasculaire d'anévrismes intra-crâniens non rompus, en fonction des différentes techniques couramment utilisées.

Les objectifs secondaires de cette cohorte sont de recueillir des données cliniques, angiographiques et d'IRM sur la sécurité et l'efficacité des techniques de traitement endovasculaire des anévrismes intra-crâniens non rompus, de manière comparative.

1. Généralités

1.1. Anévrysmes intra-crâniens non rompus

1.1.1. Epidémiologie des anévrysmes intra-crâniens

Selon les séries (radiographiques et/ou autopsiques), la prévalence des anévrysmes intra-crâniens est estimée entre 1,8 et 3,2 % en population générale [1, 2], avec une prédominance féminine évaluée entre 54 et 61 % selon les études [2].

Parmi les patients présentant un anévrysme intra-crânien, 20 à 30 % sont en réalité porteurs d'une pathologie multi-anévrysmale (intra-crânienne) [11].

Les anévrysmes intra-crâniens siègent principalement dans la circulation cérébrale antérieure (environ 85 %), sur le polygone de Willis, particulièrement aux dépens de l'artère communicante antérieure (ou à sa jonction avec une artère cérébrale antérieure), de la terminaison de l'artère carotide interne (notamment à sa jonction avec l'artère communicante postérieure) et de la bifurcation sylvienne. Moins fréquente, la pathologie anévrysmale de la circulation postérieure concerne principalement le sommet du tronc basilaire, la jonction entre le tronc basilaire et les artères cérébelleuses supérieures ou antéro-inférieures et la jonction entre une artère vertébrale et l'artère cérébelleuse postéro-inférieure correspondante [6].

La principale complication est l'hémorragie sous-arachnoïdienne par rupture anévrysmale, qui survient selon une incidence annuelle de 6 à 16 pour 100 000 habitants [12]. En France, cette complication touche donc environ 7 000 personnes par an.

Le pronostic d'une rupture anévrysmale intra-crânienne est sombre avec environ un tiers de décès (10 % avant d'arriver à l'hôpital), un tiers de handicaps sévères et un tiers de bons résultats après traitement [3].

1.1.2. Facteurs de risque

Différents facteurs de risques d'anévrysmes intra-crâniens ont été identifiés, avec des implications encore difficiles à préciser dans la taille anévrysmale, le siège et le risque de rupture [13].

1.1.2.1. Génétiques

Malgré le caractère sporadique de la plupart des anévrysmes intra-crâniens, l'hypothèse de facteurs de risques génétiques est supportée par la fréquence plus élevée d'anévrysmes intra-crâniens dans certaines familles et en association à certains syndromes héréditaires.

Ainsi, même en l'absence de syndrome héréditaire connu, la méta-analyse de Vlak et al. met en évidence qu'un antécédent familial d'anévrisme intra-crânien ou d'hémorragie sous-arachnoïdienne multiplie par 3,4 le risque d'anévrisme intra-crânien [2].

L'étude de formes familiales de maladie anévrismale intra-crânienne a permis à plusieurs équipes d'identifier des loci chromosomiques associés à cette pathologie [14-19]. Dans l'étude FIA (Familial Intracranial Aneurysm study phases I and II), il existait même un caractère héréditaire de la localisation anévrismale, suggérant une composante génétique dans la localisation anévrismale [20].

De même, certains syndromes héréditaires ont été identifiés comme étant associés à un risque plus élevé d'anévrismes intra-crâniens. Un des exemples les plus connus est la polykystose (hépato-)rénale autosomique dominante, qui multiplie par 6,9 le risque d'anévrisme intra-crânien selon Vlak et al [2].

D'autres syndromes héréditaires sont particulièrement associés à la survenue d'anévrismes intra-crâniens, comme certaines maladies héréditaires du tissu conjonctif avec le syndrome d'Ehlers-Danlos [21] et le Pseudo-Xanthome Elastique (PXE) [22]. En revanche, contrairement aux anévrismes aortiques, le syndrome de Marfan n'est pas associé à une prévalence plus élevée d'anévrismes intra-crâniens selon Conway et al [23].

Enfin, parmi les syndromes héréditaires pour lesquels un sur-risque d'anévrismes intra-crâniens a été identifié, il convient de citer l'Hyperaldostéronisme Familial de type 1 (FH-1, correspondant à un hyperaldostéronisme primitif sensible aux corticoïdes) [24] et la maladie de Moya-Moya (même si cette maladie est principalement sporadique) [25].

L'évaluation du risque d'anévrisme intra-crânien est d'autant plus complexe que le mode de transmission de ces différents syndromes héréditaires est variable (autosomique dominant, récessif voire multi-génique).

A noter que les anévrismes intra-crâniens « familiaux » ont tendance à se rompre à des tailles plus petites et à de plus jeunes âges que les anévrismes intra-crâniens sporadiques [26-28].

1.1.2.2. Autres facteurs de risque

Plusieurs études de type cas-témoins ont cherché à identifier des facteurs associés à la survenue d'anévrismes intra-crâniens.

Ainsi, Vlak et al. [29] ont mis en évidence que le tabagisme non sevré (Odds Ratio = 3,0), l'hypertension artérielle (OR = 2,9) et un antécédent familial d'Accident Vasculaire Cérébral autre qu'une Hémorragie Sous-Arachnoïdienne (OR = 1,6) étaient associés à la

survenue d'anévrismes intra-crâniens. Il semble même exister un effet synergique du tabagisme non sevré et de l'hypertension artérielle puisque l'Odds Ratio de l'association de ces deux facteurs (OR = 8,3) était plus élevé que la somme des Odds Ratio de chacun de ces deux facteurs. A contrario, cette équipe néerlandaise concluait à un effet protecteur de l'hypercholestérolémie (OR = 0,5) et de l'exercice physique régulier (OR = 0,6).

Compte tenu de la prédominance féminine de la pathologie anévrysmale intra-crânienne, plusieurs études ont aussi recherché un éventuel rôle des facteurs hormonaux dans la pathogenèse des anévrismes intra-crâniens. Ainsi, le travail de Mhurchu et al. [30] s'est intéressé à l'influence de la carence en oestrogènes par une étude réalisée dans le cadre du groupe ACROSS (Australasian Cooperative Research on Subarachnoid hemorrhage Study). Les résultats identifiaient principalement un rôle protecteur du Traitement Hormonal Substitutif chez les femmes ménopausées (OR = 0,64). Par analogie avec les maladies héréditaires du tissu conjonctif, l'hypothèse avancée est que la carence oestrogénique de la ménopause entraînerait une réduction du contenu en collagène des tissus, ce qui contribuerait au développement d'anévrismes intra-crâniens.

1.1.3. Pathogenèse des anévrismes intra-crâniens

Il existe 3 types principaux d'anévrismes intra-crâniens, correspondant à des pathogenèses propres.

Parmi les anévrismes intra-crâniens, les anévrismes sacculaires sont de loin les plus fréquents. Ils correspondent à des protrusions pariétales des artères intra-crâniennes, Ces protrusions sont secondaires à un amincissement pariétal par destruction des fibres musculaires lisses (média et limitante élastique interne) [31]. Ces modifications sont multifactorielles [32], associant principalement un stress hémodynamique secondaire à un flux sanguin turbulent et des remaniements dégénératifs accélérés de la paroi artérielle. Cette hypothèse physiopathologique concorde avec les facteurs de risque évoqués dans le paragraphe « 1.1.2. Facteurs de risque » car ils contribuent aux remaniements pariétaux artériels : tabagisme non sevré, hypertension artérielle, maladies héréditaires du tissu conjonctif... Enfin, l'inflammation pourrait jouer un rôle dans la pathogenèse des anévrismes intra-crâniens par des mécanismes de stress oxydatif [33], les radicaux libres correspondants étant à l'origine de remaniements pariétaux artériels.

Le second type d'anévrismes intra-crâniens le plus fréquent est constitué des anévrismes fusiformes. Comme pour l'aorte abdominale sous-rénale, ils correspondent à une dilatation circonférentielle de la paroi artérielle, qui pourrait être favorisée par une athérosclérose.

Plus rares, les anévrysmes mycotiques résultent le plus souvent d'embolies septiques dans le cadre d'une endocardite infectieuse [34].

1.1.4. Manifestations cliniques et diagnostic des anévrysmes intra-crâniens non rompus

1.1.4.1. Manifestations cliniques des anévrysmes intra-crâniens non rompus

En l'absence de rupture (ou de syndrome fissuraire), la grande majorité des anévrysmes intra-crâniens est asymptomatique et donc de découverte fortuite.

Parfois, certains anévrysmes non rompus (mais plutôt volumineux) peuvent devenir symptomatiques à travers l'effet de masse réalisé sur les structures adjacentes [35, 36]. Les céphalées sont très peu spécifiques mais d'autres symptômes sont classiquement associés à la compression extrinsèque de structures adjacentes à l'anévrysme.

Ainsi, certains patients peuvent présenter des signes de neuropathie crânienne comme une baisse d'acuité visuelle et/ou une diminution du champ visuel (par atteinte de voies optiques, principalement le nerf optique et le chiasma optique), un trouble de l'oculomotricité avec une paralysie extrinsèque et intrinsèque du nerf oculo-moteur (par compression extrinsèque de ce nerf III), des douleurs faciales (par atteinte du nerf trijumeau) et même un syndrome pyramidal (par compression extrinsèque du faisceau pyramidal).

Des crises convulsives peuvent aussi être révélatrices du processus expansif intra-crânien que constitue l'anévrysme.

Enfin, le mode de révélation de certains anévrysmes intra-crâniens est parfois ischémique avec des embolies provenant du sac anévrysmal [35, 36].

1.1.4.2. Diagnostic des anévrysmes intra-crâniens non rompus

La majorité des anévrysmes intra-crâniens non rompus est asymptomatique et donc découverte de manière fortuite.

Grâce à sa résolution spatiale très élevée (taille de pixel jusqu'à 0,124 mm), l'artériographie encéphalique par angiographie soustraite numérisée (DSA, Digital Subtraction Angiography) demeure le gold standard pour le diagnostic des anévrysmes intra-crâniens, qu'ils soient rompus ou non [37].

Cependant, son caractère invasif est associé à un nombre plus élevé de complications que pour les techniques non invasives. C'est pourquoi l'artériographie encéphalique n'est réalisée à visée diagnostique qu'en seconde intention : en cas de négativité des explorations

non invasives [37]. La DSA demeure employée dans le cadre des bilans pré-thérapeutiques et du suivi après traitement des anévrysmes. De plus, elle constitue le temps initial de tout traitement d'anévrysme intra-crânien [37].

Les techniques non invasives sont essentiellement représentées par l'angio-scanner encéphalique (CTA, Computed-Tomography Angiography) et l'angio-IRM encéphalique (MRA, Magnetic Resonance Angiography). En pratique clinique, la MRA et la CTA présentent des sensibilités et spécificités excellentes et comparables dans le diagnostic des anévrysmes de taille ≥ 5 mm. Néanmoins, ces deux techniques demeurent moins performantes pour la détection des anévrysmes de plus petite taille (entre 2 et 5 mm).

Ainsi, dans une étude rétrospective publiée en 2003, van Gelder [38] évaluait la sensibilité de la CTA à 95 % pour les anévrysmes intra-crâniens non rompus de 7 mm mais à seulement 53 % pour ceux de 2 mm. A noter que la spécificité globale demeurait excellente, à 98,9 %.

Les résultats d'études plus récentes sont encore meilleurs car les performances des modalités d'imagerie non invasives bénéficient largement des progrès technologiques, notamment par le biais des systèmes multi-détecteurs pour la CTA et des champs magnétiques plus élevés (3 Teslas) pour la MRA.

Parmi les études les plus récentes, une méta-analyse de 2011 [39] (mais incluant des données de travaux publiés entre janvier 1995 et février 2010) évaluait la sensibilité et la spécificité globales de la CTA à plus de 97 % chacune dans le diagnostic des anévrysmes intra-crâniens non rompus, toutes tailles confondues.

Concernant la MRA, une publication de 2011 sur 369 patients concluait à une sensibilité de 99,3 % et une spécificité de 96,9 % dans le diagnostic des anévrysmes intra-crâniens non rompus, pour des tailles allant de moins de 3 mm à plus de 10 mm [40]. Cette étude comparait une séquence sans injection de produit de contraste gadoliné sur une IRM 3 T (angio-IRM 3D en temps de vol avec rendu de volume) versus le gold standard de la DSA (en 2D et avec rendu de volume).

Au-delà du « simple diagnostic », les développements les plus récents de la MRA permettent l'étude des flux intra-anévrysmaux grâce à des séquences dynamiques après injection intra-veineuse de chélate de gadolinium (4D flow MRI). Les informations obtenues (zone de flux entrant, profil de vitesse...) pourraient avoir des implications cliniques pré-thérapeutiques dans l'évaluation du risque de rupture anévrysmale [41, 42] mais aussi post-thérapeutiques dans l'évaluation du risque de compaction de coils et de recanalisation [43].

1.1.4.3. Dépistage des anévrismes intra-crâniens non rompus

1.1.4.3.1. Dépistage en population générale

Compte tenu de l'épidémiologie et du pronostic sombre d'une rupture d'anévrisme intra-crânien (cf 1.1.1. Epidémiologie des anévrismes intra-crâniens), il est possible de s'interroger sur l'intérêt d'un dépistage des anévrismes intra-crâniens non rompus.

En effet, cette pathologie est fréquente avec une prévalence des anévrismes intra-crâniens estimée entre 1,8 et 3,2 % en population générale [1, 2], soit entre 1,2 et 2,1 millions de personnes porteurs d'anévrismes intra-crâniens en France.

Cependant, la majorité des anévrismes intra-crâniens ne se rompt pas puisque l'incidence annuelle de l'hémorragie sous-arachnoïdienne par rupture anévrysmale est comprise entre 6 et 16 pour 100 000 habitants [12], soit environ 7 000 personnes par an en France.

Selon les données des deux études ISUIA (International Study of Unruptured Intracranial Aneurysms) [6, 7], la taille de l'anévrisme constitue un facteur prédictif indépendant du risque de rupture. Ainsi, pour un patient sans antécédent d'hémorragie sous-arachnoïdienne (groupe 1) mais porteur d'un anévrisme intra-crânien de petite taille (< 7 mm), la 2^{nde} étude ISUIA (publiée en 2003) identifie un taux annuel de rupture faible : 0,5 % en cas de siège sur la circulation postérieure et l'artère communicante postérieure et même 0 % pour les autres localisations (artère communicante antérieure, artère cérébrale moyenne, artère carotide interne dont le segment caveux).

Or la plupart des anévrismes intra-crâniens découverts de manière fortuite sont de petite taille [7].

De plus, le pronostic d'une rupture d'anévrisme intra-crânien est meilleur pour les anévrismes de plus petite taille (< 10 mm) par comparaison à ceux de plus grande taille [44].

En revanche, la mortalité et la morbidité du traitement des anévrismes intra-crâniens ne sont pas nulles. Toujours selon la 2^{nde} étude ISUIA, la morbi-mortalité à 1 an était évaluée entre 10,1 et 12,6 % pour la chirurgie et entre 7,1 et 9,8 % pour le traitement endovasculaire.

Le rapport bénéfice/risque du dépistage des anévrismes intra-crâniens en population générale semble donc défavorable.

Le dépistage en population générale ne figure d'ailleurs pas parmi les recommandations 2009 du Stroke Council de l'American Heart Association [45] puis leur actualisation de 2012 par l'American Heart Association / American Stroke Association [37].

1.1.4.3.2. Dépistage individuel chez certains patients à risque

A contrario, un dépistage individuel pourrait être proposé à certains patients à risque très élevé d'anévrisme intra-crânien.

Cette attitude est suggérée dans les recommandations 2012 par l'American Heart Association / American Stroke Association [37], qui s'appuient notamment sur une étude de coût/efficacité publiée en 2010 [46].

En cohérence avec les facteurs de risque identifiés (cf 1.1.2. Facteurs de risque), deux groupes principaux de patients pourraient bénéficier d'un dépistage individuel :

- les parents au 1^{er} degré d'un patient porteur d'un anévrisme intra-crânien, quand il existe au moins 2 cas d'anévrisme(s) intra-crânien(s) dans la famille (rompus ou non) ;
- les patients ayant une pathologie héréditaire associée à un sur-risque d'anévrisme intra-crânien comme la Polykystose Hépatique-Rénale Autosomique Dominante, l'Hyperaldostérisme Familial de type 1 (FH-1, correspondant à un hyperaldostérisme primitif sensible aux corticoïdes) ou certaines maladies héréditaires du tissu conjonctif dont le syndrome d'Ehlers-Danlos et le Pseudo-Xanthome Élastique (PXE).

Par souci de radio-protection et compte tenu des excellentes performances de la technique (cf 1.1.4.2. Diagnostic des anévrysmes intra-crâniens non rompus), ce dépistage individuel pourrait être réalisé par angio-IRM encéphalique (notamment sans injection de chélate de gadolinium grâce aux techniques en 3D temps de vol +/- rendu de volume).

Cependant, même chez des patients à risque très élevé, le dépistage individuel demeure controversé.

1.2. Gestion et traitement des anévrysmes intra-crâniens non rompus

1.2.1. Evaluation du rapport bénéfice/risque : risque de rupture versus risque du traitement

L'évaluation du rapport bénéfice/risque entre le risque de rupture et le risque du traitement doit être réalisée pour chaque patient, en tenant compte de l'espérance de vie. Cette évaluation constitue le fondement d'une éventuelle décision thérapeutique et s'appuie notamment sur les données des études ISUIA 1 et 2 (International Study of Unruptured Intracranial Aneurysms) [6, 7],

Cette démarche permet de délivrer au patient une information claire, loyale et adaptée lors d'une consultation pré-thérapeutique et de recueillir son consentement éclairé par écrit.

1.2.1.1. Etudes ISUIA 1 et 2

Les deux études ISUIA (International Study of Unruptured Intracranial Aneurysms) [6, 7] constituent la plus grande étude prospective sur l'histoire naturelle des anévrismes intra-crâniens non rompus et sur les risques des traitements de ces anévrismes. Ce travail multicentrique a inclus un total de 4 060 patients dans (53 puis) 61 centres aux Etats-Unis, au Canada et en Europe.

Deux rapports principaux ont été publiés : le premier en 1998 dans The New England Journal of Medicine pour ISUIA 1 [6] et le second en 2003 dans The Lancet pour ISUIA 2 [7].

1.2.1.1.1. ISUIA 1

La première étude ISUIA (ISUIA 1) a inclus un total de 2 621 patients. Il s'agissait en fait d'une étude historico-prospective puisqu'elle comportait deux parties : une première partie rétrospective pour apprécier l'histoire naturelle des anévrismes intra-crâniens sacculaires non rompus et une seconde partie prospective pour évaluer la morbi-mortalité des traitements de ces anévrismes (neurochirurgical versus endovasculaire).

Dans la partie rétrospective (de 1970 à 1991), 1 449 patients porteurs de 1 937 anévrismes intra-crâniens non rompus ont été répartis en 2 groupes : 727 patients n'ayant pas d'antécédent d'hémorragie sous-arachnoïdienne (groupe 1) et 722 ayant un antécédent d'hémorragie sous-arachnoïdienne à partir d'un autre anévrisme (groupe 2). Les autres caractéristiques initiales des patients étaient comparables entre les deux groupes. Après un suivi moyen de 8,3 années, les taux de ruptures annuels (« Probability of Hemorrhage ») étaient déterminés :

- Le taux de rupture annuel était environ 20 fois plus élevé pour les anévrismes de diamètre ≥ 10 mm (environ 1 %) que pour ceux de diamètre < 10 mm (environ 0,05 %) dans le groupe 1 (patients n'ayant pas d'antécédent d'hémorragie sous-arachnoïdienne) ;
- Le taux de rupture annuel était environ 10 fois plus élevé dans le groupe 2 (patients ayant un antécédent d'hémorragie sous-arachnoïdienne à partir d'un autre anévrisme ; environ 0,5 %) que dans le groupe 1 (patients n'ayant pas

d'antécédent d'hémorragie sous-arachnoïdienne ; environ 0,05 %) pour les anévrysmes de diamètre < 10 mm ;

- Les taux de rupture annuels étaient comparables entre les deux groupes pour les anévrysmes de diamètre ≥ 10 mm.

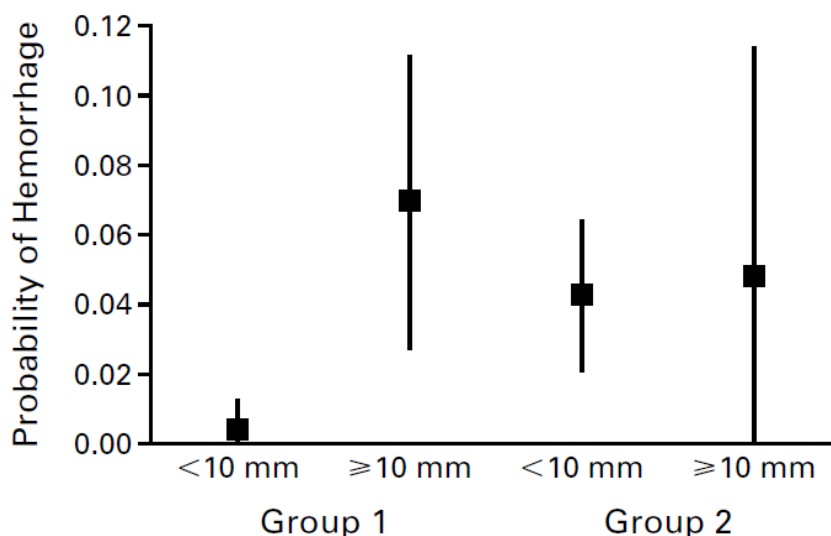


Figure 1 : Probabilité annuelle d'Hémorragie Sous-Arachnoïdienne (7,5 ans après le diagnostic d'anévrysme intra-crânien non rompu) en fonction du diamètre de l'anévrysme intra-crânien et du groupe (sans ou avec antécédent d'hémorragie sous-arachnoïdienne à partir d'un autre anévrysme).

Source : ISUIA 1 [6].

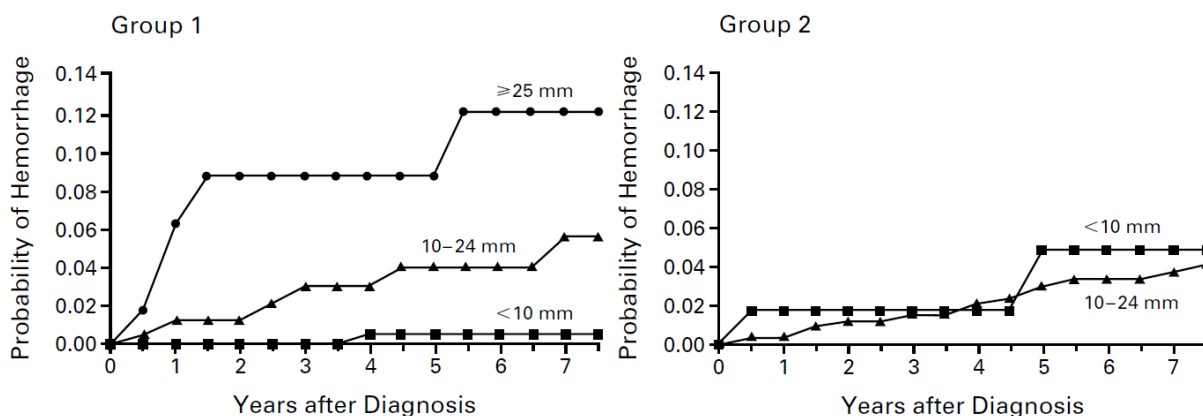


Figure 2 : Evolution de la probabilité annuelle d'Hémorragie Sous-Arachnoïdienne au cours du temps (à partir du diagnostic d'anévrysme intra-crânien non rompu) en fonction du diamètre de l'anévrysme intra-crânien et du groupe (sans ou avec antécédent d'hémorragie sous-arachnoïdienne à partir d'un autre anévrysme).

Source : ISUIA 1 [6].

La partie rétrospective identifiait aussi des facteurs prédictifs de rupture indépendants :

- au sein du groupe 1 (patients n'ayant pas d'antécédent d'hémorragie sous-arachnoïdienne) : la taille de l'anévrisme ≥ 10 mm (Risque Relatif = 11,6 et $p = 0,03$ pour un diamètre entre 10 et 24 mm et $RR = 59,0$ et $p < 0,001$ pour un diamètre ≥ 25 mm) et une localisation anévrysmale sur la circulation postérieure ($RR = 13,8$ et $p = 0,001$ pour le sommet du tronc basilaire, $RR = 13,6$ et $p = 0,007$ pour le système vertébro-basilaire et l'artère cérébrale postérieure et $RR = 8,0$ et $p = 0,02$ pour l'artère communicante postérieure) ;
- au sein du groupe 2 (patients ayant un antécédent d'hémorragie sous-arachnoïdienne à partir d'un autre anévrisme) : la localisation anévrysmale sommet du tronc basilaire ($RR = 5,1$ et $p = 0,004$) et l'âge avancé (seuil d'âge non précisé dans l'étude ; $RR = 1,31$ et $p = 0,04$).

Dans la partie prospective (de 1991 à 1995), 1 172 patients porteurs d'anévrismes intra-crâniens non rompus ont été traités par chirurgie (996 patients soit 85,0 %) ou par traitement endovasculaire (176 patients soit 15,0 %). Les taux globaux de morbidité et de mortalité (« Overall morbidity and mortality ») étaient déterminés à 30 jours et à 1 an après la chirurgie (pas de données publiées concernant le traitement endovasculaire) :

- Pour le groupe 1 (patients n'ayant pas d'antécédent d'hémorragie sous-arachnoïdienne) : 17,5 % à 30 jours et 15,7 % à 1 an ;
- Pour le groupe 2 (patients ayant un antécédent d'hémorragie sous-arachnoïdienne à partir d'un autre anévrisme) : 13,6 % à 30 jours et 13,1 % à 1 an.

Selon les auteurs, les taux globaux de morbidité et de mortalité plus bas dans le groupe 2 étaient attribuables à un biais de sélection positive (sélection de survivants à une première hémorragie sous-arachnoïdienne et à une crâniotomie dans le cadre du traitement de l'antécédent d'hémorragie sous-arachnoïdienne à partir d'un autre anévrisme).

Cette première étude ISUIA (ISUIA 1) concluait :

- Que le taux de rupture annuel d'un anévrisme intra-crânien non rompu de la circulation antérieure de diamètre < 10 mm était très bas pour un patient sans antécédent d'hémorragie sous-arachnoïdienne (groupe 1 ; environ 0,05 %)

mais substantiellement plus élevé pour un patient ayant un antécédent d'hémorragie sous-arachnoïdienne à partir d'un autre anévrisme (groupe 2 ; environ 0,5 %) ;

- Que les taux globaux de morbidité et de mortalité associés à la chirurgie étaient très supérieurs au risque de rupture à 7,5 ans (probabilité annuelle d'Hémorragie Sous-Arachnoïdienne 7,5 ans après le diagnostic d'anévrisme intra-crânien non rompu) en cas d'anévrisme intra-crânien non rompu de la circulation antérieure de diamètre < 10 mm pour un patient sans antécédent d'hémorragie sous-arachnoïdienne (groupe 1).

1.2.1.1.2. ISUIA 2

La seconde étude ISUIA (ISUIA 2) a inclus un total de 4 060 patients dans un cadre exclusivement prospectif.

Comme dans ISUIA 1, les patients ont été répartis en 2 groupes : 3077 patients n'ayant pas d'antécédent d'hémorragie sous-arachnoïdienne (groupe 1) et 983 patients ayant un antécédent d'hémorragie sous-arachnoïdienne à partir d'un autre anévrisme (groupe 2).

1 692 patients n'ont pas été traités (« traitement conservateur » ; 1 077 dans le groupe 1 et 615 dans le groupe 2), 1 917 patients ont été traité par chirurgie ouverte (1 591 dans le groupe 1 et 326 dans le groupe 2) et 451 patients ont bénéficié d'un traitement endovasculaire (409 dans le groupe 1 et 42 dans le groupe 2).

Histoire naturelle :

Les 1 692 patients qui n'ont pas été traités (« traitement conservateur ») étaient porteurs de 2 686 anévrysmes et ont bénéficié d'un suivi moyen de 4,1 années. Parmi ces patients, 51 (3 %) ont présenté une Hémorragie Sous-Arachnoïdienne anévrysmale (avec un taux de mortalité de 65 %). En cohérence avec ISUIA 1 :

- Le taux de rupture annuel était plus élevé pour les anévrysmes de diamètre ≥ 7 mm que pour ceux de diamètre < 7 mm dans le groupe 1 (patients n'ayant pas d'antécédent d'hémorragie sous-arachnoïdienne) ;
- Le taux de rupture annuel était plus élevé dans le groupe 2 (patients ayant un antécédent d'hémorragie sous-arachnoïdienne à partir d'un autre anévrisme) que dans le groupe 1 (patients n'ayant pas d'antécédent d'hémorragie sous-arachnoïdienne) pour les anévrysmes de diamètre < 7 mm ($p < 0,0001$) ;

- Les taux de rupture annuels étaient comparables entre les deux groupes pour les anévrismes de diamètre ≥ 7 mm.

	<7 mm		7-12 mm	13-24 mm	≥ 25 mm
	Group 1	Group 2			
Cavernous carotid artery (n=210)	0	0	0	3.0%	6.4%
AC/MC/IC (n=1037)	0	1.5%	2.6%	14.5%	40%
Post-P comm (n=445)	2.5%	3.4%	14.5%	18.4%	50%

AC=anterior communicating or anterior cerebral artery. IC=internal carotid artery (not cavernous carotid artery). MC=middle cerebral artery. Post-P comm=vertebrobasilar, posterior cerebral arterial system, or the posterior communicating artery.

Figure 3 : Taux de rupture cumulé sur 5 ans (après le diagnostic d'anévrisme intra-crânien non rompu) en fonction du diamètre et du siège de l'anévrisme intra-crânien et du groupe (sans ou avec antécédent d'hémorragie sous-arachnoïdienne à partir d'un autre anévrisme).

Source : ISUIA 2, Wiebers et al. [7].

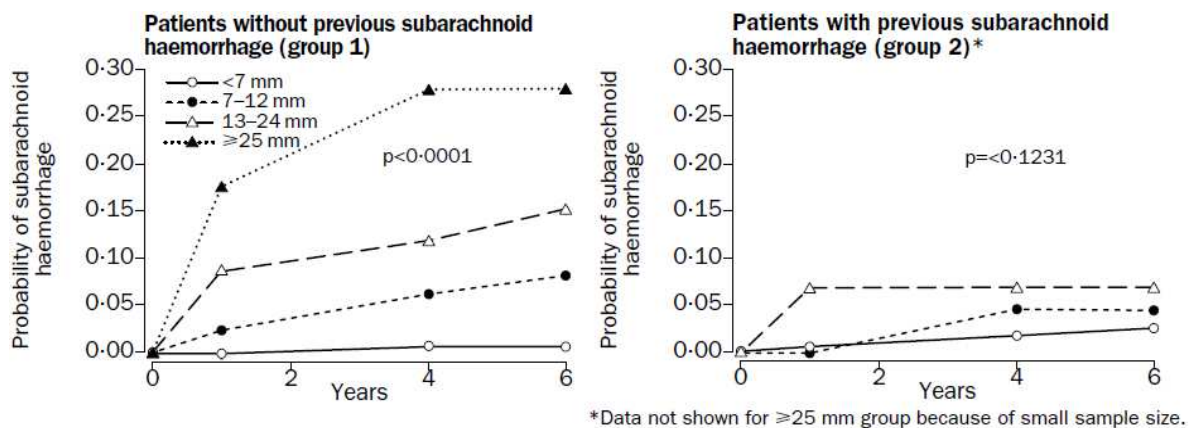


Figure 4 : Evolution de la probabilité annuelle d'Hémorragie Sous-Arachnoïdienne au cours du temps (à partir du diagnostic d'anévrisme intra-crânien non rompu) en fonction du diamètre de l'anévrisme intra-crânien et du groupe (sans ou avec antécédent d'hémorragie sous-arachnoïdienne à partir d'un autre anévrisme).

Source : ISUIA 2, Wiebers et al. [7].

Traitement chirurgical ou endovasculaire :

Les 1 917 patients qui ont été traités par chirurgie ouverte ont bénéficié d'un suivi moyen de 4,0 années ; les 451 patients qui ont été traités par voie endovasculaire ont bénéficié d'un suivi moyen de 3,7 années.

Par analogie avec ISUIA 1, les taux globaux de morbidité et de mortalité (« Overall morbidity and mortality ») étaient déterminés à 30 jours et à 1 an après le traitement. Ces taux étaient plus faibles pour les patients traités par voie endovasculaire que pour ceux traités par chirurgie ouverte :

	Open surgical		Endovascular	
	Group 1 (n=1591)	Group 2 (n=326)	Group 1 (n=409)	Group 2 (n=42)
At 30 days				
Overall morbidity and mortality for all patients	218 (13.7%)	36 (11.0%)	38 (9.3%)	3 (7.1%)
At 1 year				
Overall morbidity and mortality* for all patients	200 (12.6%)	33 (10.1%)	40 (9.8%)	3 (7.1%)

*Overall morbidity and mortality includes death, and one of both Rankin score 3-5 and impaired cognitive status.

Figure 5 : Taux globaux de morbidité et de mortalité à 30 jours et à 1 an après le traitement en fonction du type de traitement (chirurgie ouverte ou traitement endovasculaire) et du groupe (sans ou avec antécédent d'hémorragie sous-arachnoïdienne à partir d'un autre anévrisme).

Source : ISUIA 2, Wiebers et al. [7].

Pour les patients traités par chirurgie ouverte ou par voie endovasculaire, un mauvais résultat post-thérapeutique était défini par un décès (score de Rankin = 6), un score de Rankin compris entre 3 et 5 ou une détérioration de l'état cognitif [47, 48].

Dans ce contexte, des facteurs prédictifs péjoratifs ont été identifiés :

- au sein du groupe traité par chirurgie ouverte : l'âge ≥ 50 ans (Risque Relatif = 2,4 et $p < 0,0001$), le diamètre anévrysmal > 12 mm (RR = 2,6 et $p < 0,0001$), la localisation anévrysmale sur la circulation postérieure (RR = 1,6 et $p = 0,025$), un antécédent de maladie cérébro-vasculaire ischémique (RR = 1,9 et $p = 0,01$) et un anévrisme symptomatique (en dehors de la rupture ; RR = 1,59 et $p = 0,004$) ;
- au sein du groupe traité par voie endovasculaire : le diamètre anévrysmal > 12 mm (RR = 2,4 et $p < 0,03$) et la localisation anévrysmale sur la circulation postérieure (RR = 2,25 et $p = 0,02$). A noter que l'âge ≥ 50 ans ne correspondait pas à un facteur prédictif péjoratif statistiquement significatif en cas de traitement endovasculaire.

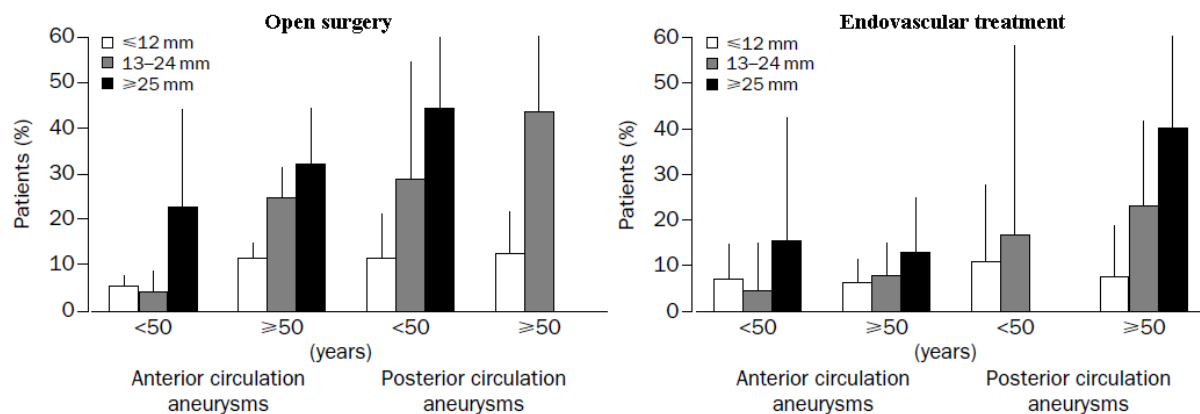


Figure 6 : Pourcentages de patients présentant un mauvais résultat à 1 an après le traitement en fonction du type de traitement (chirurgie ouverte ou traitement endovasculaire), de l'âge, du siège et de la taille de l'anévrisme.

Source : ISUIA 2, Wiebers et al. [7].

La seconde étude ISUIA (ISUIA 2) concluait sur l'importance de l'évaluation comparative du risque de rupture anévrysmale (histoire naturelle notamment fonction du siège, de la taille et d'un éventuel antécédent de rupture d'anévrisme intra-crânien) et des risques du traitement (notamment fonctions de l'âge, du siège et de la taille de l'anévrisme).

1.2.1.2. Autres études comparant clipping et coiling

En complément de l'importante étude prospective ISUIA (traitée ci-avant dans « 1.2.1.1. Etudes ISUIA 1 et 2 »), d'autres études ont comparé le traitement chirurgical ouvert par clipping au traitement endovasculaire par coiling dans la prise en charge des anévrismes intra-crâniens non rompus.

Parmi ces études rétrospectives, 4 portaient principalement sur des critères de morbi-mortalité.

Publié en 1999, le travail de Johnston et al. [49] a comparé 2 357 traitements chirurgicaux à 255 traitements endovasculaires réalisés entre janvier 1994 et juin 1997 dans 60 hôpitaux universitaires américains. Il mettait en évidence des résultats défavorables plus fréquents en cas de traitement chirurgical qu'en cas de traitement endovasculaire (18,5 % versus 10,6 %, $p = 0,002$) avec notamment une mortalité intra-hospitalière plus élevée (2,3 % versus 0,4 %, $p = 0,039$) et des durées et coûts de séjours plus élevés ($p < 0,0001$).

Deux ans plus tard, l'équipe de Johnston confirmait ces résultats dans une étude sur 2 069 patients traités dans l'état de Californie de janvier 1990 à décembre 1998 (1 699

chirurgicalement et 370 par technique endovasculaire) [50]. Les résultats défavorables (décès intra-hospitalier ou dépendance nécessitant une rééducation en milieu spécialisé après l'hospitalisation initiale habituelle) étaient plus fréquents en cas de traitement chirurgical qu'en cas de traitement endovasculaire (25 % versus 10 %, $p < 0,001$) avec notamment une mortalité intra-hospitalière plus élevée (3,5 % versus 0,5 %, $p < 0,001$). Ces résultats demeuraient statistiquement significatifs après analyse multivariée. A noter qu'il existait une amélioration des résultats au cours du temps pour les techniques endovasculaires avec une diminution de la fréquence des résultats défavorables entre 1991 et 1998 alors que ces taux demeuraient constants pour le traitement chirurgical ($p < 0,005$).

Plus largement, la méta-analyse de Lee et al. a porté sur 45 études publiées entre janvier 1990 et juillet 2003, correspondant à 12 300 patients traités chirurgicalement et 1 829 par voie endovasculaire [51]. Les résultats de ce travail étaient aussi en faveur du coiling avec des taux cumulés de résultats défavorables de 8,8 % (IC 95 % = [7,6 – 10,1 %]) pour le coiling versus 17,8 % (IC 95 % = [17,2 – 18,6 %]) pour le clipping.

Afin de rechercher une éventuelle influence de l'âge, Brinjikji et al. [52] ont analysé une base de données fédérale américaine (National Inpatient Sample) entre 2001 et 2008 en distinguant 4 catégories d'âges : moins de 50 ans, entre 50 et 64 ans, entre 65 et 79 ans et plus de 80 ans. Leurs résultats confirmaient la moindre morbidité et la moindre mortalité du coiling endovasculaire par comparaison avec le clipping chirurgical. De plus, ces résultats mettaient en exergue que cette différence de morbi-mortalité entre les 2 modalités de traitement devenait plus importante avec l'âge.

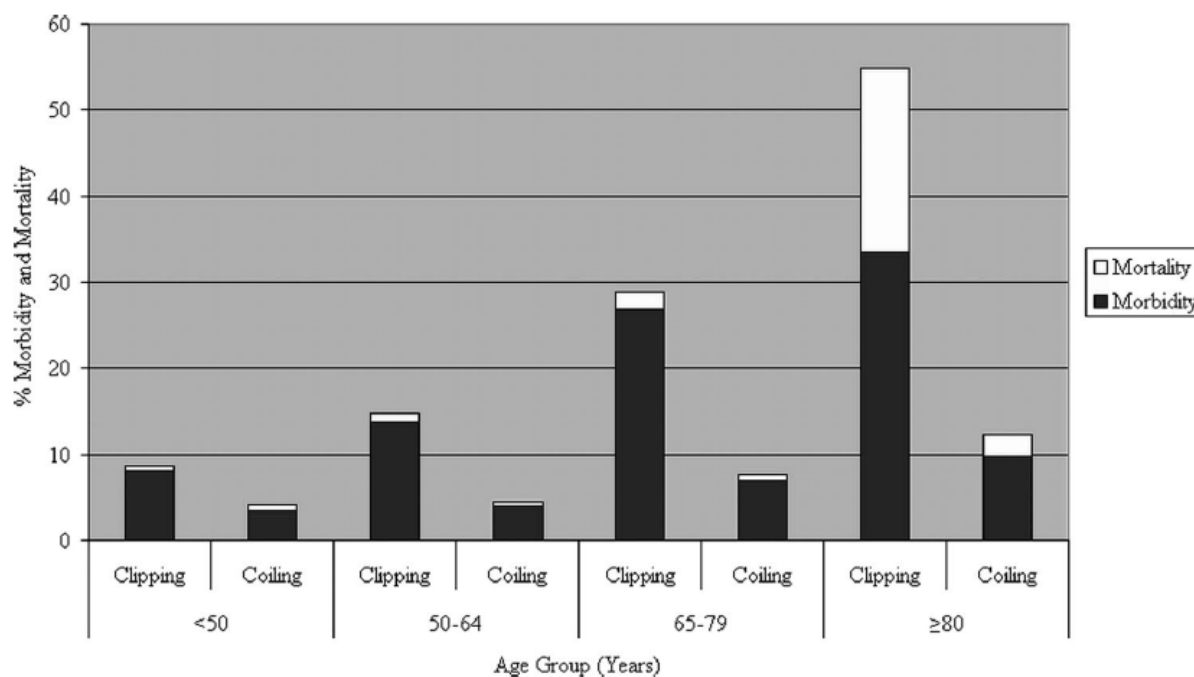


Figure 7 : Pourcentages de morbidité et de mortalité en fonction du type de traitement (clipping ou coiling) et par groupe d'âge.

Source : Brinjikji et al. [52].

Enfin, une seconde étude a porté sur cette base de données fédérale américaine (National Inpatient Sample), en incluant 3 738 patients traités par clipping et 3 498 patients traités par coiling pour des anévrysmes intra-crâniens non rompus, entre 2000 et 2006. Conduit par Alshekhlee et al. [53], ce travail était en faveur du coiling par rapport au clipping avec une durée de séjour hospitalier plus courte (médiane d'1 jour versus 4, $p < 0,0001$), une mortalité intra-hospitalière moins élevée (0,57 % versus 1,6 %, OR = 3,63, IC 95 % = [1,57 – 8,42]) et des complications péri-opératoires moins fréquentes (taux de saignement intra-crânien de 1,37 % versus 2,38 %, OR = 1,75, IC 95 % = [1,23 – 4,49] et d'accident vasculaire cérébral ischémique de 2,92 % versus 6,71 %, OR = 2,39, IC 95 % = [1,89 – 3,03]). A noter que l'étude mettait aussi en évidence une modification des pratiques avec une augmentation du taux d'utilisation de la technique endovasculaire au cours du temps ($p < 0,0001$).

Par ailleurs, même s'il s'agissait cette fois d'anévrysmes intra-crâniens rompus, il est possible de considérer les données de l'étude ISAT (International Subarachnoid Aneurysm Trial) [54]. Cet essai clinique multicentrique (prospectif et randomisé) comparait le coiling endovasculaire au clipping chirurgical dans la prise en charge d'anévrysmes intra-crâniens rompus. Entre 1994 et 2002, 9 559 patients ont été sélectionnés, parmi lesquels 2 143 ont été inclus puis randomisés, soit dans le bras chirurgie (1 070) soit dans le bras traitement

endovasculaire (1 073). Le recrutement de l'étude a dû être interrompu prématurément car une analyse intermédiaire montrait une supériorité significative du traitement endovasculaire par rapport au traitement chirurgical pour le critère de jugement principal. En effet, les taux composites de mortalité ou de dépendance à 1 an (échelle de Rankin modifiée > 2) étaient respectivement de 23,5 % et de 30,9 % pour le coiling et le clipping, soit une réduction du risque absolu de 7,4 % (IC 95 % = [3,6 – 11,2 %], p = 0,0001). De plus, ce bénéfice en termes de morbi-mortalité persistait pendant plus de 7 ans de manière statistiquement significative (log rank p = 0,03). Cependant, même s'il était bas, le taux de resaignement tardif (à plus d'1 an) était plus élevé en cas de traitement endovasculaire (7 cas / 1 073 dans le bras coiling versus 2 cas / 1 070 dans le bras clipping).

1.2.2. Modalités de traitement des anévrysmes intra-crâniens non rompus

1.2.2.1. Traitement conservateur

Il ne s'agit pas d'une absence de traitement mais d'une surveillance active avec prise en charge des facteurs de risque modifiables. Ainsi, le contrôle d'une éventuelle hypertension artérielle et le sevrage d'un éventuel tabagisme sont particulièrement importants en cas d'anévrysme intra-crânien non rompu.

La surveillance est à la fois clinique (apparition de céphalées, d'atteintes de nerfs crâniens...) et par imagerie annuelle (angio-scanner, angio-IRM et/ou artériographie encéphalique), à la recherche d'une augmentation de la taille de l'anévrysme ou de l'apparition d'un nouvel anévrysme. De tels événements sont associés à un risque plus élevé de rupture et doivent faire considérer un traitement plus définitif [7].

Enfin, l'éducation du patient et de son entourage est importante, notamment pour les situations devant amener à consulter en urgence.

1.2.2.2. Traitement chirurgical et endovasculaire : présentation « historique »

Le traitement neurochirurgical des anévrysmes intra-crâniens est de développement relativement récent.

En effet, la première opération directe sur un anévrysme intracrânien a été réalisée en 1933 par Norman M. Dott, qui enveloppa un anévrysme rompu [55].

Quelques années plus tard, le 23 mars 1937 (article publié en 1938), Walter E. Dandy réalisa le premier clipping oblitérant d'anévrysme intra-crânien, chez un homme de 43 ans présentant un anévrysme intra-crânien non rompu mais symptomatique avec une paralysie

douloureuse du 3^{ème} nerf crânien droit [56]. L'évolution du patient fut favorable avec une résolution de la symptomatologie ; le clipping neurochirurgical était lancé.

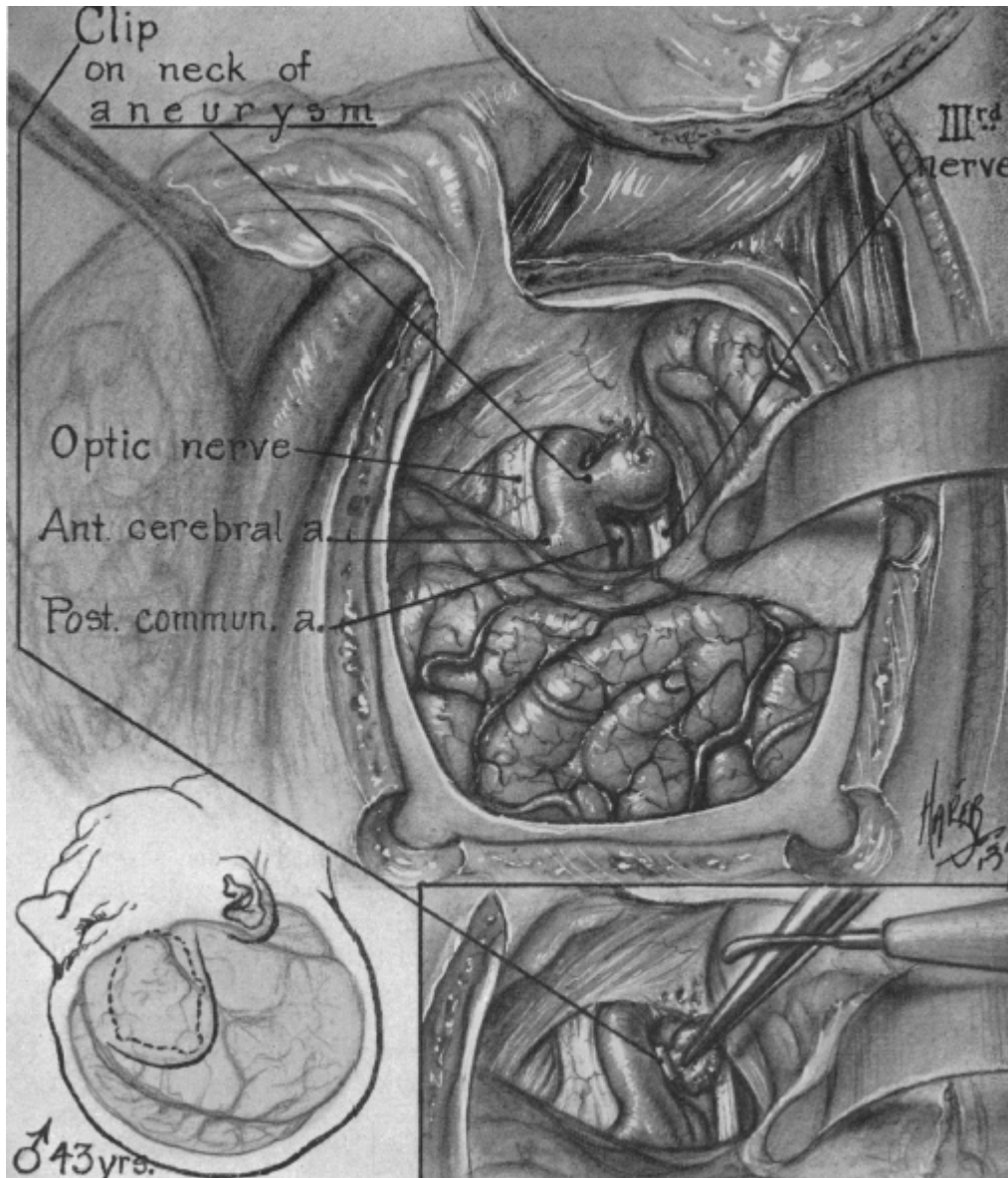


Figure 8 : Schéma de l'anévrisme et de l'approche opératoire (incision, clipping du collet pour exclusion anévrysmale puis cautérisation du sac anévrysmal).

Source : Walter E. Dandy [56].

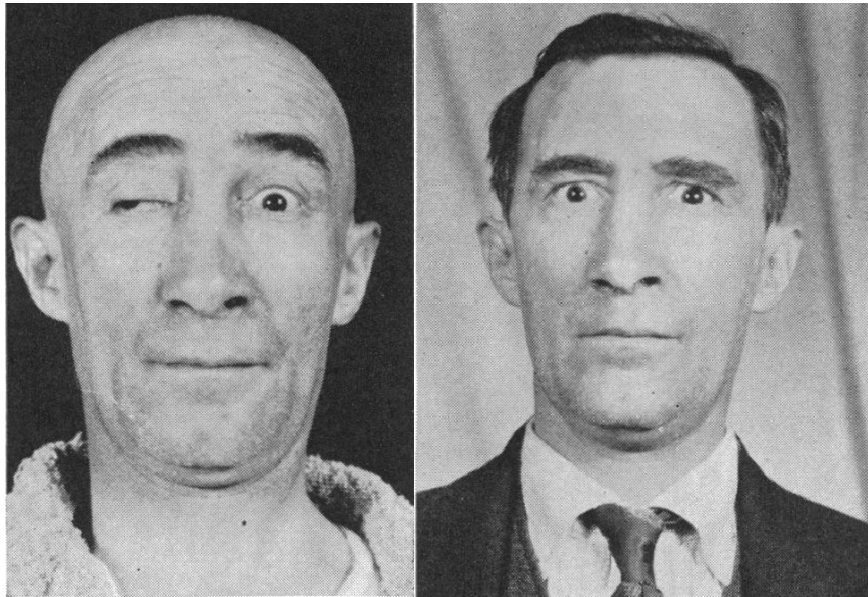


Figure 9 : Photographies du patient prises avant et 7 mois après l'opération : disparition du ptôsis palpébral droit et de la déviation oculaire droite extrême en latéral (dus à la paralysie complète du nerf oculo-moteur droit par la compression extrinsèque de l'anévrisme).

Source : Walter E. Dandy [56].

Dans les années 1960, l'introduction du microscope opératoire et de la micro-instrumentation associée a considérablement amélioré les résultats de la chirurgie ouverte [57].

Ainsi, pendant de nombreuses années le clipping neurochirurgical a été considéré comme étant le traitement de référence de l'anévrisme intra-crânien.



Figure 10 : Schéma d'anévrisme intra-crânien exclu par un clip.

Source : Copyright © 2016, The American Center for Spine & Neurosurgery. All Rights Reserved.

En 1991, l'invention des coils à détachement contrôlé par Guglielmi [58, 59] a permis le traitement endovasculaire des anévrysmes intra-crâniens, en le positionnant comme alternative à la chirurgie ouverte.

Afin de comparer les deux modalités thérapeutiques, l'essai clinique multicentrique ISAT (International Subarachnoid Aneurysm Trial) a débuté en 1994 [54]. Cette étude, détaillée dans le paragraphe « 1.2.1.2. Autres études comparant clipping et coiling », a montré une supériorité significative du traitement endovasculaire par rapport au traitement chirurgical en termes de morbi-mortalité. Devant ces résultats, la conversion des pratiques s'est effectuée vers la prise en charge endovasculaire.

Rapidement, les modalités de traitement endovasculaire se sont considérablement enrichies, afin de répondre au défi que constituait l'importante variété des configurations anévrysmales (ces techniques sont détaillées dans le paragraphe « 2.2.2. Protocole thérapeutique » des Méthodes).

Ainsi, en 1997, la description de la technique du remodeling par Moret et al. [60] a permis d'élargir le traitement endovasculaire aux anévrysmes intra-crâniens à collet large (ainsi qu'aux anévrysmes larges et géants). Puis, des techniques dérivées plus complexes comme le double remodeling ont permis de traiter les anévrysmes des bifurcations.

Dès l'année suivante, en 1998 [61, 62], le développement des techniques de coiling assisté par stent offrait une alternative au remodeling pour le traitement endovasculaire des anévrysmes intra-crâniens à collet large et des anévrysmes larges et géants. En outre, le coiling assisté par stent permettait la prise en charge des anévrysmes fusiformes et disséquants [63]. Enfin, le déploiement d'un stent permettait une procédure de sauvetage en cas de protrusion de spire ou de migration de stent.

Disponibles depuis quelques années seulement, les stents à diversion de flux ont constitué un nouveau paradigme dans le traitement endovasculaire des anévrysmes intra-crâniens. L'intérêt de ces dispositifs est particulièrement marqué dans la prise en charge des configurations les plus complexes : anévrysmes larges et géants, anévrysmes à collet large, anévrysmes fusiformes, anévrysmes multiples sur dissection artérielle segmentaire, anévrysmes de très petite taille (dont les blister-like) mais aussi en cas de recanalisation anévrysmale après un coiling initial.

1.3. Principales complications du traitement endovasculaire des anévrismes intra-crâniens non rompus

1.3.1. Taux de complications globaux

Dans les plus grandes séries publiées (notamment ISUIA 1 et 2), les taux de complications globaux après coiling oscillent entre 8 et 10 % [7, 50, 64].

Ces complications évoluent favorablement dans la majorité des cas.

Ainsi, dans la méta-analyse de Brilstra et al., portant sur 48 études et totalisant 1383 patients, le taux de complications permanentes était de 3,7 % (IC 95 % = [2,7 - 4,9 %]) [65].

Cependant, les taux de complications semblent plus élevés dans deux situations principales : en cas de coiling assisté par stent et en cas d'anévrisme de petite taille [66, 67].

En effet, en cas de technique adjuvante (remodeling mais surtout stenting), les taux de mortalité et de morbidité sont plus élevés qu'en cas de coiling standard. Par exemple, dans la série de Piotin et al. (1 109 anévrismes), les taux de mortalité du stenting et du coiling étaient respectivement de 4,6 et 1,2 % et ceux de morbidité neurologique de 7,4 et 3,8 % [66].

De même, le traitement des anévrismes de très petite taille (≤ 3 mm) est associé à un taux de morbi-mortalité péri-procédural plus élevé (7,3 %), principalement par rupture (perforation) per-procédure (8,3 %) selon la série avec méta-analyse de Brinjikji et al. [67].

A contrario, l'expérience de l'opérateur est inversement corrélée au taux de complications [68]. Dans l'étude de Singh et al., après ajustement pour toutes les autres variables (notamment de l'évaluation médicale du risque intrinsèque de chacune des procédures), le risque de complication diminuait avec l'augmentation de l'expérience du praticien : tous les 5 cas traités, la réduction d'Odds Ratio était d'environ 30 % (Odds Ratio = 0,69 tous les cinq cas traités, IC 95 % = [0,50 - 0,96], $p = 0,03$) [68], jusqu'à une asymptote atteinte avec une expérience de 20 cas. Ce phénomène de courbe d'apprentissage est retrouvé dans d'autres domaines et justifie un haut degré d'exigence dans la formation initiale et dans le maintien des compétences des opérateurs.

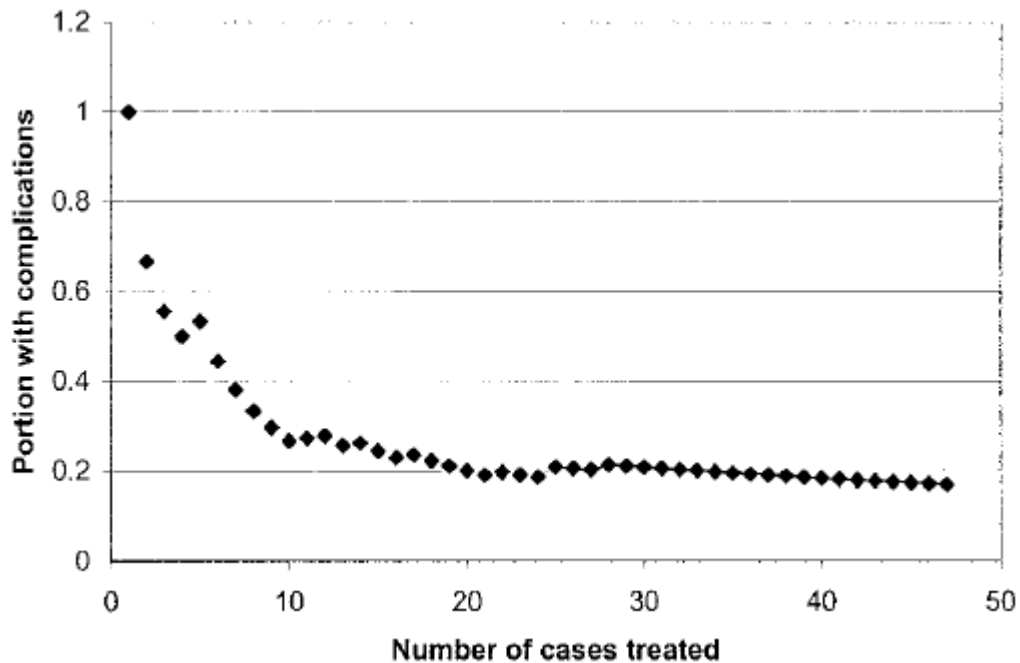


Figure 11 : Proportion cumulée du taux de complications en fonction de l'expérience des praticiens. Le taux de complications diminue avec l'augmentation de l'expérience du médecin, qui est représentée par le nombre de cas que chaque praticien a traité précédemment.

Source : Singh et al. [68].

1.3.2. Complications thrombo-emboliques

Selon les études, l'incidence des complications thrombo-emboliques symptomatiques est estimée entre 2 et 8 % des cas [69-71].

Dans la majorité des cas, ces complications neurologiques sont transitoires [69, 72].

A noter cependant que l'étude IRM met en évidence des taux bien plus élevés de complications thrombo-emboliques « asymptomatiques » : de 28 à 61 % en fonction des séries [69, 72, 73].

1.3.3. Perforation anévrysmale

Parfois, les manipulations des coils, micro-cathéters et micro-guides peuvent être à l'origine d'une perforation anévrysmale.

Ces perforations demeurent rares dans les traitements d'anévrysmes intra-crâniens non rompus : 0,5 % (versus 4,1 % en cas d'anévrysmes intra-crâniens rompus, $p < 0,001$) selon la méta-analyse de Cloft et al. [74].

Comme souligné dans le paragraphe « 1.3.1. Taux de complications globaux », ces perforations sont plus fréquentes en cas d'anévrisme de très petite taille (≤ 3 mm) [67].

1.3.4. Dissection artérielle

Certaines manipulations des cathéters et guides peuvent être à l'origine d'une dissection artérielle in situ. Cette complication est rare, variant entre 0,6 et 3,6 % selon les séries [64, 75].

1.3.5. Migration et étirement de coil

Une migration de coil peut survenir en cas de coil instable ou mal positionné, particulièrement dans les anévrysmes à collet large.

Une telle complication est rare, estimée à 0,5 % dans la série de Murayama et al., grâce au déploiement méticuleux des coils [64]. De plus, en cas d'anévrisme à collet large, la migration de coil est prévenue par la réalisation d'un coiling assisté par ballonnet (remodeling) ou par stent (stenting).

L'autre complication technique affectant un coil est son étirement (« stretching ») en cas de tentative de retrait du coil alors que son extrémité distale est bloquée (le plus souvent par piégeage dans le sac anévrysmal partiellement coilé).

Dans une publication de Cognard et al., cette complication est rapportée dans moins de 2 % des procédures [76].

1.3.6. Recanalisation anévrysmale et rupture après coiling

Le mécanisme de la recanalisation anévrysmale demeure débattu, la principale hypothèse étant la compaction des coils mis en place lors du premier traitement (particulièrement en cas de fond anévrysmal instable dans un contexte de rupture anévrysmale aiguë).

Selon les séries, le taux de recanalisation varie du fait de différences dans les durées des suivis angiographiques mais aussi dans les seuils employés par les auteurs pour définir la recanalisation.

Ainsi, le taux de recanalisation anévrysmale était de 20,9 % dans la série de l'UCLA (University of California, Los Angeles) publiée par Murayama et al. [64] (recanalisation définie comme étant une augmentation du remplissage anévrysmal supérieure à 10 % par

comparaison avec le résultat artériographique post-procédure ; suivi angiographique moyen de 11 mois) alors qu'il était de 16 % dans la série de Ross et al. [71] (recanalisation définie comme correspondant à « un anévrysme résiduel significatif ou une compaction des coils / réaugmentation du collet » ; suivi angiographique moyen de 6 mois)

La série de Montréal publiée par Roy et al. en 2003 [77] constitue une des séries les plus intéressantes dans l'étude de la recanalisation anévrysmale grâce à un suivi prolongé (plus de 37 mois pour un des trois groupes) et une classification claire de la recanalisation (échelle de Roy-Raymond publiée en 2001 [78] et représentée dans le paragraphe « 2.2.3.4. Données artériographiques » des Méthodes). Dans cette étude, le taux global de recanalisation atteignait 33,6 % (pour une découverte angiographique survenant en moyenne à $12,31 \pm 11,33$ mois après traitement). Une récurrence majeure (« sacculaire avec une taille permettant théoriquement un retraitement par coils ») était diagnostiquée dans 20,7 % des cas (pour une découverte angiographique survenant en moyenne à $16,49 \pm 15,93$ mois).

A noter que le risque de recanalisation est inversement lié à la densité du tassement des coils (« packing ») [79].

La rupture anévrysmale après coiling concerne essentiellement les anévrysmes intracrâniens initialement rompus et est rare.

Dans l'essai clinique ISAT (International Subarachnoid Aneurysm Trial) [54], le taux de resaignement tardif (à plus d'1 an) était plus élevé en cas de traitement endovasculaire (0,7 %) qu'en cas de clipping (0,2 %).

Selon Byrne et al., la récurrence de rupture anévrysmale se produit principalement en cas de recanalisation anévrysmale [80], ce qui souligne la nécessité d'une surveillance prolongée par imagerie des patients traités.

2. Notre étude

2.1. Justification et objectifs de l'étude

Le traitement endovasculaire des anévrysmes intra-crâniens a bénéficié de l'introduction récente de plusieurs techniques, visant à obtenir une exclusion complète de l'anévrysme, sans recanalisation.

Chacune de ces techniques a été évaluée isolément ou de manière comparative avec une ou plusieurs autre(s) technique(s), dans le cadre de séries plus ou moins importantes.

Cependant, la littérature manque de données d'évaluation transversale des profils de sécurité et d'efficacité des différentes techniques endovasculaires.

De plus, afin de traiter un ou plusieurs anévrysme(s) lors de la même session, les techniques endovasculaires sont désormais de plus en plus souvent combinées.

Ainsi, selon la ou les technique(s) employée(s), la fréquence de survenue de lésions ischémiques pourrait varier. Cette donnée capitale devrait alors être considérée dans les choix techniques et précisée dans le cadre de l'information préalable due au patient.

Le but de ce travail est d'évaluer de manière prospective en IRM 3 Teslas l'apparition de lésions ischémiques après traitement endovasculaire d'anévrysmes intra-crâniens non rompus, en fonction des différentes techniques couramment utilisées.

Les objectifs secondaires de cette cohorte sont de recueillir des données cliniques, angiographiques et d'IRM sur la sécurité et l'efficacité des techniques de traitement endovasculaire des anévrysmes intra-crâniens non rompus, de manière comparative.

2.2. Méthodes

Cette étude de cohorte prospective a porté sur une série de patients consécutifs traités par voie endovasculaire pour des anévrysmes intra-crâniens non récemment rompus, pendant une période de 24 mois (du 1^{er} janvier 2012 au 31 décembre 2013).

Les patients ont donné leur consentement oral et écrit après une information claire, loyale et adaptée sur les bénéfices et risques du traitement. Leur souhait de bénéficier d'un traitement, exprimé pendant la ou les consultation(s), a aussi été pris en compte pour porter l'indication thérapeutique.

La sélection des patients et le choix du traitement n'étaient pas influencés par l'étude. Les données des patients étaient saisies dans une base de données prospective ; les données cliniques et d'imagerie étaient analysées rétrospectivement.

2.2.1. Méthodes de sélection : population étudiée

2.2.1.1. Critères d'inclusion

Définis a priori, les critères d'inclusion étaient les suivants :

- Tous les patients consécutifs ;
- Traités pour un ou plusieurs anévrysmes intra-crâniens non récemment rompus ;
- Entre le 1^{er} janvier 2012 et le 31 décembre 2013 ;
- Et âgés de 18 ans ou plus.

2.2.1.2. Critères de non-inclusion

Définis a priori, les critères de non-inclusion étaient les suivants :

- refus du patient ou incapacité de donner son accord ;
- contre-indication à la réalisation de l'IRM pré-thérapeutique (notamment liée au champ magnétique ou à une claustrophobie) ;
- traitement à la phase aiguë d'un anévrysme intra-crânien rompu.

2.2.1.3. Choix de la taille de la population

Un calcul préalable du nombre de sujets nécessaire a été réalisé pour une puissance statistique suffisante (32 patients avec $\beta \geq 80\%$).

La taille de la population étudiée était liée à la période de recueil des données, définie a priori (24 mois d'inclusion et 6 mois supplémentaires pour le suivi des derniers patients inclus).

2.2.2. Protocole thérapeutique

2.2.2.1. Modalités de traitement

Toutes les interventions ont été réalisées par deux neuroradiologues interventionnels expérimentés, sur un dispositif d'angiographie numérisée à capteur bi-plan (Allura Xper FD20, Philips, Eindhoven, Pays-Bas, mis en service le 10 avril 2004), sous anesthésie générale avec monitoring continu de la pression sanguine artérielle sur un introducteur (fémoral).

Après un bolus intra-veineux de 3 000 unités d'Héparine Non Fractionnée, l'approche était réalisée en triple co-axial :

- introducteur artériel fémoral de calibre 6F, de type Terumo (Terumo Medical, Somerset, New Jersey, USA) ;

- cathéter-guide de calibre 6F, de type Envoy (Codman Neurovascular, Raynham, Massachusetts, USA), dont l'extrémité distale est amenée jusque dans l'artère carotide interne (fin de la phase d'accès vasculaire) ;

- microcathéter de calibre 2,1F, de type Echelon 10 (ev3, Irvine, California, USA), dont l'extrémité distale est amenée jusqu'à l'anévrisme à traiter et qui permet le déploiement du matériel d'embolisation (phase de traitement de l'anévrisme).

Le matériel est précisé à titre indicatif car le choix était réalisé en fonction de la technique utilisée.

2.2.2.1.1. Incidence de travail

Avant de débiter la phase de traitement de l'anévrisme, l'incidence de travail (« working projection ») était systématiquement déterminée à partir d'une angiographie rotationnelle tridimensionnelle.

L'incidence de travail devait montrer l'anévrisme, le vaisseau parent et les branches artérielles collatérales impliquées en dégagant bien le dôme et le collet de l'anévrisme par rapport à l'artère porteuse.

2.2.2.1.2. Coiling

La technique du coiling était utilisée en cas d'anévrisme à collet étroit (Dome-to-Neck Ratio ≥ 2 i.e. ratio largeur du dôme / largeur du collet ≥ 2).

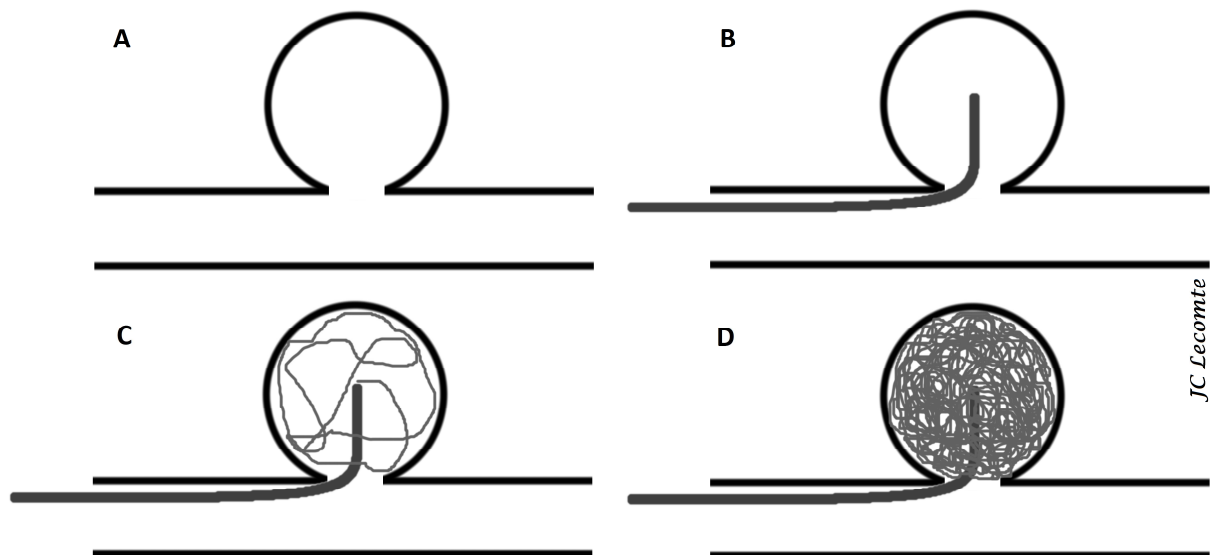


Figure 12 : Coiling.

A : Incidence de travail ; anévrisme à collet étroit. **B** : Cathétérisme supra-sélectif du sac anévrysmal par un micro-cathéter. **C** et **D** : Déploiement progressif de spirales de platine, par diamètre et longueur décroissants.

L'opération débutait avec la mise en place d'un introducteur de calibre 6F de type Terumo (Terumo Medical, Somerset, New Jersey, USA) dans l'artère fémorale droite et d'un introducteur de calibre 4F de type Terumo (Terumo Medical, Somerset, New Jersey, USA) dans l'artère fémorale gauche (pour monitoring continu de la pression sanguine artérielle et disposer d'un second abord artériel si nécessaire).

Par l'introducteur artériel fémoral droit, un cathéter porteur de calibre 6F de type Envoy (Codman Neurovascular, Raynham, Massachusetts, USA) était montée sur guide 0,035" hydrophile de type Terumo standard (Terumo Medical, Somerset, New Jersey, USA) pour cathétériser sélectivement l'artère carotide commune (droite ou gauche) puis l'artère carotide interne homolatérale.

Ce cathéter permettait successivement la réalisation de séries angiographiques numérisées de face et de profil en région cervicale, de face et de profil en intra-crânien puis en imagerie tridimensionnelle centrée sur le sac anévrysmal afin de déterminer l'incidence de travail.

En triple co-axial, un micro-cathéter de type Echelon 10 (ev3, Irvine, California, USA) était navigué sur un micro-guide 0,014" de type Traxcess 14 (MicroVention/Terumo, Tustin, California, USA) pour permettre un cathétérisme supra-sélectif du sac anévrysmal.

Par ce micro-cathéter des spirales de platine de type MicroPlex 10 (MicroVention/Terumo, Tustin, California, USA), VFC 6 et/ou VFC 3 (MicroVention/Terumo, Tustin, California, USA) étaient déployées, par diamètre et longueur décroissants.

Après retrait du micro-cathéter, un contrôle angiographique final en incidence de travail était réalisé par la cathéter porteur pour confirmer l'exclusion totale du sac anévrysmal.

Des séries angiographiques de face et de profil étaient aussi réalisées en intra-crânien pour contrôler l'absence de complication thrombo-embolique et en région cervicale pour contrôler l'absence de dissection artérielle.

La procédure s'achevait par un scanner cone-beam de contrôle type XpertCT pour s'assurer de l'absence de complication hémorragique.

Le matériel pouvait alors être retiré avec mise en place d'un dispositif de fermeture vasculaire de type AngioSeal 6F (St. Jude Medical, Austin, Texas, USA) en fémoral droit et compression manuelle puis pansement compressif en fémoral gauche.

2.2.2.1.3. Double microcathéter

La technique du double microcathéter était utilisée en cas d'anévrysme à collet large (Dome-to-Neck Ratio < 2 i.e. ratio largeur du dôme / largeur du collet < 2) ou de nécessité d'un coiling particulièrement stable (comme en cas d'artère naissant du collet d'un anévrysme).

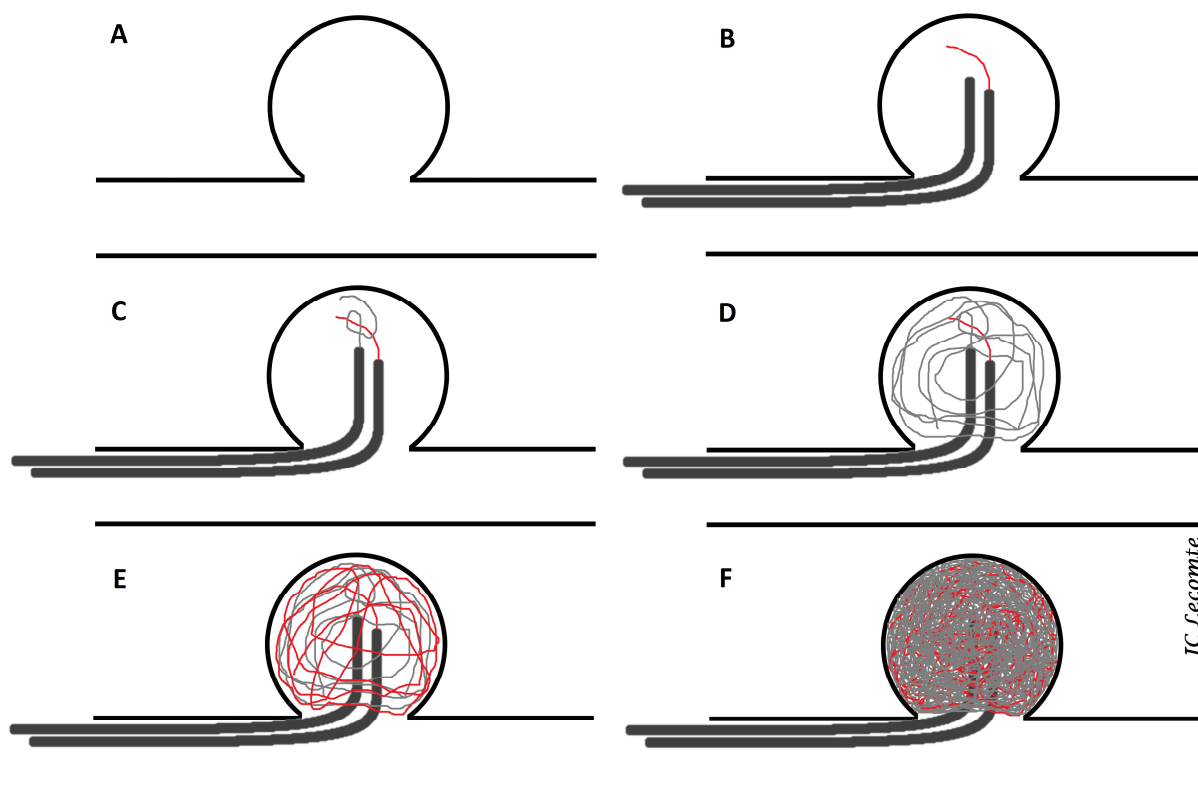


Figure 13 : Double microcathéter.

A : Incidence de travail ; anévrisme à collet large. **B** : Cathétérisme supra-sélectif du sac anévrysmal par deux micro-cathéters et déploiement partiel d'une première spirale de platine par un des deux micro-cathéters. **C** : En utilisant cette 1ère spirale comme ancrage, déploiement progressif d'une 2nde spirale de platine par le 2nd micro-cathéter. **D** : Largage de cette 2nde spirale seulement après s'être assuré de la stabilité de l'ensemble, favorisée par l'ancrage constitué par la 1ère spirale. **E et F** : Alternativement, déploiement par chaque micro-cathéter d'une spirale servant de support pendant le déploiement par l'autre micro-cathéter d'une spirale destinée à être larguée.

Cette technique nécessitait la mise en place d'un double abord vasculaire artériel, sous la forme d'un introducteur de calibre 6F de type Terumo (Terumo Medical, Somerset, New Jersey, USA) dans l'artère fémorale droite et d'un introducteur de calibre 7F de type Terumo (Terumo Medical, Somerset, New Jersey, USA) dans l'artère fémorale gauche.

Ainsi, deux cathéters porteurs de calibre 6F de type Envoy (Codman Neurovascular, Raynham, Massachusetts, USA) étaient montées sur guides 0,035" hydrophiles de type Terumo standard (Terumo Medical, Somerset, New Jersey, USA) pour cathétériser sélectivement l'artère carotide commune (droite ou gauche) puis l'artère carotide interne homolatérale.

L'une des deux cathéters permettait successivement la réalisation de séries angiographiques numérisées de face et de profil en région cervicale, de face et de profil en intra-crânien puis en imagerie tridimensionnelle centrée sur le sac anévrysmal afin de déterminer l'incidence de travail.

En triple co-axial, deux micro-cathéters de calibre 2,1F, de type Echelon 10 (ev3, Irvine, California, USA) étaient navigués sur micro-guides 0,014" de type Traxcess 14 (MicroVention/Terumo, Tustin, California, USA) pour permettre un cathétérisme supra-sélectif du sac anévrysmal.

Par un des deux micro-cathéters une première spirale de platine de type MicroPlex 10 (MicroVention/Terumo, Tustin, California, USA) était partiellement déployée. Elle servait alors d'ancrage pour le déploiement d'une seconde spirale de platine de type MicroPlex 10 par l'autre micro-cathéter. Le largage de cette seconde spirale n'était effectué qu'après s'être assuré de la stabilité de l'ensemble, favorisée par l'ancrage constitué par la première spirale. Alternativement, chaque micro-cathéter déployait une spirale servant de support pendant que l'autre déployait une spirale destinée à être larguée.

Les spirales de platine de type MicroPlex 10, VFC 6 et/ou VFC 3 (MicroVention/Terumo, Tustin, California, USA) étaient déployées, par diamètre et longueur décroissants.

Après retrait des deux micro-cathéters, un contrôle angiographique final en incidence de travail était réalisé par une des deux cathéters porteurs pour confirmer l'exclusion totale du sac anévrysmal.

Des séries angiographiques de face et de profil étaient aussi réalisées en intra-crânien pour contrôler l'absence de complication thrombo-embolique et en région cervicale pour contrôler l'absence de dissection artérielle.

La procédure s'achevait par un scanner cone-beam de contrôle type XpertCT pour s'assurer de l'absence de complication hémorragique.

Le matériel pouvait alors être retiré avec mise en place d'un dispositif de fermeture vasculaire de type Angioseal 6F (St. Jude Medical, Austin, Texas, USA) en fémoral droit et Angioseal 8F (St. Jude Medical, Austin, Texas, USA) en fémoral gauche.

2.2.2.1.4. Remodeling

La technique du remodeling était utilisée en cas d'anévrysme à collet large (Dome-to-Neck Ratio < 2 ou Aspect Ratio < 1,6 i.e. ratio hauteur de l'anévrysme / largeur du collet < 1,6 [81]).

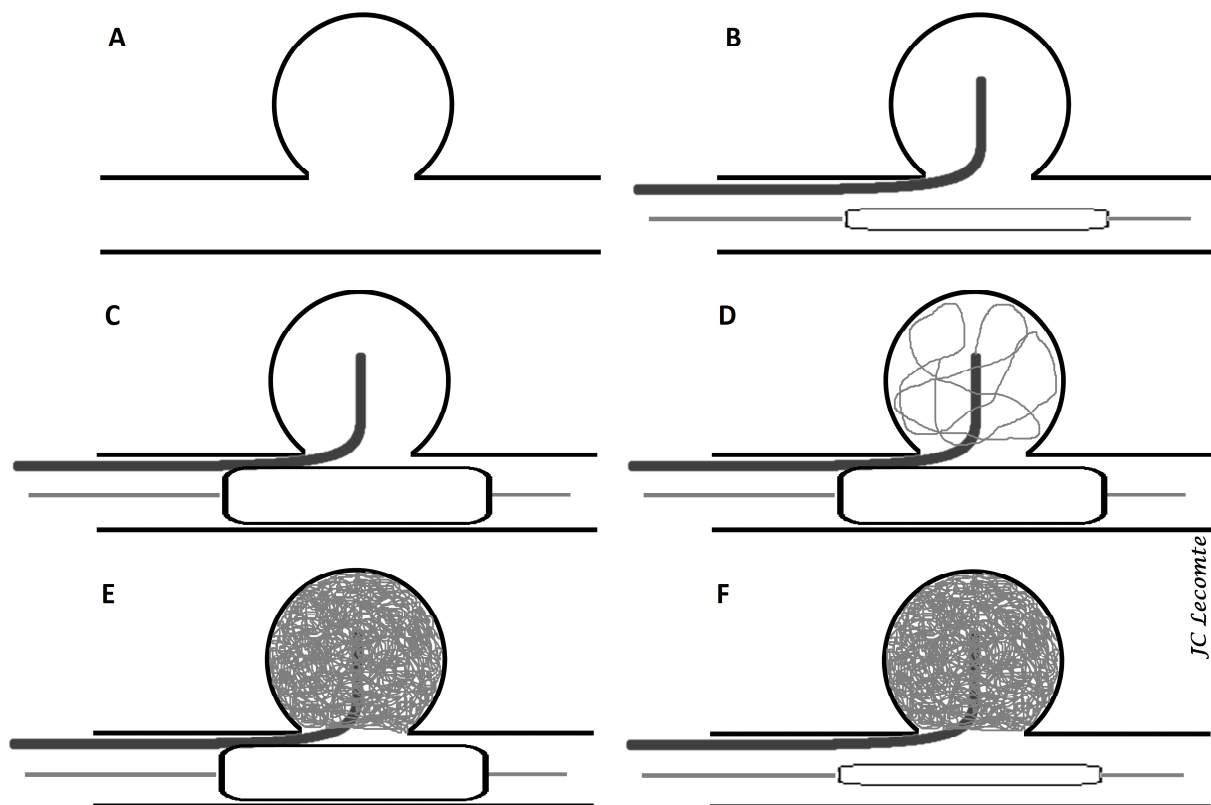


Figure 14 : Remodeling.

A : Incidence de travail ; anévrisme à collet large. **B** : Cathétérisme supra-sélectif du sac anévrysmal par un micro-cathéter et positionnement d'un ballon de remodeling en regard du collet anévrysmal. **C, D et E** : Sous inflations progressives et répétées du ballon de remodeling, déploiement de spirales de platine, par diamètre et longueur décroissants. **F** : Dégonflage prudent du ballon de remodeling en s'assurant de la stabilité des spirales de platine.

Cette technique nécessitait la mise en place d'un double abord vasculaire artériel, sous la forme d'un introducteur de calibre 6F de type Terumo (Terumo Medical, Somerset, New Jersey, USA) dans l'artère fémorale droite et d'un introducteur de calibre 7F de type Terumo (Terumo Medical, Somerset, New Jersey, USA) dans l'artère fémorale gauche.

Ainsi, deux cathéters porteurs de calibre 6F de type Envoy (Codman Neurovascular, Raynham, Massachusetts, USA) étaient montées sur guides 0,035" hydrophiles de type Terumo standard (Terumo Medical, Somerset, New Jersey, USA) pour cathétériser sélectivement l'artère carotide commune (droite ou gauche) puis l'artère carotide interne homolatérale.

L'un des deux cathéters permettait successivement la réalisation de séries angiographiques numérisées de face et de profil en région cervicale, de face et de profil en

intra-crânien puis en imagerie tridimensionnelle centrée sur le sac anévrysmal afin de déterminer l'incidence de travail.

En triple co-axial par un des deux cathéters porteurs, un micro-cathéter de calibre 2,1F, de type Echelon 10 (ev3, Irvine, California, USA) était navigué sur micro-guide 0,014" de type Traxcess 14 (MicroVention/Terumo, Tustin, California, USA) en amont du sac anévrysmal.

En triple co-axial par le second cathéter porteur, un ballonnet de remodeling de type Hyperglide 4-10 mm (MicroTherapeutics, Irvine, California, USA) était navigué et positionné en regard du collet anévrysmal.

Le micro-cathéter de type Echelon 10 réalisait alors un cathétérisme supra-sélectif du sac anévrysmal.

Sous inflations progressives et répétées du ballon de remodeling, des spirales de platine de type MicroPlex 10, VFC 6 et/ou VFC 3 (MicroVention/Terumo, Tustin, California, USA) étaient déployées, par diamètre et longueur décroissants.

Après retrait du micro-cathéter et du ballonnet, un contrôle angiographique final en incidence de travail était réalisé par un des deux cathéters porteurs pour confirmer l'exclusion totale du sac anévrysmal.

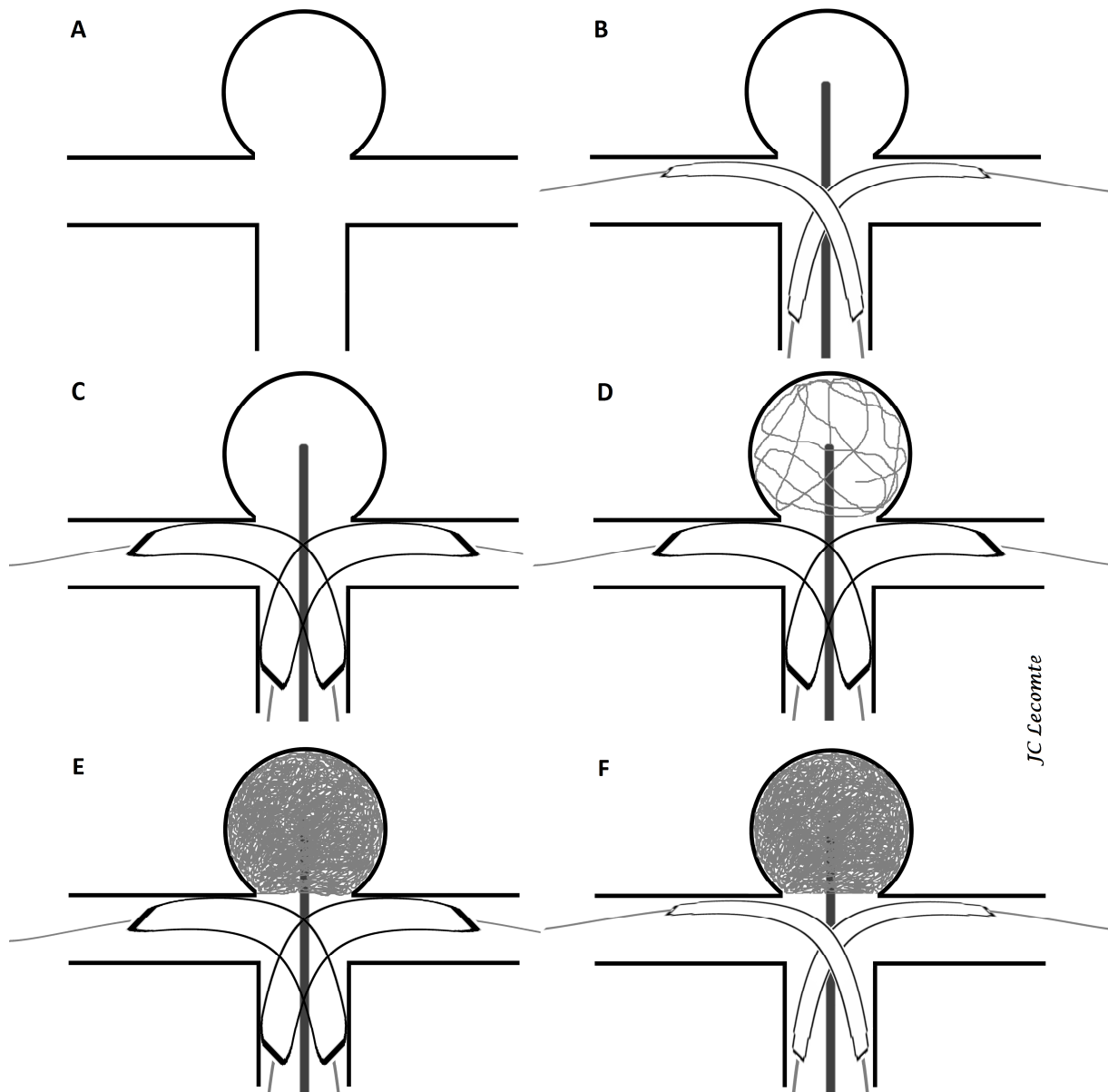
Des séries angiographiques de face et de profil étaient aussi réalisées en intra-crânien pour contrôler l'absence de complication thrombo-embolique et en région cervicale pour contrôler l'absence de dissection artérielle.

La procédure s'achevait par un scanner cone-beam de contrôle type XpertCT pour s'assurer de l'absence de complication hémorragique.

Le matériel pouvait alors être retiré avec mise en place d'un dispositif de fermeture vasculaire de type Angioseal 6F (St. Jude Medical, Austin, Texas, USA) en fémoral droit et Angioseal 8F (St. Jude Medical, Austin, Texas, USA) en fémoral gauche.

Variante du double remodeling (en « kissing »)

La technique du double remodeling (en « kissing ») était utilisée en cas d'anévrysme à collet large (Dome-to-Neck Ratio < 2 ou Aspect Ratio < 1,6) et siégeant à une bifurcation artérielle.



JC Lecomte

Figure 15 : Double remodeling (« en kissing »).

A : Incidence de travail ; anévrysme à collet large et siégeant à une bifurcation artérielle.

B : Cathétérisme supra-sélectif du sac anévrysmal par un micro-cathéter et positionnement de deux ballons de remodeling en regard du collet anévrysmal, au contact l'un de l'autre (« kissing »). **C, D** et **E** : Sous inflations progressives et répétées des ballons de remodeling, déploiement de spirales de platine, par diamètre et longueur décroissants.

F : Dégonflage prudent des ballons de remodeling en s'assurant de la stabilité des spirales de platine.

Cette technique nécessitait la mise en place d'un double abord vasculaire artériel, sous la forme d'un introducteur de calibre 6F de type Terumo (Terumo Medical, Somerset, New

Jersey, USA) dans l'artère fémorale droite et d'un introducteur de calibre 7F de type Terumo (Terumo Medical, Somerset, New Jersey, USA) dans l'artère fémorale gauche.

Ainsi, deux cathéters porteurs de calibre 6F de type Envoy (Codman Neurovascular, Raynham, Massachusetts, USA) étaient montées sur guides 0,035" hydrophiles de type Terumo standard (Terumo Medical, Somerset, New Jersey, USA) pour cathétériser sélectivement l'artère vertébrale droite pour l'une et gauche pour l'autre (exemple d'un anévrisme intra-crânien du sommet du tronc basilaire).

L'un des deux cathéters permettait successivement la réalisation de séries angiographiques numérisées de face et de profil en région cervicale, de face et de profil en intra-crânien puis en imagerie tridimensionnelle centrée sur le sac anévrysmal afin de déterminer l'incidence de travail.

Le cathéter porteur vertébral droit permettait alors la montée simultanée d'un ballon de type Hyperform 4-7 mm (MicroTherapeutics, Irvine, California, USA) placé en regard du collet anévrysmal, en croisant (à cheval entre la terminaison du tronc basilaire et le segment P1 de l'artère cérébrale postérieure gauche) et d'un micro-cathéter de calibre 2,1F, de type Echelon 10 (ev3, Irvine, California, USA) navigué sur un micro-guide 0,014" de type Traxcess 14 (MicroVention/Terumo, Tustin, California, USA) pour permettre un cathétérisme supra-sélectif du sac anévrysmal.

Par le cathéter porteur vertébral gauche, un ballon de type Hyperglide 4-10 mm (MicroTherapeutics, Irvine, California, USA) était placé en regard du collet anévrysmal, en croisant (à cheval entre la terminaison du tronc basilaire et le segment P1 de l'artère cérébrale postérieure droite).

Ces deux croisements permettaient d'obtenir une disposition en « kissing », les deux ballons couvrant complètement le collet anévrysmal une fois gonflés.

Sous inflations progressives et répétées des deux ballons de remodeling, des spirales de platine de type MicroPlex (MicroVention/Terumo, Tustin, California, USA) étaient déployées, par diamètre et longueur décroissants.

Après retrait des deux ballonnets et du micro-cathéter, un contrôle angiographique final en incidence de travail était réalisé par une des deux cathéters porteurs pour confirmer l'exclusion totale du sac anévrysmal.

Des séries angiographiques de face et de profil étaient aussi réalisées en intra-crânien pour contrôler l'absence de complication thrombo-embolique et en région cervicale pour contrôler l'absence de dissection artérielle.

La procédure s'achevait par un scanner cone-beam de contrôle type XpertCT pour s'assurer de l'absence de complication hémorragique.

Le matériel pouvait alors être retiré avec mise en place d'un dispositif de fermeture vasculaire de type Angioseal 6F (St. Jude Medical, Austin, Texas, USA) en fémoral droit et Angioseal 8F (St. Jude Medical, Austin, Texas, USA) en fémoral gauche.

Variante du remodeling avec stenting conventionnel

La technique du remodeling avec stenting conventionnel n'a pas été utilisée dans notre étude car d'autres techniques ont été privilégiées comme le remodeling avec stent LVIS (Low profile Visualized Intraluminal Support ; MicroVention/Terumo, Tustin, California, USA) ou le remodeling avec stent à diversion de flux.

Le remodeling avec stenting conventionnel aurait éventuellement pu être utilisé en cas d'anévrisme à collet large (Dome-to-Neck Ratio < 2 ou Aspect Ratio < 1,6) et à risque élevé de reperméabilisation.

Le déroulement de cette technique aurait été semblable à celui du remodeling avec stenting à diversion de flux (décrit dans le chapitre « 3.2.2.1.9.1 Variante du remodeling avec stenting à diversion de flux »).

2.2.2.1.5. Jailing avec stent conventionnel

La technique du jailing avec stent conventionnel était utilisée en cas d'anévrisme à collet large (Dome-to-Neck Ratio < 2 ou Aspect Ratio < 1,6).

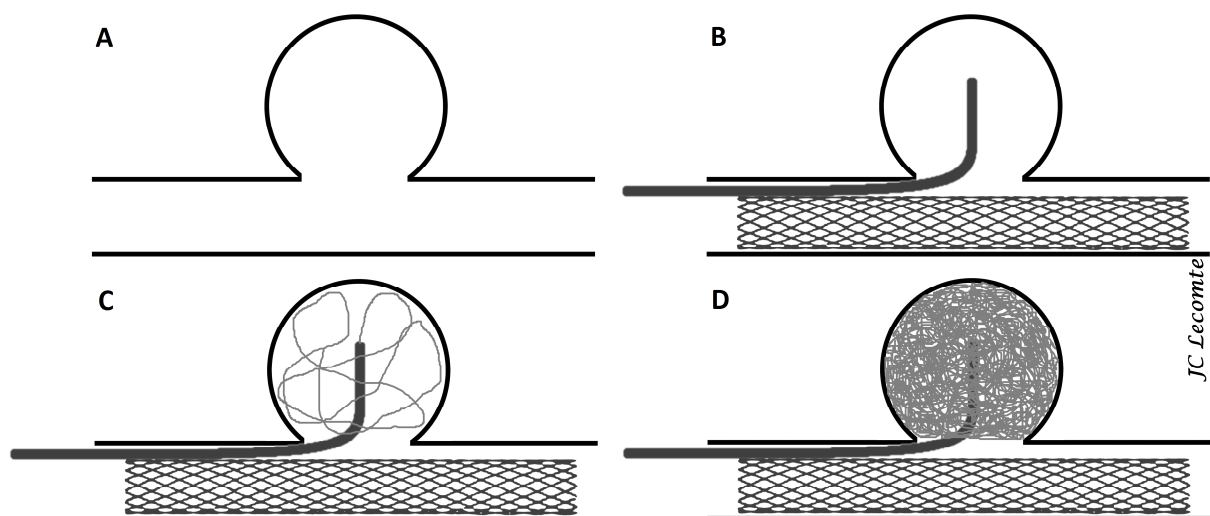


Figure 16 : Jailing avec stent conventionnel.

A : Incidence de travail ; anévrisme à collet large. **B** : Cathétérisme supra-sélectif du sac anévrysmal par un micro-cathéter. Puis déploiement d'un stent conventionnel en regard du collet anévrysmal par un autre micro-cathéter, emprisonnant (« jailing ») ainsi le premier micro-cathéter dans le sac anévrysmal. **C et D** : Déploiement sécurisé de spirales de platine par le 1^{er} micro-cathéter, par diamètre et longueur décroissants.

Cette technique nécessitait la mise en place d'un double abord vasculaire artériel, sous la forme d'un introducteur de calibre 6F de type Terumo (Terumo Medical, Somerset, New Jersey, USA) dans l'artère fémorale droite et d'un introducteur de calibre 7F de type Terumo (Terumo Medical, Somerset, New Jersey, USA) dans l'artère fémorale gauche.

Ainsi, deux cathéters porteurs de calibre 6F de type Envoy (Codman Neurovascular, Raynham, Massachusetts, USA) étaient montés sur guides 0,035" hydrophiles de type Terumo standard (Terumo Medical, Somerset, New Jersey, USA) pour cathétériser sélectivement l'artère carotide commune (droite ou gauche) puis l'artère carotide interne homolatérale.

L'un des deux cathéters permettait successivement la réalisation de séries angiographiques numérisées de face et de profil en région cervicale, de face et de profil en intra-crânien puis en imagerie tridimensionnelle centrée sur le sac anévrysmal afin de déterminer l'incidence de travail.

En triple co-axial par un des deux cathéters porteurs, un micro-cathéter de calibre 1,7F, de type Headway 17 (MicroVention/Terumo, Tustin, California, USA) était navigué sur micro-guide 0,014" de type Traxcess 14 (MicroVention/Terumo, Tustin, California, USA) pour aboutir à un cathétérisme supra-sélectif du sac anévrysmal.

En triple co-axial par le second cathéter porteur, un micro-cathéter de calibre 2,8/2,3F, de type Prowler Plus (Codman Neurovascular, Raynham, Massachusetts, USA) était navigué pour réaliser la montée d'un stent de type Enterprise Vascular Reconstruction System 4,5-22 mm (Codman Neurovascular, Raynham, Massachusetts, USA), déployé en regard du collet anévrysmal.

Le premier micro-cathéter, de type Headway 17 (MicroVention/Terumo, Tustin, California, USA), se trouvait ainsi emprisonné (« jailed »), permettant le déploiement sécurisé de spirales de platine de type MicroPlex (Microvention/Terumo, Tustin, California, USA), par diamètre et longueur décroissants.

Après retrait des deux micro-cathéters, un contrôle angiographique final en incidence de travail était réalisé par un des deux cathéters porteurs pour confirmer l'exclusion totale du sac anévrysmal et la bonne perméabilité du stent.

Des séries angiographiques de face et de profil étaient aussi réalisées en intra-crânien pour contrôler l'absence de complication thrombo-embolique et en région cervicale pour contrôler l'absence de dissection artérielle.

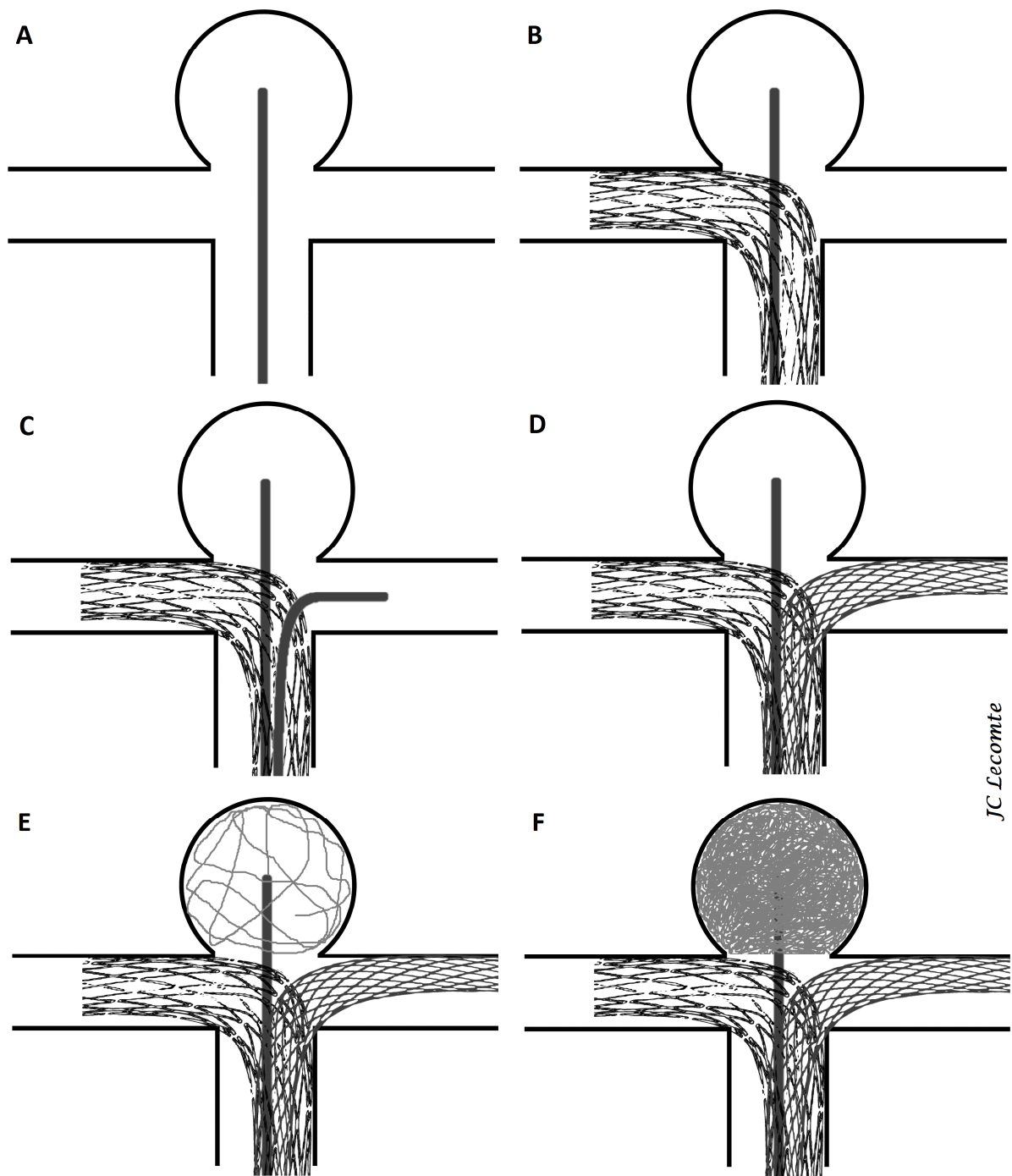
La procédure s'achevait par un scanner cone-beam de contrôle type XpertCT pour s'assurer de l'absence de complication hémorragique.

Le matériel pouvait alors être retiré avec mise en place d'un dispositif de fermeture vasculaire de type Angioseal 6F (St. Jude Medical, Austin, Texas, USA) en fémoral droit et Angioseal 8F (St. Jude Medical, Austin, Texas, USA) en fémoral gauche.

2.2.2.1.6. Stenting en Y

La technique du stenting en Y était utilisée en cas d'anévrisme à collet large (Dome-to-Neck Ratio < 2 ou Aspect Ratio < 1,6) et siégeant à une bifurcation artérielle.

Les travaux de Chalouhi et al. ont démontré un moindre risque de recanalisation en cas de traitement par stenting en Y [82]. En revanche, comme pour toute procédure utilisant un stent, une préparation au Clopidogrel puis une anti-agrégation plaquettaire prolongée sont nécessaires.



JC Lecomte

Figure 17 : Stenting en Y.

A : Incidence de travail ; anévrisme à collet large et siégeant à une bifurcation artérielle. Cathétérisme supra-sélectif du sac anévrysmal par un micro-cathéter. **B** : Déploiement d'un stent à cellules ouvertes en regard du collet anévrysmal, s'étendant de l'artère porteuse jusque dans une des deux branches de la bifurcation artérielle. **C** : Traversée des mailles du 1^{er} stent (à cellules ouvertes) par un micro-cathéter dont l'extrémité distale est ensuite placée dans la 2nde branche de la bifurcation artérielle. **D** : Déploiement d'un stent à

cellules fermées en regard du collet anévrysmal, s'étendant de l'artère porteuse jusque dans la 2^{nde} branche de la bifurcation artérielle, après avoir traversé les mailles du 1^{er} stent.

Obtention d'une couverture du collet sous la forme d'un Y, le 1^{er} micro-cathéter étant emprisonné (« jailed ») dans le sac anévrysmal. **E et F** : Déploiement sécurisé de spirales de platine par le 1^{er} micro-cathéter, par diamètre et longueur décroissants.

Cette technique nécessitait la mise en place d'un double abord vasculaire artériel, sous la forme d'un introducteur de calibre 6F de type Terumo (Terumo Medical, Somerset, New Jersey, USA) dans l'artère fémorale droite et d'un introducteur de calibre 7F de type Terumo (Terumo Medical, Somerset, New Jersey, USA) dans l'artère fémorale gauche.

Ainsi, deux cathéters porteurs de calibre 6F de type Envoy (Codman Neurovascular, Raynham, Massachusetts, USA) étaient montés sur guides 0,035" hydrophiles de type Terumo standard (Terumo Medical, Somerset, New Jersey, USA) pour cathétériser sélectivement l'artère vertébrale droite pour l'une et gauche pour l'autre (exemple d'un anévrysme intra-crânien du sommet du tronc basilaire).

L'un des deux cathéters permettait successivement la réalisation de séries angiographiques numérisées de face et de profil en région cervicale, de face et de profil en intra-crânien puis en imagerie tridimensionnelle centrée sur le sac anévrysmal afin de déterminer l'incidence de travail.

En triple co-axial par un des deux cathéters porteurs, un micro-cathéter de calibre 2,1F, de type Echelon 10 (ev3, Irvine, California, USA) était navigué sur micro-guide 0,014" de type Traxcess 14 (Microvention/Terumo, Tustin, California, USA) pour aboutir à un cathétérisme supra-sélectif du sac anévrysmal.

En triple co-axial par le second cathéter porteur, un micro-cathéter de calibre 2,8F, de type Rebar .027 (ev3, Irvine, California, USA) était navigué sur micro-guide pour réaliser la montée d'un stent à cellules ouvertes de type Neuroform EZ 3-20 mm (Stryker Neurovascular, Fremont, California, USA). Ce stent était déployé en regard du collet anévrysmal et s'étendait de l'artère porteuse jusque dans une des deux branches de la bifurcation artérielle.

Après échange de ce micro-cathéter de type Rebar .027 sur micro-guide, un micro-cathéter de calibre 2,8/2,3F et de type Prowler Select Plus (Codman Neurovascular, Raynham, Massachusetts, USA) traversait les mailles du premier stent (à cellules ouvertes de type Neuroform EZ). Puis, l'extrémité distale du micro-cathéter de type Prowler Select Plus était placée dans la seconde branche de la bifurcation artérielle.

Par ce micro-cathéter, un stent à cellules fermées de type Enterprise Vascular Reconstruction System 4,5-22 mm (Codman Neurovascular, Raynham, Massachusetts, USA) était monté puis déployé en regard du collet anévrysmal, en s'étendant de l'artère porteuse jusque dans la seconde branche de la bifurcation artérielle.

Cette traversée des mailles du premier stent permettait d'obtenir une couverture du collet sous la forme d'un Y.

Le premier micro-cathéter (de type Echelon 10) se trouvait ainsi emprisonné (« jailed »), permettant le déploiement sécurisé de spirales de platine de type MicroPlex (Microvention/Terumo, Tustin, California, USA), par diamètre et longueur décroissants.

Après retrait des deux micro-cathéters, un contrôle angiographique final en incidence de travail était réalisé par une des deux cathéters porteurs pour confirmer l'exclusion totale du sac anévrysmal et la bonne perméabilité du stent.

Des séries angiographiques de face et de profil étaient aussi réalisées en intra-crânien pour contrôler l'absence de complication thrombo-embolique et en région cervicale pour contrôler l'absence de dissection artérielle.

La procédure s'achevait par un scanner cone-beam de contrôle type XpertCT pour s'assurer de l'absence de complication hémorragique.

Le matériel pouvait alors être retiré avec mise en place d'un dispositif de fermeture vasculaire de type Angioseal 6F (St. Jude Medical, Austin, Texas, USA) en fémoral droit et Angioseal 8F (St. Jude Medical, Austin, Texas, USA) en fémoral gauche.

Variante en cas d'abord unilatéral de l'anévrysme :

L'abord unilatéral de l'anévrysme était réalisé en cas de sténose de l'autre abord de l'anévrysme (exemple : sténose proximale de l'artère vertébrale gauche).

La mise en place des stents en Y était semblable.

En revanche, il était nécessaire d'échanger sur micro-guide le micro-cathéter de type Prowler Select Plus (Codman Neurovascular, Raynham, Massachusetts, USA) pour un micro-cathéter de calibre 2,1F, de type Echelon 10 (ev3, Irvine, California, USA).

Puis, sur un micro-guide de type Terumo double courbure et de calibre 0,012", le micro-cathéter de type Echelon 10 était navigué à travers les mailles du premier stent à cellules ouvertes de type Neuroform EZ 3-20 mm (Stryker Neurovascular, Fremont, California, USA) pour obtenir un cathétérisme supra-sélectif du sac anévrysmal (« coil through »).

Des spirales de platine de type MicroPlex 10, VFC 6 et/ou VFC 3 (Microvention/Terumo, Tustin, California, USA) étaient alors déployées, par diamètre et longueur décroissants.

Après retrait du micro-cathéter, un contrôle angiographique final en incidence de travail était réalisé par la cathéter porteur pour confirmer l'exclusion totale du sac anévrysmal et la bonne perméabilité des stents.

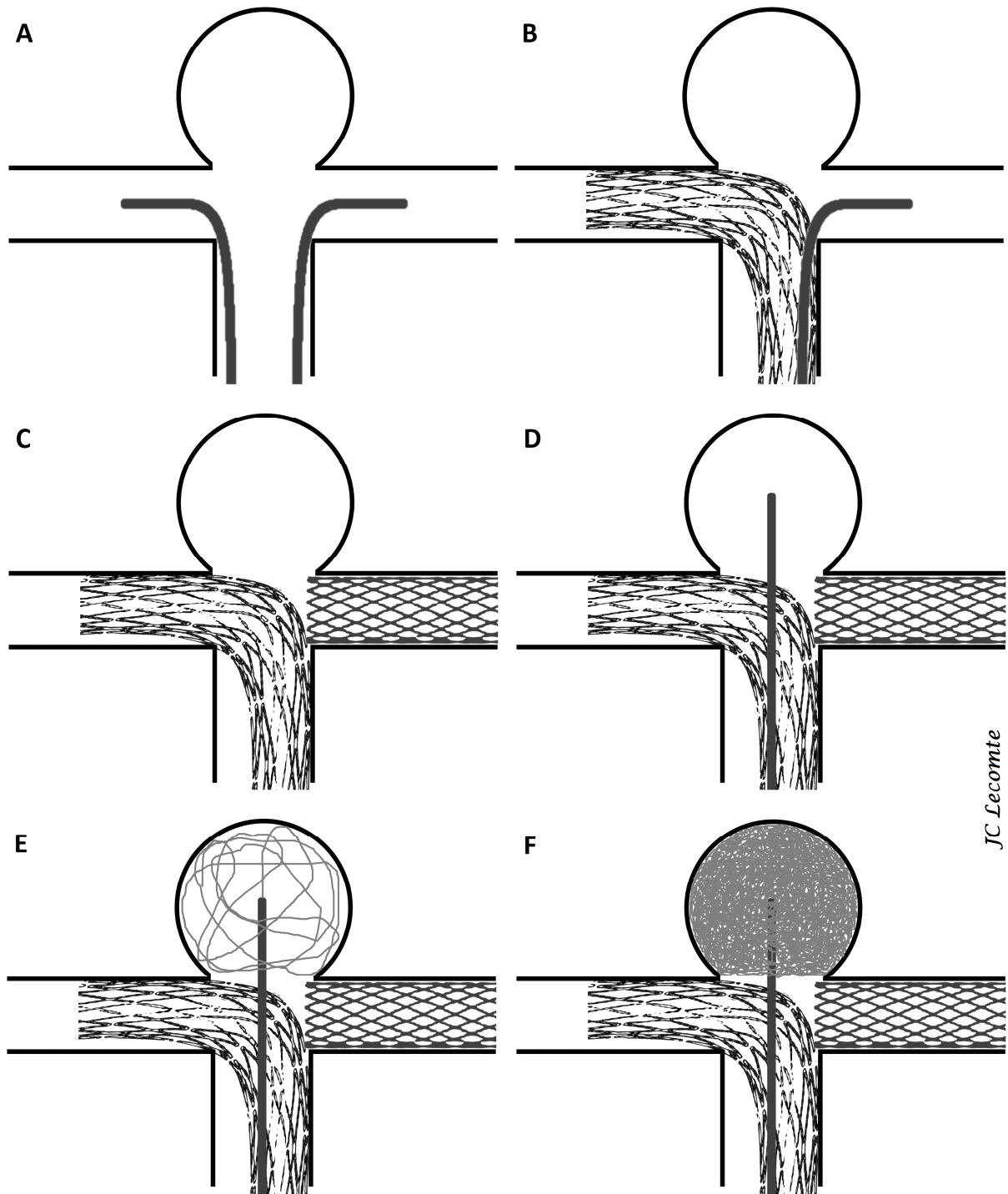
Des séries angiographiques de face et de profil étaient aussi réalisées en intra-crânien pour contrôler l'absence de complication thrombo-embolique et en région cervicale pour contrôler l'absence de dissection artérielle.

La procédure s'achevait par un scanner cone-beam de contrôle type XpertCT pour s'assurer de l'absence de complication hémorragique.

Le matériel pouvait alors être retiré avec mise en place d'un dispositif de fermeture vasculaire de type Angioseal 8F (St. Jude Medical, Austin, Texas, USA) en fémoral droit.

2.2.2.1.7. Stenting en T

La technique du stenting en T était utilisée en cas d'anévrysme à collet large (Dome-to-Neck Ratio < 2 ou Aspect Ratio < 1,6), siégeant à une bifurcation artérielle et lorsque la technique du stenting en Y n'était pas réalisable.



JC Lecomte

Figure 18 : Stenting en T.

A : Incidence de travail ; anévrysme à collet large et siègeant à une bifurcation artérielle. Cathétérisme supra-sélectif de chacune des deux branches de la bifurcation artérielle par un micro-cathéter. **B** : Déploiement d'un stent à cellules ouvertes en regard du collet anévrysmal, s'étendant de l'artère porteuse jusque dans la 1^{ère} branche de la bifurcation artérielle, emprisonnant (« jailing ») ainsi le 2nd micro-cathéter dans la 2^{nde} branche de la bifurcation artérielle. **C** : Déploiement d'un stent à cellules fermées en regard du collet

anévrismal, s'étendant de la 2nde branche de la bifurcation artérielle jusqu'au contact du 1^{er} stent (à cellules ouvertes). Obtention d'une couverture du collet sous la forme d'un T. **D** : Navigation d'un micro-cathéter à travers les mailles du 1^{er} stent (à cellules ouvertes) pour obtenir un cathétérisme supra-sélectif du sac anévrysmal (« coil through »). **E et F** : Déploiement sécurisé de spirales de platine par ce micro-cathéter, par diamètre et longueur décroissants.

Cette technique nécessitait la mise en place d'un double abord vasculaire artériel, sous la forme d'un introducteur de calibre 6F de type Terumo (Terumo Medical, Somerset, New Jersey, USA) dans l'artère fémorale droite et d'un introducteur de calibre 7F de type Terumo (Terumo Medical, Somerset, New Jersey, USA) dans l'artère fémorale gauche.

Ainsi, deux cathéters porteurs de calibre 6F de type Envoy (Codman Neurovascular, Raynham, Massachusetts, USA) étaient montées sur guides 0,035" hydrophiles de type Terumo standard (Terumo Medical, Somerset, New Jersey, USA) pour cathétériser sélectivement l'artère vertébrale droite pour l'une et gauche pour l'autre (exemple d'un anévrysme intra-crânien du sommet du tronc basilaire).

L'une des deux cathéters permettait successivement la réalisation de séries angiographiques numérisées de face et de profil en région cervicale, de face et de profil en intra-crânien puis en imagerie tridimensionnelle centrée sur le sac anévrysmal afin de déterminer l'incidence de travail.

Les deux cathéters porteurs permettaient alors la montée en triple-co-axial de deux micro-cathéters de type Marksman (ev3, Irvine, California, USA) sur micro-guides pour aboutir à un cathétérisme supra-sélectif de chacune des deux branches de la bifurcation artérielle.

Puis, un stent à cellules ouvertes de type Neuroform EZ 3-20 mm (Stryker Neurovascular, Fremont, California, USA) était monté par un des deux micro-cathéters. Il était ainsi déployé en regard du collet anévrysmal et s'étendait de l'artère porteuse jusque dans l'une des deux branches de la bifurcation artérielle.

Par l'autre micro-cathéter, un stent à cellules fermées de type Enterprise Vascular Reconstruction System 4,5-22 mm (Codman Neurovascular, Raynham, Massachusetts, USA) était monté puis déployé dans la seconde branche de la bifurcation artérielle, au contact de la convexité du premier stent (à cellules ouvertes de type Neuroform EZ).

Cette disposition permettait d'obtenir une couverture du collet sous la forme d'un T.

Puis, sur un micro-guide de type de type Terumo double courbure et de calibre 0,012", l'un des deux micro-cathéters était navigué à travers les mailles du premier stent (à cellules ouvertes de type Neuroform EZ) pour obtenir alors un cathétérisme supra-sélectif du sac anévrysmal (« coil through »).

Ce positionnement permettait le déploiement sécurisé de spirales de platine de type MicroPlex (Microvention/Terumo, Tustin, California, USA), par diamètre et longueur décroissants.

Après retrait des deux micro-cathéters, un contrôle angiographique final en incidence de travail était réalisé par une des deux cathéters porteurs pour confirmer l'exclusion totale du sac anévrysmal et la bonne perméabilité du stent.

Des séries angiographiques de face et de profil étaient aussi réalisées en intra-crânien pour contrôler l'absence de complication thrombo-embolique et en région cervicale pour contrôler l'absence de dissection artérielle.

La procédure s'achevait par un scanner cone-beam de contrôle type XpertCT pour s'assurer de l'absence de complication hémorragique.

Le matériel pouvait alors être retiré avec mise en place d'un dispositif de fermeture vasculaire de type Angioseal 6F (St. Jude Medical, Austin, Texas, USA) en fémoral droit et Angioseal 8F (St. Jude Medical, Austin, Texas, USA) en fémoral gauche.

Une variante avec abord unilatéral est tout à fait envisageable mais n'a pas été utilisée dans notre étude.

2.2.2.1.8. Stenting télescopique

La technique du stenting télescopique n'a pas été utilisée dans notre étude car d'autres techniques ont été privilégiées comme le stenting télescopique avec stents à diversion de flux.

Le stenting télescopique aurait éventuellement pu être utilisé en cas d'anévrysme à collet large (Dome-to-Neck Ratio < 2 ou Aspect Ratio < 1,6) et avec risque particulièrement élevé de reperméabilisation. Cette technique aurait aussi pu être utilisée en cas d'anévrysme de dissection afin de préserver la perméabilité de l'artère porteuse (artère carotide interne) et d'exclure simultanément l'anévrysme et le faux chenal de dissection, après une étape supplémentaire d'angioplastie du vrai chenal avec un ballonnet à forte pression radiale, de type Ultra-soft SV Monorail 5-20 mm (Boston Scientific, Natick, Massachusetts, USA).

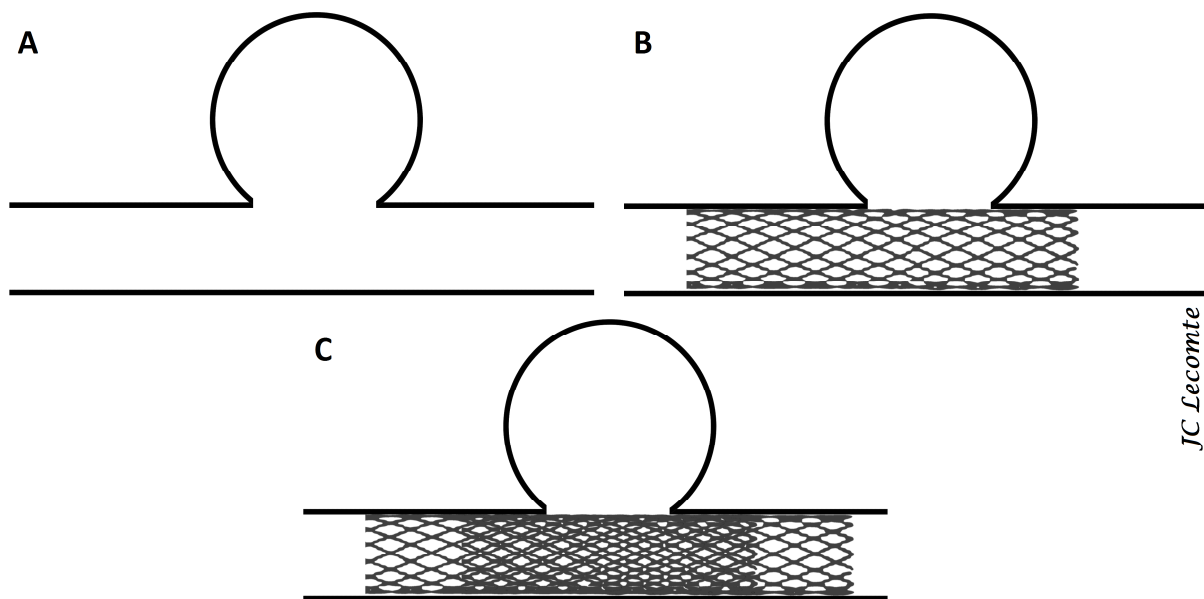


Figure 19 : Stenting télescopique.

A : Incidence de travail ; anévrisme à collet large. **B** : Déploiement d'un stent en regard du collet anévrysmal. **C** : Déploiement d'un 2nd stent en regard du collet anévrysmal, au sein du 1^{er} stent. Obtention d'une couverture du collet en stenting télescopique, les mailles des deux stents se superposant en regard du collet et potentialisant ainsi l'effet du stent dans l'exclusion anévrysmale.

La réalisation d'une telle opération aurait débuté avec la mise en place d'un introducteur de calibre 6F de type Terumo (Terumo Medical, Somerset, New Jersey, USA) dans l'artère fémorale droite et d'un introducteur de calibre 4F de type Terumo (Terumo Medical, Somerset, New Jersey, USA) dans l'artère fémorale gauche (pour monitoring continu de la pression sanguine artérielle et disposer d'un second abord artériel si nécessaire).

Par l'introducteur artériel fémoral droit, un cathéter porteur de calibre 6F de type Envoy (Codman Neurovascular, Raynham, Massachusetts, USA) aurait été montée sur guide 0,035" hydrophile de type Terumo standard (Terumo Medical, Somerset, New Jersey, USA) pour cathétériser sélectivement l'artère carotide commune (droite ou gauche) puis l'artère carotide interne homolatérale.

Ce cathéter aurait permis successivement la réalisation de séries angiographiques numérisées de face et de profil en région cervicale, de face et de profil en intra-crânien puis en imagerie tridimensionnelle centrée sur le sac anévrysmal afin de déterminer l'incidence de travail.

En triple co-axial, un micro-cathéter de calibre 1,7F, de type Headway 17 (MicroVention/Terumo, Tustin, California, USA) aurait été navigué sur un micro-guide 0,014" de type Traxcess 14 (MicroVention/Terumo, Tustin, California, USA) jusqu'en aval du collet anévrysmal.

Dès lors, 2 stents conventionnels auraient été déployés en télescopique.

Après retrait du micro-cathéter, un contrôle angiographique final en incidence de travail aurait été réalisé par la cathéter porteur pour confirmer l'exclusion totale du sac anévrysmal (ou une très bonne stagnation en son sein) et la bonne perméabilité des stents.

Des séries angiographiques de face et de profil auraient aussi été réalisées en intra-crânien pour contrôler l'absence de complication thrombo-embolique et en région cervicale pour contrôler l'absence de dissection artérielle (ou, en cas de dissection préalable, le rétablissement d'un vrai chenal circulant et de calibre normal).

La procédure se serait achevée par un scanner cone-beam de contrôle type XpertCT pour s'assurer de l'absence de complication hémorragique.

Le matériel aurait alors pu être retiré avec mise en place d'un dispositif de fermeture vasculaire de type AngioSeal 6F (St. Jude Medical, Austin, Texas, USA) en fémoral droit et compression manuelle puis pansement compressif en fémoral gauche.

2.2.2.1.9. Stenting à diversion de flux

Un stent à diversion de flux était utilisé en cas d'anévrysme à collet large (Dome-to-Neck Ratio < 2 ou Aspect Ratio < 1,6), en complément thérapeutique d'un anévrysme ou en cas de reperméabilisation.

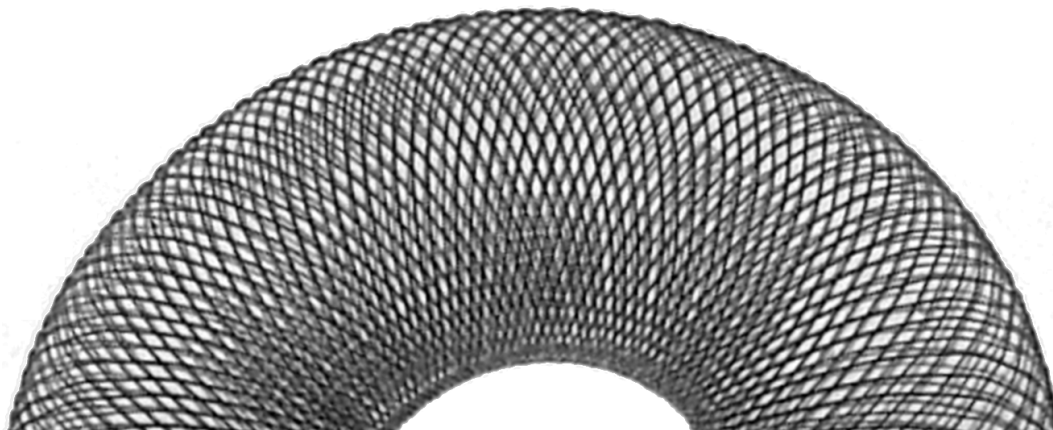


Figure 20 : Stent à diversion de flux Pipeline Embolization Device (PED) (ev3, Irvine, California, USA).

Source : d'après neuroangio.org

L'opération débutait avec la mise en place d'un introducteur de calibre 6F de type Terumo (Terumo Medical, Somerset, New Jersey, USA) dans l'artère fémorale droite et d'un introducteur de calibre 4F de type Terumo (Terumo Medical, Somerset, New Jersey, USA) dans l'artère fémorale gauche (pour monitoring continu de la pression sanguine artérielle et disposer d'un second abord artériel si nécessaire).

Par l'introducteur artériel fémoral droit, un cathéter porteur de calibre 6F de type Envoy (Codman Neurovascular, Raynham, Massachusetts, USA) était montée sur guide 0,035" hydrophile de type Terumo standard (Terumo Medical, Somerset, New Jersey, USA) pour cathétériser sélectivement l'artère carotide commune (droite ou gauche) puis l'artère carotide interne homolatérale.

Ce cathéter permettait successivement la réalisation de séries angiographiques numérisées de face et de profil en région cervicale, de face et de profil en intra-crânien puis en imagerie tridimensionnelle centrée sur le sac anévrysmal afin de déterminer l'incidence de travail.

En triple co-axial, un micro-cathéter de type Marksman (ev3, Irvine, California, USA) était navigué sur un micro-guide 0,014" de type Traxcess 14 (MicroVention/Terumo, Tustin, California, USA) jusqu'en aval de l'anévrysme traité.

Puis, un stent à diversion de flux de type Pipeline Embolization Device (PED) (ev3, Irvine, California, USA) était monté par ce micro-cathéter pour un déploiement en regard du collet anévrysmal.

Après retrait du micro-cathéter, un contrôle angiographique final en incidence de travail était réalisé par la cathéter porteur pour évaluer le ralentissement et la diminution du flux au sein du sac anévrysmal (classification OKM [83]) ainsi que la bonne perméabilité du stent.

Des séries angiographiques de face et de profil étaient aussi réalisées en intra-crânien pour contrôler l'absence de complication thrombo-embolique et en région cervicale pour contrôler l'absence de dissection artérielle.

La procédure s'achevait par un scanner cone-beam de contrôle type XpertCT pour s'assurer de l'absence de complication hémorragique.

Le matériel pouvait alors être retiré avec mise en place d'un dispositif de fermeture vasculaire de type AngioSeal 6F (St. Jude Medical, Austin, Texas, USA) en fémoral droit et compression manuelle puis pansement compressif en fémoral gauche.

Variante du remodeling avec stenting à diversion de flux

Un stent à diversion de flux était mis en place au décours d'un remodeling afin de diminuer le risque de reperméabilisation d'un anévrisme à collet large (Dome-to-Neck Ratio < 2 ou Aspect Ratio < 1,6).

Le déroulement de cette technique correspondait à la réalisation consécutive d'un remodeling (précédemment décrit dans le chapitre « 3.2.2.1.4 Remodeling ») puis d'un stenting à diversion de flux (décrit ci-avant dans le chapitre « 3.2.2.1.9 Stenting à diversion de flux »).

Variante du jailing avec stent à diversion de flux

Un stent à diversion de flux était utilisé lors d'un jailing afin de diminuer le risque de reperméabilisation d'un anévrisme à collet large (Dome-to-Neck Ratio < 2 ou Aspect Ratio < 1,6).

Le déroulement de cette technique était semblable à celui d'un jailing avec stent conventionnel (précédemment décrit dans le chapitre « 3.2.2.1.5 Jailing avec stent conventionnel »), à la différence du type de stent utilisé : un stent à diversion de flux au lieu d'un stent conventionnel.

Variantes du stenting en Y ou en T avec stents à diversion de flux

Des techniques de stenting en Y ou en T avec stents à diversion de flux ont été utilisées en cas d'anévrisme à collet large (Dome-to-Neck Ratio < 2 ou Aspect Ratio < 1,6), siégeant à une bifurcation artérielle et à risque élevé de reperméabilisation.

Le déroulement était semblable à celui des stentings en Y et en T avec stents conventionnels (précédemment décrits dans les chapitres « 3.2.2.1.6 Stenting en Y » et « 3.2.2.1.7 Stenting en T »), à la différence du type de stent utilisé : des stents à diversion de flux au lieu de stents conventionnels.

Variante du stenting télescopique avec stents à diversion de flux

La technique du stenting télescopique avec stents à diversion de flux était utilisée en cas d'anévrisme à collet large (Dome-to-Neck Ratio < 2 ou Aspect Ratio < 1,6) avec risque particulièrement élevé de reperméabilisation. La zone de chevauchement des stents à diversion de flux était alors positionnée en regard du collet anévrysmal afin d'augmenter la

densité du maillage en regard de l'anévrysme et donc de potentialiser l'effet de diversion de flux.

Parfois, cette technique résultait de deux temps thérapeutiques distincts avec la mise en place d'un nouveau stent à diversion de flux au sein d'un stent à diversion de flux préalablement placé.

Ainsi, en cas de retard d'occlusion d'un anévrysme intra-crânien ou de reperméabilisation malgré la diversion de flux réalisée par un premier stent, un stent à diversion de flux supplémentaire pouvait être déployé au sein du premier.

Le déroulement de cette technique était semblable à celui d'un stenting télescopique avec stents conventionnels (précédemment décrit dans le chapitre « 3.2.2.1.8 Stenting télescopique »), à la différence du type de stent utilisé : des stents à diversion de flux au lieu de stents conventionnels.

Variante du jailing avec stents à diversion de flux en configuration télescopique

La technique du jailing avec stents à diversion de flux en configuration télescopique était utilisée en cas d'anévrysme à collet large (Dome-to-Neck Ratio < 2 ou Aspect Ratio < 1,6) avec risque particulièrement élevé de reperméabilisation. La zone de chevauchement des stents à diversion de flux était alors positionnée en regard du collet anévrysmal afin d'augmenter la densité du maillage en regard de l'anévrysme et donc de potentialiser l'effet de diversion de flux.

Le déroulement de cette technique correspondait à la combinaison d'un jailing avec stent à diversion de flux (précédemment décrit dans le chapitre « 3.2.2.1.9.2 Variante du jailing avec stent à diversion de flux ») et d'un stenting télescopique avec stents à diversion de flux (précédemment décrit dans le chapitre « 3.2.2.1.9.4 Variante du stenting télescopique avec stents à diversion de flux »).

2.2.2.1.10. Stenting à bas profil

Un stent à bas profil type LVIS (Low profile Visualized Intraluminal Support ; MicroVention/Terumo, Tustin, California, USA) ou LVIS Jr. (Junior) était utilisé en

complément thérapeutique, principalement pour sa grande conformabilité (capacité du stent à s'adapter à l'anatomie vasculaire locale, inversement proportionnelle à sa force radiale) car ses effets de diversion de flux étaient faibles.

De fait, aucun anévrisme n'a été traité par stenting LVIS isolé dans notre étude.

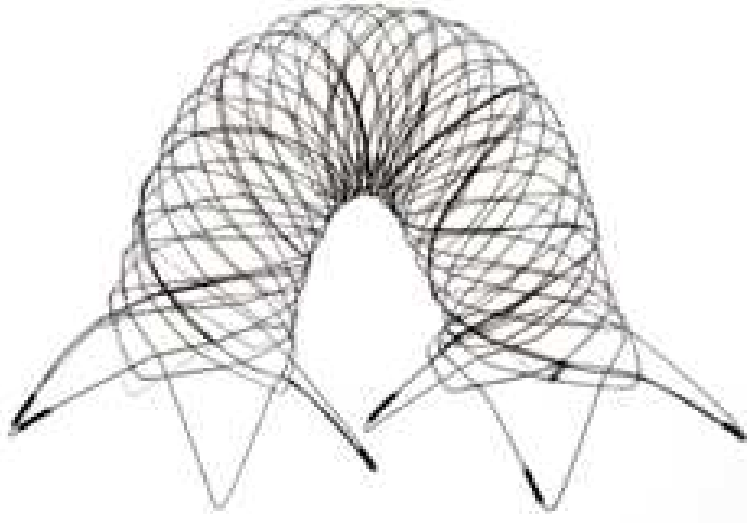


Figure 21 : Stent LVIS (MicroVention/Terumo, Tustin, California, USA).

Source : MicroVention/Terumo

Le déroulement de cette technique aurait été semblable à celui du stenting à diversion de flux (décrit dans le chapitre 3.2.2.1.9 Stenting à diversion de flux), à la différence du type de stent utilisé : un stent à bas profil type LVIS au lieu d'un stent à diversion de flux.

Variante du jailing avec stent LVIS

Un stent LVIS était utilisé lors d'un jailing afin de diminuer le risque de reperméabilisation d'un anévrisme à collet large (Dome-to-Neck Ratio < 2), particulièrement en cas de configuration anatomique nécessitant une grande conformabilité du stent.

Le déroulement de cette technique était semblable à celui d'un jailing avec stent conventionnel (précédemment décrit dans le chapitre « 3.2.2.1.5 Jailing avec stent conventionnel »), à la différence du type de stent utilisé : un stent LVIS au lieu d'un stent conventionnel.

Variante du remodeling avec stenting LVIS

Un stent LVIS était mis en place au décours d'un remodeling afin de diminuer le risque de reperméabilisation d'un anévrisme à collet large (Dome-to-Neck Ratio < 2), particulièrement en cas de configuration anatomique nécessitant une grande conformabilité du stent.

Le déroulement de cette technique correspondait à la réalisation consécutive d'un remodeling (précédemment décrit dans le chapitre « 3.2.2.1.4 Remodeling ») puis d'un stenting LVIS (décrit ci-avant dans le chapitre « 3.2.2.1.10 Stenting à bas profil »).

Variante du double remodeling (en « kissing ») avec stenting LVIS

La technique du double remodeling (en « kissing ») était utilisée en cas d'anévrisme à collet large (Dome-to-Neck Ratio < 2 ou Aspect Ratio < 1,6) et siégeant à une bifurcation artérielle.

Un stent LVIS était mis en place au décours afin de diminuer le risque de reperméabilisation, particulièrement en cas de configuration anatomique nécessitant une grande conformabilité du stent.

Le déroulement de cette technique correspondait à la réalisation consécutive d'un double remodeling (en « kissing ») (précédemment décrit dans le chapitre « 3.2.2.1.4.1 Variante du double remodeling (en « kissing ») ») puis d'un stenting LVIS (décrit ci-avant dans le chapitre « 3.2.2.1.10 Stenting à bas profil »).

2.2.2.2. Traitements adjuvants

Les traitements adjuvants correspondaient aux protocoles en vigueur dans le service :

- Avant la procédure endovasculaire : 75 mg de Clopidogrel (1 comprimé per os) par jour pendant les 6 jours précédant la procédure ;
- Le jour de la procédure : héparinothérapie intra-veineuse à dose efficace et 250 mg d'Aspirine intra-veineuse durant le geste ;
- Au décours de la procédure : association de 75 mg de Clopidogrel (1 comprimé per os) et de 160 mg d'Aspirine (1 sachet per os) pendant 3 mois, puis 160 mg d'Aspirine (1 sachet per os) pendant 9 mois supplémentaires pour une durée totale d'1 an.

De plus, le test de résistance au Clopidogrel VerifyNow Rapid Platelet Function Assay (Accumetrics, San Diego, California, USA) était réalisé de manière systématique. La fiabilité de ce test nécessitait un taux de plaquettes supérieur à 100 G.l^{-1} et un hémocrite supérieur à 30 %, ce qui faisait donc l'objet de vérifications biologiques.

En cas de résistance, les doses de Clopidogrel étaient augmentées (doublées voire triplées) puis un nouveau test de résistance au Clopidogrel VerifyNow était réalisé.

Si la résistance persistait, alors le patient était considéré comme résistant au Clopidogrel et le Clopidogrel était substitué par 10 mg de Prasugrel (1 comprimé per os) ou par un protocole d'Abciximab sur 12 heures. De plus, une procédure sans mise en place de stent était privilégiée dans la mesure du possible.

De même, un test de résistance à l'Aspirine VerifyNow Rapid Platelet Function Assay (Accumetrics, San Diego, California, USA) était réalisé en cas de résistance au Clopidogrel.

Si une résistance à l'Aspirine était diagnostiquée, alors les posologies d'Aspirine étaient doublées (une prise le matin et une le soir) puis un nouveau test de résistance à l'Aspirine VerifyNow était réalisé.

Si la résistance persistait, alors le patient était considéré comme résistant à l'Aspirine mais le traitement était maintenu. De plus, une procédure sans mise en place de stent était privilégiée dans la mesure du possible.

En cas d'allergie à l'Aspirine, le patient ne recevait pas d'Aspirine et seul du Clopidogrel était administré.

2.2.3. Méthodes d'observation

Les données d'observation étaient enregistrées dans une base de données prospective sous un format électronique approprié.

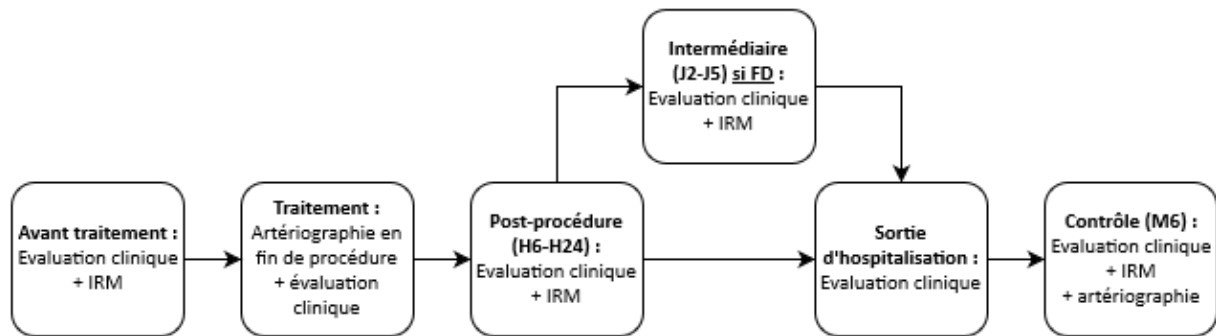


Figure 22 : Protocole des méthodes d'observation.

2.2.3.1. Données démographiques

Pour chaque patient, les données démographiques retenues comportaient l'âge, le sexe, les dates du ou des traitement(s), des IRM et des artériographies de suivi.

2.2.3.2. Données cliniques

Les données cliniques ont été recueillies par un neuroradiologue interventionnel distinct de l'opérateur et par un médecin anesthésiste sénior. Elles comprenaient :

- le caractère symptomatique ou non de l'anévrisme traité (céphalées, troubles visuels, vertiges...), en distinguant les symptômes non neurologiques, les symptômes neurologiques et réversibles, les symptômes neurologiques et permanents et les autres symptômes ;

- l'existence d'éventuels facteurs contribuant à une résistance à l'aspirine (utilisation d'anti-inflammatoires stéroïdiens ou non stéroïdiens, diabète de type 2) ;

- la survenue d'éventuels symptômes cliniques (avant traitement, précocement après traitement, entre 6h et 24h, entre J3 et J5 en cas de stent à diversion de flux, à la sortie du service, tardivement à 6 mois) ;

- l'évolution de la situation clinique post-embolisation (stabilité / amélioration / détérioration / absence de réveil) ;

- la survenue d'un accident vasculaire cérébral ischémique en post procédure ;

- et l'évaluation du mRS (avant traitement, à 24 heures après traitement, entre 3 et 5 jours après traitement en cas de stent à diversion de flux, à la sortie du service et à 6 mois) [47, 48].

mRS

0 = Pas de symptôme.

1 = Pas d'invalidité importante. Capable de mener à bien toutes les activités habituelles, en dépit de quelques symptômes.

2 = Léger handicap. Capable de s'occuper de ses propres affaires sans assistance, mais incapable de mener à bien toutes les activités antérieures.

3 = Incapacité modérée. Nécessite un peu d'aide, mais capable de marcher sans aide.

4 = Handicap modérément sévère. Incapable d'assurer ses propres besoins corporels sans assistance, et incapable de marcher sans aide.

5 = Handicap sévère. Nécessite des soins infirmiers et une attention constants, grabataire, incontinent.

6 = Décédé.

Figure 23 : mRS (modified Rankin Scale).

Source : Rankin et al. [47]

2.2.3.3. Données biologiques

Les données biologiques correspondaient à :

- la recherche systématique d'une résistance au Clopidogrel, par un test VerifyNow Rapid Platelet Function Assay (Accumetrics, San Diego, California, USA) ;
- la recherche d'une résistance à l'Aspirine, en cas de résistance au Clopidogrel, par un test VerifyNow approprié.

2.2.3.4. Données artériographiques

Les données artériographiques ont été relues avec un neuroradiologue interventionnel distinct de l'opérateur. Elles étaient constituées :

- du siège de l'anévrisme traité (artère communicante antérieure, artère cérébrale antérieure, artère carotide interne, artère communicante postérieure, artère choroïdienne antérieure, artère cérébrale moyenne, artère cérébrale postérieure, tronc basilaire, artère cérébelleuse supérieure, artère cérébelleuse antéro-inférieure, artère cérébelleuse postéro-inférieure, artère vertébrale) ;
- du côté de l'anévrisme (droit ou gauche ; en cas de structure médiane type artère communicante antérieures, le côté était déterminé par celui du cathéter porteur lors de l'intervention) ;

- du statut de l'anévrysme (premier traitement ou recanalisation, évaluée par l'échelle OKM en cas de stent à diversion de flux [83] ou par échelle de Roy-Raymond dans les autres cas [78]) ;

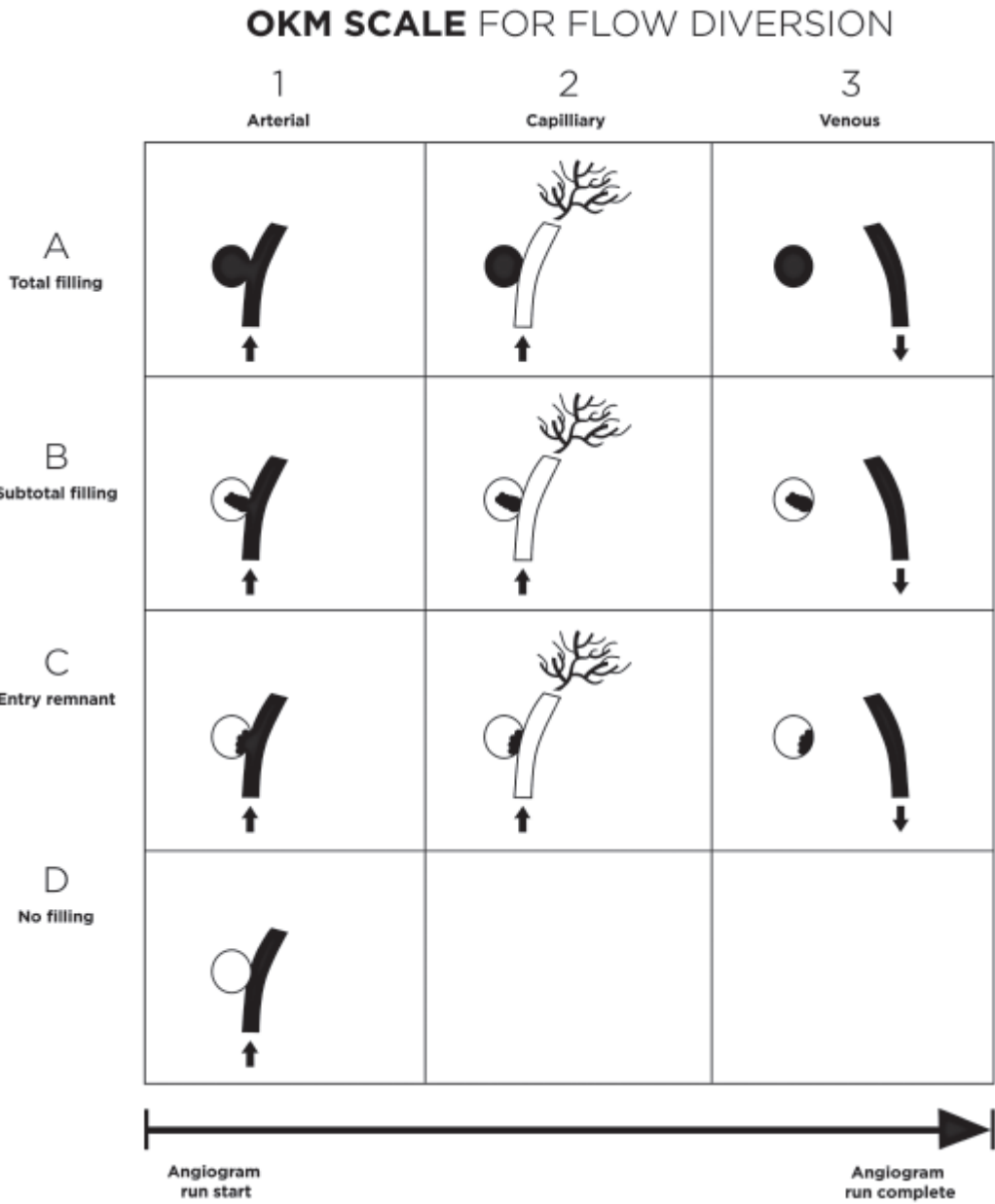


Figure 24 : Echelle O’Kelly-Marotta pour l’évaluation des anévrysmes traités par diversion de flux.

Source : O’Kelly et al. [83].

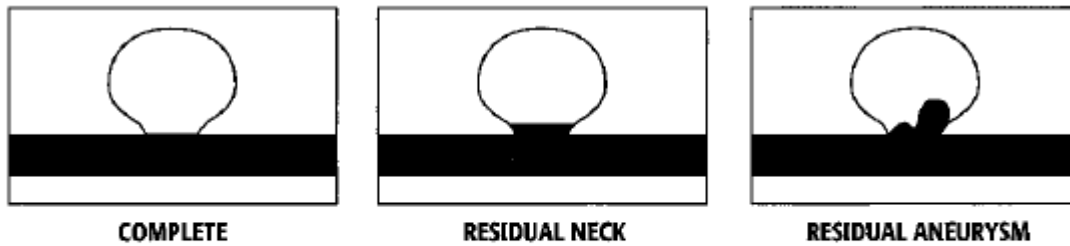


Figure 2. Classification of angiographic results: class 1, complete obliteration; class 2, residual neck; and class 3, residual aneurysm. See Subjects and Methods for details.

Figure 25 : Echelle de Roy-Raymond pour l'évaluation des anévrysmes non traités par diversion de flux.

Source : Roy et al. [78].

- des dimensions de l'anévrysmes (diamètre maximal, hauteur, diamètre du collet, largeur) avec calculs de ratios (Aspect Ratio = hauteur / diamètre du collet et Dome-to-Neck Ratio = largeur / diamètre du collet, aussi appelé Bottleneck Factor) [81]. Le diamètre maximal de l'anévrysmes permettait de le classer en petit (≤ 5 mm), moyen (6 – 15 mm), large (16 – 25 mm) et géant (> 25 mm) ;

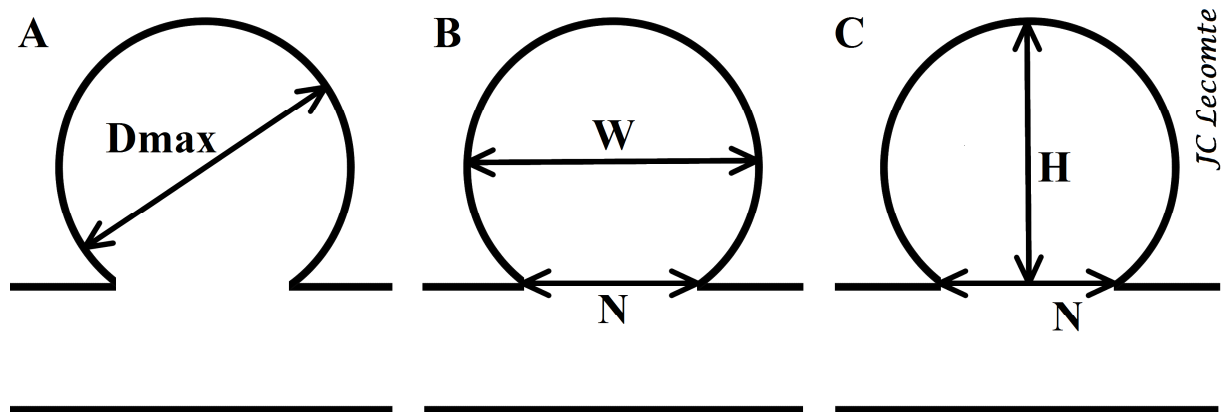


Figure 26 : Dimensions de l'anévrysmes avec calculs de ratios.

A : Diamètre maximal. **B** : Dome-to-Neck Ratio = largeur (W) / diamètre du collet (N) (aussi appelé Bottleneck Factor). **C** : Aspect Ratio = hauteur (H) / diamètre du collet (N).

- de la technique employée pour le traitement, en distinguant 6 sous-groupes : coiling (incluant le double micro-cathéter), coiling assisté au ballonnet (remodeling, incluant le double remodeling), coiling assisté par stent (stenting, incluant le remodeling suivi de

stenting), coiling assisté par stent à bas profil, diversion de flux et traitements très complexes (associant stenting en Y et en T) ;

- du diamètre et de la longueur d'un éventuel stent ;
- des branches couvertes par un stent ou « sacrifiées » pendant le coiling (nombre, situation, origine de la convexité / concavité / d'une portion droite) ;
- du nombre d'anévrysmes traités ;
- de la durée totale de la procédure ;
- des complications per-procédure (aucune, rupture/saignement, perforation de branche, thrombose, complications techniques, échec et/ou vasospasme) et post-procédures (aucune, AVC clinique lié à la procédure, AVC clinique non lié à la procédure car dans un territoire sans lien vasculaire avec l'embolisation, embolie distale, rupture précoce survenue pendant la 1^{ère} semaine, rupture tardive, migration de stent, effet de masse par réaction inflammatoire cérébral péri-anévrysmale) ;
- de l'évaluation de l'exclusion anévrysmale par l'échelle OKM en cas de stent à diversion de flux ou par l'échelle de Roy-Raymond dans les autres cas, en post-procédure immédiat et à 6 mois ;
- de l'aspect de l'anévrysmes sur l'artériographie de contrôle à 6 mois (rétrécissement < 33 %, entre 33 et 66 %, > 66 %, occlusion) ;

2.2.3.5. Données d'Imagerie par Résonance Magnétique (IRM)

Toutes les IRM ont été réalisées par un ou plusieurs neuroradiologues expérimentés, sur une IRM 3 Teslas (Achieva, Philips Medical System, Best, Pays-Bas) mise en service en novembre 2008, avec une antenne Tête standard (SENSE Head 8).

Les données d'IRM comportaient :

- en pré-procédure : une IRM de référence avec la date de réalisation de cette IRM (en jours avant la procédure) ;
- en post-procédure précoce (entre H6 et H24) : l'existence de nouvelles lésions ischémiques (en restriction de diffusion avec hypersignal à B1000 et diminution de l'ADC), leur nombre, leur caractère symptomatique ou non, la taille de la plus grande de ces lésions, leur distribution (en distalité de l'artère porteuse, des branches couvertes, du même axe, d'un autre axe) et la date de réalisation de cette IRM (en heures après la procédure) ;

- en période intermédiaire (entre J3 et J5) en cas de stent à diversion de flux : l'existence de nouvelles lésions ischémiques (en hypersignal diffusion), leur nombre, leur caractère symptomatique ou non, la taille de la plus grande de ces lésions, leur distribution (en distalité de l'artère porteuse, des branches couvertes, du même axe, d'un autre axe) et la date de réalisation de cette IRM (en jours après la procédure) ;

- lors du contrôle à 6 mois : l'existence de lésions ischémiques intercurrentes (en hypersignal FLAIR), leur nombre, leur caractère symptomatique ou non, la taille de la plus grande de ces lésions, leur distribution (en distalité de l'artère porteuse, des branches couvertes, du même axe, d'un autre axe) et la date de réalisation de cette IRM (en jours après la procédure).

De plus, une IRM pouvait être réalisée en urgence à chaque fois que la symptomatologie clinique le justifiait.

Des séquences IRM supplémentaires pouvaient être réalisées par les neuroradiologues qui réalisaient les examens s'ils le jugeaient nécessaire.

2.2.3.5.1. Protocole standardisé des examens d'IRM

Il consistait en la réalisation successive de ces étapes :

Accueil du patient

Interrogatoire à la recherche de contre-indication à une IRM

Information du patient sur le déroulement de l'examen

Installation du patient dans l'IRM

Mise en place de l'antenne Tête

Images de repérage (« scout view ») dans les 3 plans de l'espace

Réalisation des séquences axiales diffusion (B0, B1000, cartographie ADC) et FLAIR

2.2.3.5.2. Paramètres des séquences

Les paramètres des séquences étaient conformes à ceux décrits dans une étude de notre équipe préalablement publiée [9].

Tableau 1 : Paramètres des séquences d'IRM utilisées.

Séquences	Diffusion	FLAIR
Plans	Axial	Axial
FOV	240 x 255	240 x 190
Epaisseur de coupe (mm)	5 (gap = 1)	5
TR / TI (ms)	2537	8000 / 2400
TE (ms)	69	125
Angle de bascule (°)	90	
Matrice	116 x 97	284 x 151
Taille du voxel	2 x 2,54	0,85 x 1,12
Durée de la séquence (min)	00:30	02:40

2.2.3.5.3. Rationnel du choix des séquences

Séquence de Diffusion :

Son objectif principal était la recherche de lésions ischémiques aiguës car il s'agissait de la séquence la plus sensible (et la plus précoce) dans la détection d'Accidents Vasculaires Cérébraux ischémiques à la phase aiguë.

Compte-tenu de la spécificité relative des hypersignaux en diffusion, la cartographie ADC (Apparent Diffusion Coefficient) était toujours analysée et les IRM post-thérapeutiques ont été systématiquement comparées aux examens pré-thérapeutiques afin d'éliminer d'éventuels faux positifs.

Séquence FLAIR (Fluid Attenuated Inversion Recovery) :

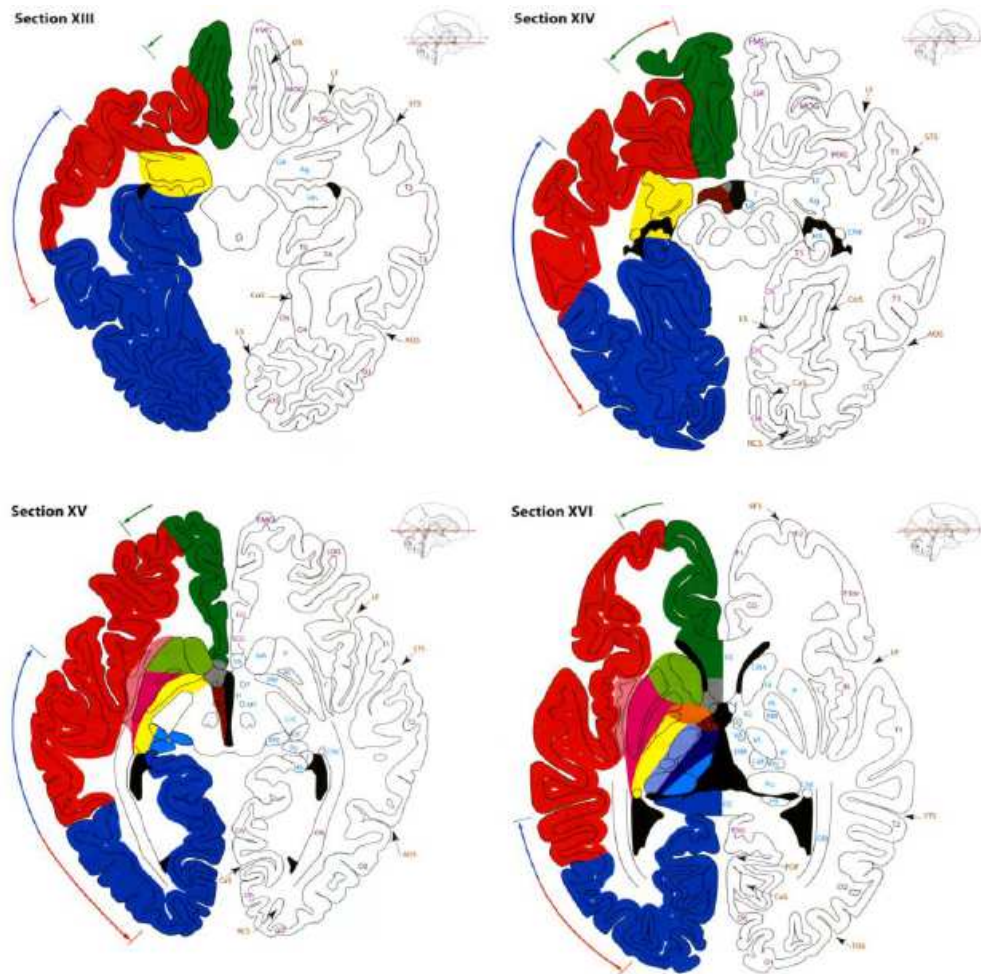
Ses intérêts principaux consistaient en l'établissement de corrélations anatomiques plus fines pour les lésions visualisées sur la séquence en diffusion, en la mise en évidence de séquelles d'ischémie ancienne ou différée, ainsi qu'en l'estimation de l'ancienneté de l'ischémie en phase précoce (en cas de mismatch diffusion / FLAIR).

2.2.3.5.4. Evaluation des lésions ischémiques

Les lésions ischémiques aiguës apparaissaient sous la forme d'une restriction de diffusion (hypersignal diffusion à B1000 associé à une diminution de l'ADC), avec ou sans anomalie de signal FLAIR associée.

Chaque IRM réalisée dans le cadre du protocole était comparée aux éventuelles IRM antérieures réalisées dans le cadre du protocole, notamment les IRM post-thérapeutiques étaient systématiquement confrontées à l'IRM pré-thérapeutique de référence. Cette démarche permettait d'identifier d'éventuelles lésions ischémiques déjà présentes avant traitement (donc non attribuables à la procédure endovasculaire) afin de ne considérer que les nouvelles lésions ischémiques.

La topographie anatomique des lésions était déterminée conformément à un atlas anatomique neuro-vasculaire de référence pour l'imagerie en coupes, élaboré par Tatu et al. [84].



Arterial territories of cerebral hemispheres (sections XIII–XXIV)

- Leptomeningeal branches of the anterior cerebral artery (ACA)
- Perforating branches of the anterior cerebral artery (ACA)
- Leptomeningeal branches of the middle cerebral artery (MCA)
- Perforating branches of the middle cerebral artery (MCA)
- Insular zone
- Leptomeningeal branches of the posterior cerebral artery (PCA)
- Thalamoperforating branches
- Thalamogeniculate branches
- Posterior choroidal arteries (PChA)
- Anterior choroidal artery (AChA)
- Anterior communicating artery (ACoA)
- Perforating branches of the posterior communicating artery (PCoA)
- Perforating branches of the internal carotid artery (ICA)

Figure 27 : Extrait de l'atlas anatomique de référence.

Source : Tatu et al. [84].

En fonction du siège de l'anévrisme et des éventuelles branches couvertes, chaque IRM post-procédure identifiait d'éventuelles nouvelles lésions ischémiques, leur nombre, leur caractère symptomatique ou non, la taille de la plus grande de ces lésions et leur distribution (en distalité de l'artère porteuse, des branches couvertes, du même axe, d'un autre axe).

Chaque IRM bénéficiait de 2 analyses indépendantes, avec décision par consensus dans les cas de désaccord.

2.2.4. Analyse statistique

Des statistiques descriptives des données ont été réalisées, après avoir vérifié la normalité par le test de Kolmogorov-Smirnov pour la distribution normale (le test T de Student a été utilisé pour les distributions normales et le test de Wilcoxon pour les distributions non-normales). Le test exact de Fisher et le test de Mann-Whitney ont été utilisés pour les données quantitatives, le test du Chi-2 (χ^2) pour les données qualitatives. Les comparaisons de groupe ont été réalisées avec le test du χ^2 , après un traitement approprié des données.

Les analyses statistiques ont été réalisées avec un logiciel statistique approprié (Statistica, StatSoft, Tulsa, Oklahoma, USA) ; le niveau de significativité statistique était défini à $p \leq 0,05$.

2.3. Résultats

Pendant la période de 24 mois (du 1er janvier 2012 au 31 décembre 2013), 164 anévrysmes ont été traités au cours de 143 procédures chez 128 patients consécutifs.

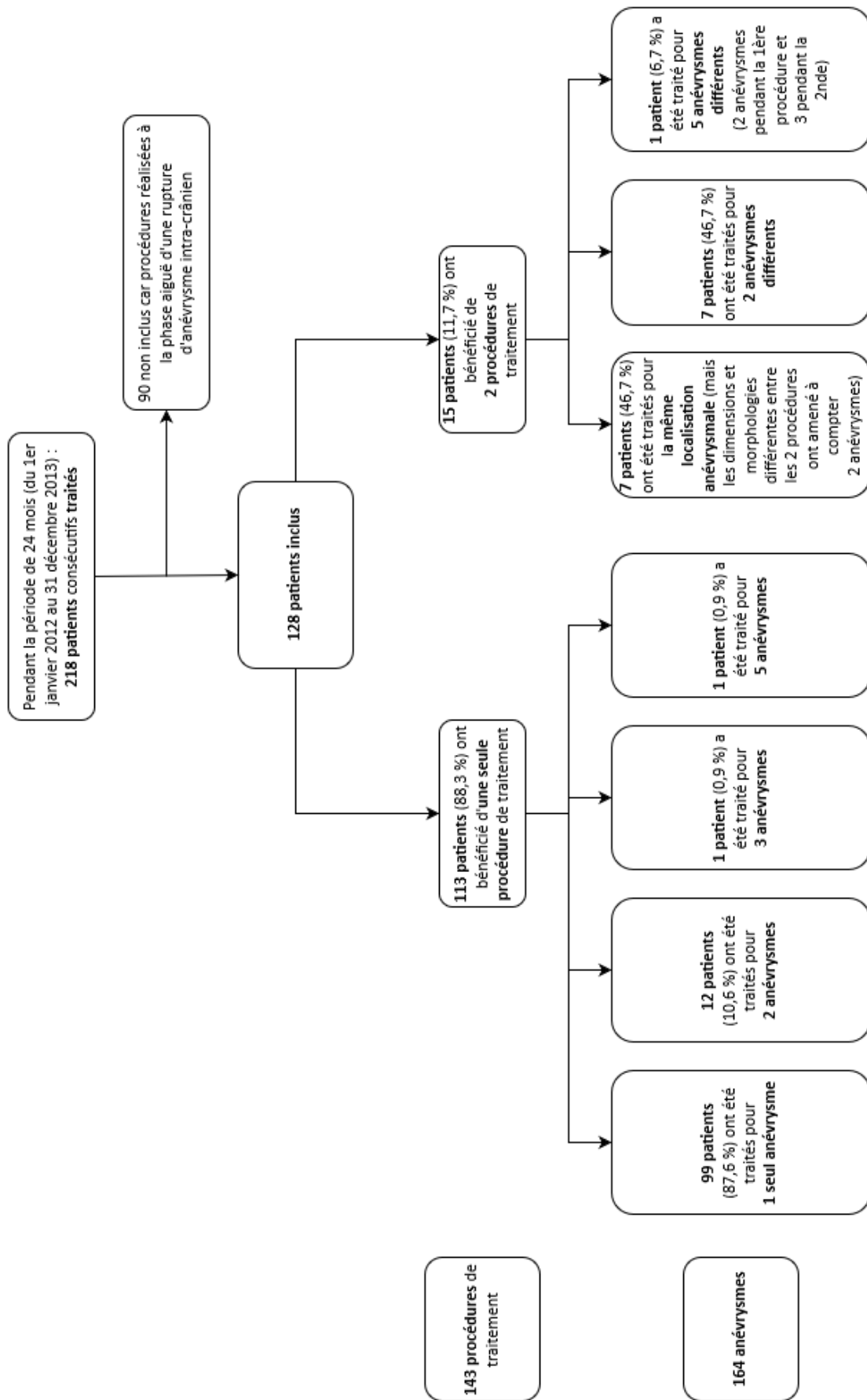


Figure 28 : Profil de l'étude

2.3.1. Population de patients

Les 128 patients consécutifs inclus étaient constitués de 47 hommes (36,7 %) et 81 femmes (63,3 %) avec un âge moyen de $52,6 \pm 12,2$ ans.

Conformément aux critères de non-inclusion, 90 patients n'ont pas été inclus car les procédures correspondantes étaient réalisées à la phase aiguë d'une rupture d'anévrisme intra-crânien.

Avant traitement, 94 patients étaient asymptomatiques (73,4 %), 6 présentaient des symptômes non neurologiques (4,7 %), 4 des symptômes neurologiques réversibles (3,1 %), 22 des symptômes neurologiques permanents (17,2 %) et 2 d'autres symptômes (1,6 %) correspondant à un syndrome dépressif (apparu après la 1^{ère} rupture de l'anévrisme traité) et une cécité oculaire droite (probablement induite par une radiothérapie).

Les scores mRS initiaux étaient de 0, 1, 2 et 3 chez 95 patients (74,2 %), 23 patients (18,0 %), 8 patients (6,2 %) et 2 patients (1,6 %) respectivement.

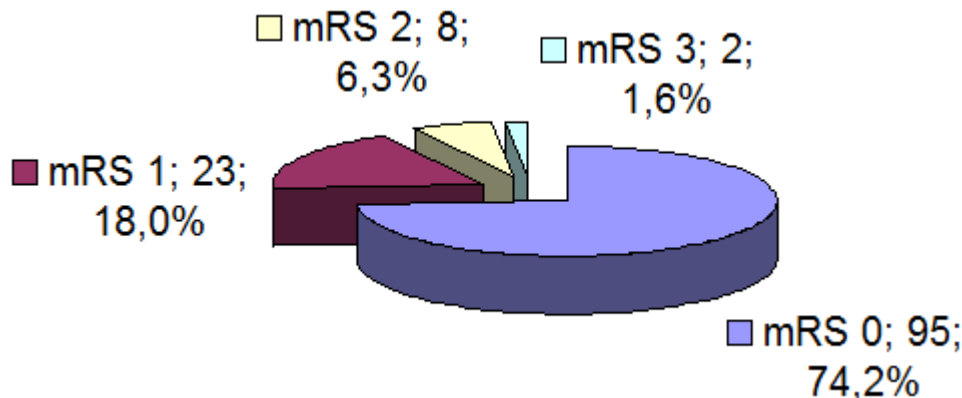


Figure 29 : Distribution des scores mRS initiaux (pour chaque score : nombre de patients et pourcentage de l'effectif total)

Parmi les 103 patients (80,5 %) chez qui une résistance au Clopidogrel a été recherchée, 21 présentaient une résistance malgré doublement de la dose (20,4 %). Parmi les 48 patients (37,5 %) chez qui une résistance à l'Aspirine a été recherchée, 4 présentaient une résistance malgré doublement de la dose (8,3 %). A noter qu'un seul patient (0,8 %) était résistant à la fois au Clopidogrel et à l'Aspirine.

2.3.2. Caractéristiques des anévrysmes

Parmi les 164 anévrysmes intracrâniens traités, 162 étaient sacculaires (98,8 %) et 2 fusiformes (1,2 %).

117 anévrysmes bénéficiaient d'un premier traitement (71,3 %) et 47 anévrysmes étaient traités pour une recanalisation (28,7 %).

138 anévrysmes étaient asymptomatiques (84,1 %) et 26 étaient symptomatiques (15,9 %).

37 anévrysmes étaient situés dans l'Artère Cérébrale Antérieure (y compris l'artère Communicante Antérieure) (22,6 %), 48 dans l'Artère Cérébrale Moyenne (29,3 %), 26 dans la région carotido-ophtalmique (15,9 %), 11 dans l'artère Communicante Postérieure (6,7 %), 3 dans l'Artère Choroïdienne Antérieure (1,8 %), 9 dans le T carotidien (5,5 %), 12 dans d'autres segments de l'Artère Carotide Interne (7,3 %), 11 dans l'Artère Basilaire (6,7 %) et 7 dans d'autres portions de la circulation postérieure (incluant l'Artère Cérébrale Postérieure, l'Artère Vertébrale, l'Artère Cérébelleuse Postéro-Inférieure, l'Artère Cérébelleuse Antéro-Inférieure et l'Artère Cérébelleuse Supérieure) (4,3 %).

87 anévrysmes siégeaient à gauche (53,0 %) et 77 à droite (47,0 %) avec un diamètre maximal moyen de $7,2 \pm 5,5$ mm.

Pour les anévrysmes sacculaires, la catégorie du diamètre était petit (≤ 5 mm) pour 85 anévrysmes (53,1 %), moyen (6 - 15 mm) pour 63 (39,4 %), large (16 – 25 mm) pour 11 (6,9 %) et géant (> 25 mm) pour 1 (0,6 %).

26 anévrysmes présentaient un collet étroit (15,9 %) et 138 un collet large (84,1 % ; correspondant à un ratio Dome-to-Neck < 2). Le Ratio Aspect moyen était calculé à 1,4 (Intervalle de Confiance à 95 % pour la moyenne 1,3-1,5) et le ratio Dome-to-Neck moyen à 1,3 (IC 95 % pour la moyenne 1,2-1,4).

2.3.3. Résultats techniques des procédures thérapeutiques

99 patients ont été traités pour un anévrysme unique (77,3 %), 26 pour deux anévrysmes (20,3 %), 1 pour 3 anévrysmes (0,8 %) et 2 pour 5 anévrysmes (1,6 %). Le traitement a nécessité une séance d'embolisation pour 113 patients (88,3 %) et deux séances pour 15 patients (11,7 %).

Une procédure totale durait en moyenne $116,7 \pm 54,3$ minutes. La durée médiane d'une procédure totale était plus élevée en cas de traitement de plus d'un anévrysme au cours de la même session d'embolisation (134,5 minutes, IC à 95% pour la médiane 104,6-

153,7) que dans le cas du traitement d'un anévrisme unique (102,0 minutes, IC à 95% pour la médiane 94,2-109,8), de manière statistiquement significative $p = 0,0289$.

Les approches techniques consistaient en un coiling pour 24 anévrismes (14,6 %), un coiling assisté au ballonnet (remodeling) pour 33 anévrismes (20,1 %), un coiling assisté par stent (stenting) pour 6 anévrismes (3,7 %), un coiling assisté par stent à bas profil pour 28 anévrismes (17,1 %), une diversion de flux pour 63 anévrismes (38,4 %) et des traitements très complexes pour 10 anévrismes (6,1 %).

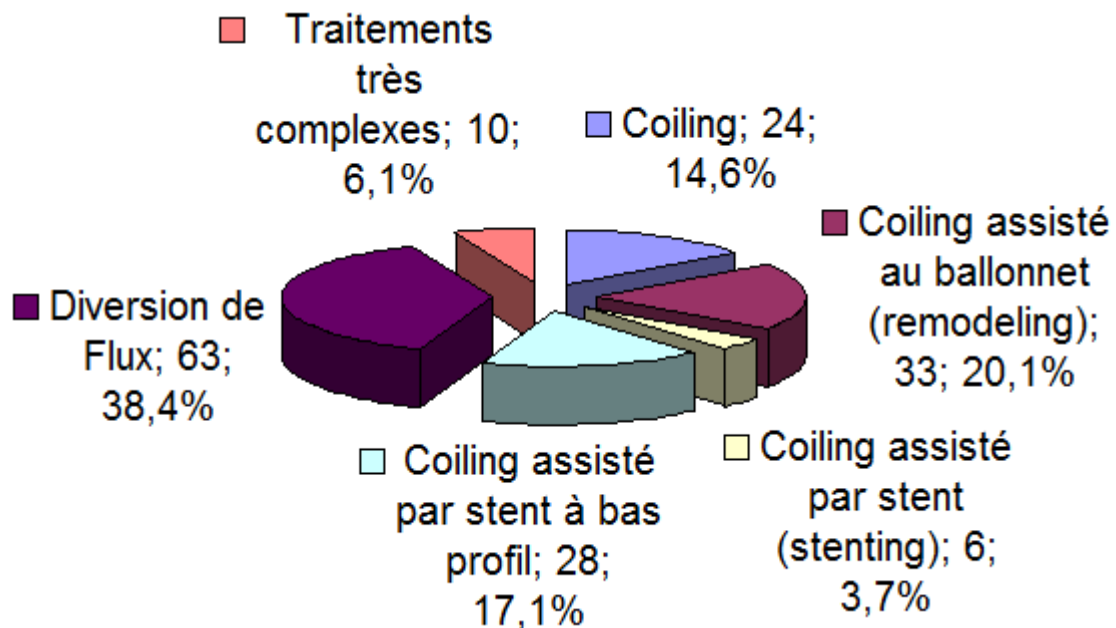


Figure 30 : Distribution des techniques utilisées en 6 sous-groupes (pour chaque sous-groupe : nombre d'anévrysmes traités et pourcentage de l'effectif total)

Il existait une corrélation statistiquement significative entre l'emplacement de l'anévrisme traité et le groupe de la technique ($\chi^2 = 92,488$, Degrés De Liberté = 40, $p < 0,0001$).

Un stent a été déployé pour 107 anévrysmes (65,2 %) avec un diamètre moyen de $3,5 \pm 0,8$ mm et une longueur moyenne de $23,8 \pm 9,8$ mm. Le déploiement du stent entraînait la couverture d'au moins une branche pour 105 anévrysmes (64,0 %), avec une moyenne de $2,3 \pm 1,2$ branches. Les branches couvertes étaient originaires de la convexité dans 33,6 % des cas, orthogonales dans 54,9 % des cas, de la concavité dans 4,1 % des cas et du sac anévrysmal dans 7,4 % des cas.

2.3.4. Résultats cliniques immédiats et au cours du suivi

A 24 heures post-procédure, les scores mRS étaient de 0, 1, 2, 3, 4 et 5 chez 82 patients (64,1 %), 22 patients (17,2 %), 11 patients (8,6 %), 9 patients (7,0 %), 3 patients (2,3 %) et 1 patient (0,8 %) respectivement. Les scores mRS à la sortie du service étaient de 0, 1, 2, 3 et 4 chez 88 patients (68,7 %), 20 patients (15,6 %), 11 patients (8,6 %), 8 patients (6,2 %) et 1 patient (0,8 %) respectivement. Les scores mRS de suivi à 6 mois étaient de 0, 1, 2, 3, 4 et 6 chez 94 patients (73,4 %), 16 patients (12,5 %), 13 patients (10,2 %), 2 patients (1,6 %), 2 patients (1,6 %) et 1 patient (0,8 %) respectivement.

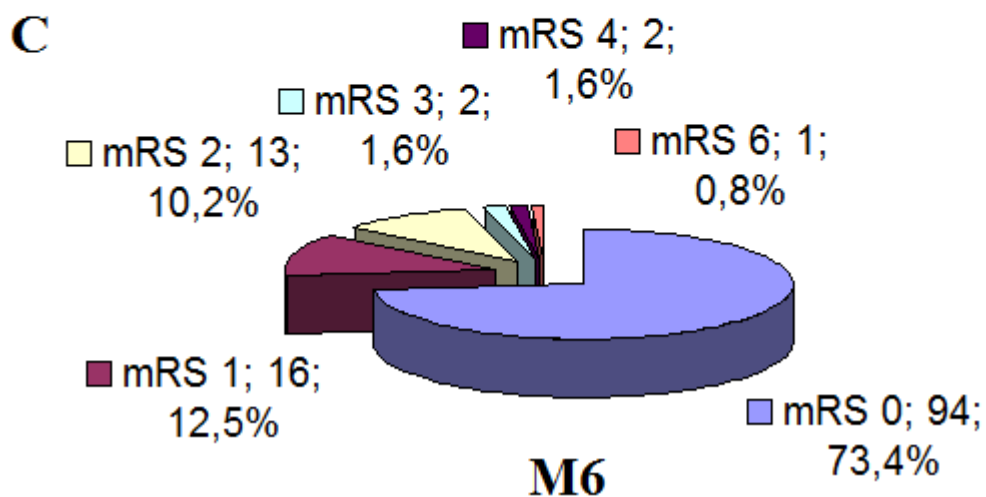
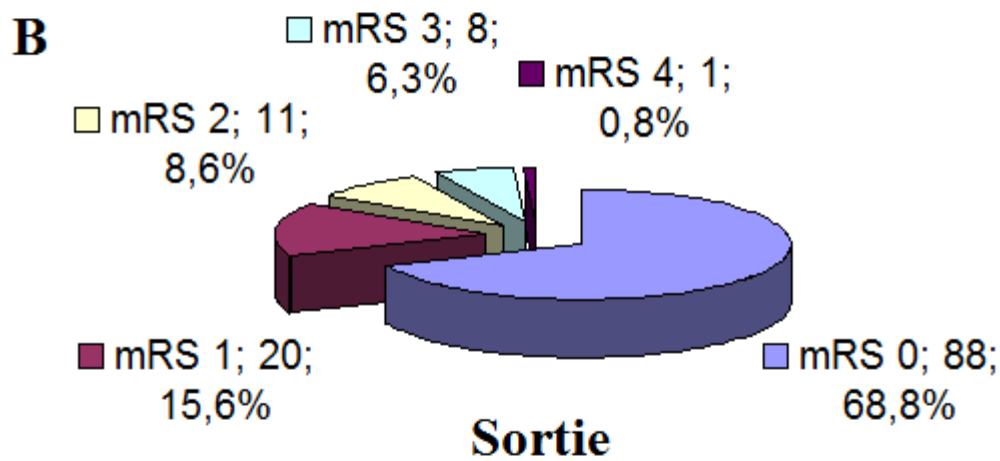
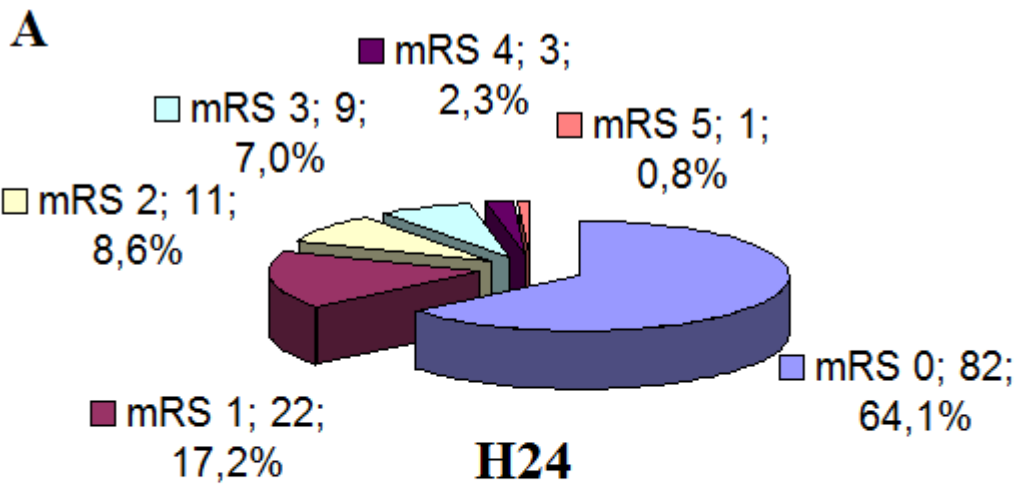


Figure 31 : Distribution des scores mRS (pour chaque score : nombre de patients et pourcentage de l'effectif total).

A : A 24 h post-procédure. **B** : A la sortie du service. **C** : A 6 mois.

La situation clinique post-embolisation était stable dans 116 procédures (81,1 %), meilleure dans 1 procédure (0,7 %), détériorée dans 24 procédures (16,8 %) et il n'y avait pas de réveil dans 2 procédures (1,4 %).

Entre 6 et 24 heures post-procédure, les patients étaient asymptomatiques dans 61,5% des cas ; la symptomatologie consistait en des symptômes cliniques non neurologiques dans 3,5 % des cas, neurologiques et réversibles dans 11,2 % des cas, neurologiques et permanents dans 21,0 % des cas et autres dans 2,8 % des cas. Six mois après l'embolisation, les patients étaient asymptomatiques dans 77,7 % des cas ; la symptomatologie consistait en des symptômes cliniques non neurologiques dans 1,8 % des cas, neurologiques et réversibles dans 2,7 % des cas, neurologiques et permanents dans 17,0 % des cas et autres dans 0,9 % des cas.

Pour les patients ayant bénéficié d'une pose de stent à diversion de flux, un score mRS intermédiaire était évalué (entre 3 et 5 jours après le traitement) à 0 chez 44 patients (60,3 %), 1 chez 17 patients (23,3 %), 2 chez 3 patients (4,1 %), 3 chez 3 patients (4,1 %), 4 chez 1 patient (1,4 %) et 5 chez 5 patients (6,8 %). De même, la symptomatologie de ces patients était recueillie avec 60,3 % de cas asymptomatiques, des symptômes cliniques non neurologiques dans 4,1 % des cas, neurologiques et réversibles dans 9,6 % des cas, neurologiques et permanents dans 24,7 % des cas et autres dans 1,4 % des cas.

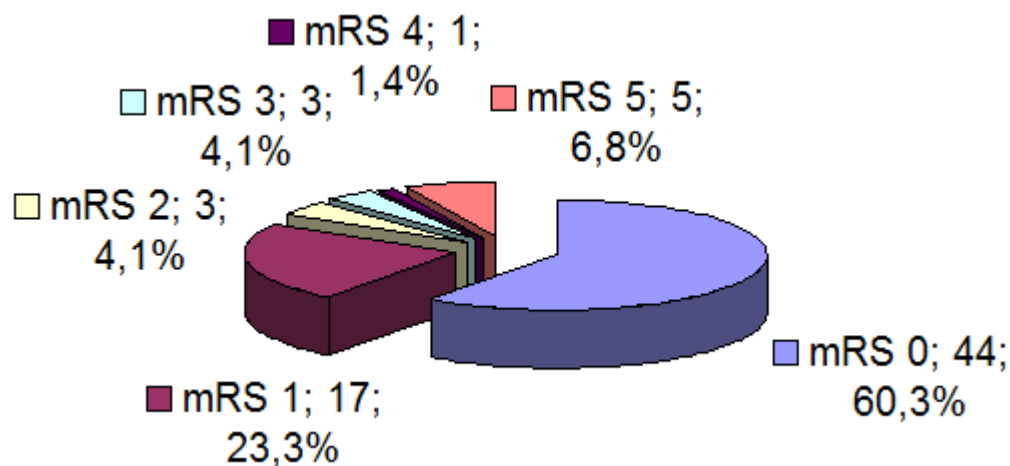


Figure 32 : Distribution des scores mRS intermédiaires (entre 3 et 5 jours après le traitement) en cas de pose de stent à diversion de flux (pour chaque score : nombre de patients et pourcentage de l'effectif total)

2.3.5. Complications et impact clinique

Le taux de mortalité liée à la procédure était nul (0 %). Une patiente (n°104, âgée de 75 ans) est décédée 3 mois après le traitement d'un anévrisme sylvien gauche grand et à collet large par un stent à diversion de flux. A la sortie de notre unité, cette patiente était asymptomatique (mRS 0). Deux mois et demi plus tard, une pyélonéphrite aiguë et une insuffisance rénale aiguë apparurent, aboutissant à un décès par défaillance multiviscérale.

Il n'y a pas eu de complication per-procédurale dans 116 procédures sur 141 (82,3 %). 25 complications per-procédurales (17,7 %) ont eu lieu : 5 ruptures anévrysmales (3,5 %), 1 perforation de branche (0,7 %), 6 thromboses non souhaitées (4,3 %), 12 complications techniques (8,5 %) et 1 vasospasme (0,7 %).

Aucune complication post-procédurale n'est survenue dans 120 procédures sur 143 (83,9 %). 23 complications post-procédurales (16,1 %) ont eu lieu : 21 accidents vasculaires cérébraux cliniques liés à l'intervention (14,7 %) et 2 embolies distales (1,4 %). Il n'y a pas eu d'accident vasculaire cérébral clinique non lié à la procédure (dans un territoire vasculaire sans aucun lien avec l'embolisation), de rupture précoce (au cours de la première semaine), de rupture retardée, de migration de stent ni d'effet de masse (réaction inflammatoire encéphalique péri-anévrysmale).

Il n'y avait pas de différence statistiquement significative dans la survenue de complications per-procédure en cas de traitement de plus d'un anévrisme au cours de la même session d'embolisation par rapport au cas d'un traitement d'anévrisme unique ($\chi^2 = 5,232$, DDL = 5, $p = 0,3883$).

Il n'y avait pas de différence statistiquement significative dans la survenue de complications per-procédure selon le groupe de la technique ($\chi^2 = 27,551$, DDL = 25, $p = 0,3290$).

Plus généralement, il n'y avait pas de différence statistiquement significative dans la survenue de complications liées à la procédure en fonction du groupe de technique ($\chi^2 = 16,769$, DDL = 10, $p = 0,0796$) avec des taux de 8,3 % pour le coiling (2 ruptures anévrysmales), 15,2 % pour le remodeling (3 événements ischémiques et 2 ruptures anévrysmales), 33,3 % pour le coiling assisté par stent (2 événements ischémiques), 17,9 % pour le coiling assisté par stent à bas profil (5 événements ischémiques), 12,7 % en cas de stent à diversion de flux (8 événements ischémiques) et 30 % pour les traitements très complexes (3 événements ischémiques).

2.3.6. Résultats IRM

2.3.6.1. Résultats de l'IRM post-procédure par territoire de branche artérielle

Une IRM post-procédure a été réalisée chez 105 patients (82,0 %). Parmi ces patients, 60 (57,1 %) avaient au moins une nouvelle lésion ischémique, hyperintense sur la séquence de diffusion (DWI+).

En ce qui concerne les lésions DWI+ en distal de l'artère porteuse de l'anévrisme, il n'y avait pas de nouvelle lésion dans 58 cas (55,2 %) et une ou plusieurs nouvelle(s) lésion(s) dans 47 cas (44,8 %). En distalité des branches couvertes, l'IRM a découvert une ou plusieurs nouvelle(s) lésion(s) DWI+ chez 25 patients (23,8 %). Dans le territoire du même axe artériel (mais excluant les lésions sus-mentionnées), 24 patients (22,9 %) présentaient une ou plusieurs nouvelle(s) lésion(s) ischémique(s). Dans d'autres territoires de perfusion, non concernés par l'embolisation, au moins une nouvelle lésion ischémique a été détectée pour 6 patients (5,7 %).

2.3.6.2. Résultats de l'IRM intermédiaire par territoire de branche artérielle

Une IRM intermédiaire a été réalisée chez 57 des patients traités par un stent à diversion de flux (90,5 %). Parmi ces patients, 14 (24,6 %) avaient au moins une nouvelle lésion ischémique, hyperintense sur la séquence de diffusion (DWI+).

En ce qui concerne les lésions DWI+ en distal de l'artère porteuse de l'anévrisme, il n'y avait pas de nouvelle lésion dans 50 cas (87,7 %) et une ou plusieurs nouvelle(s) lésion(s) dans 7 cas (12,3 %). En distalité des branches couvertes, l'IRM a découvert une ou plusieurs nouvelle(s) lésion(s) DWI+ chez 6 patients (10,5 %). Dans le territoire du même axe artériel (mais excluant les lésions sus-mentionnées), 2 patients (3,5 %) avaient une ou plusieurs nouvelle(s) lésion(s) ischémique(s).

2.3.6.3. Résultats de l'IRM de contrôle (à 6 mois) par territoire de branche artérielle

Une IRM de contrôle a été réalisée sur 68 patients (53,1 %). Parmi ces patients, 5 (7,4%) avaient au moins une lésion ischémique intercurrente, en hypersignal FLAIR ou diffusion (FLAIR+ ou DWI+).

En ce qui concerne les lésions FLAIR+ ou DWI+ en distal de l'artère porteuse de l'anévrisme, il n'y avait pas de lésion intercurrente dans 65 cas (95,6 %) et une ou plusieurs lésion(s) intercurrente(s) dans 3 cas (4,4 %). En distalité des branches couvertes, l'IRM a

découvert une ou plusieurs lésion(s) intercurrente(s) FLAIR+ ou DWI+ chez 1 patient (1,5%). Dans le territoire du même axe artériel (mais excluant les lésions sus-mentionnées), 2 patients (2,9 %) avaient une ou plusieurs lésion(s) ischémique(s) intercurrente(s).

2.3.7. Résultats artériographiques

La classification de Roy-Raymond était inappropriée pour 63 anévrysmes (38,4 %), qui avaient été traités par stent à diversion de flux. Pour les autres anévrysmes, les résultats angiographiques post-procédure ont été catégorisés selon la classification de Roy-Raymond en occlusion complète pour 75 anévrysmes (74,3 %), collet résiduel pour 20 anévrysmes (19,8 %) et anévrysmes résiduels pour 6 anévrysmes (5,9 %). Six mois plus tard, l'artériographie de contrôle montrait une occlusion complète pour 83 anévrysmes (83 %), un collet résiduel pour 14 anévrysmes (14 %) et un anévrysmes résiduel pour 3 anévrysmes (3 %). Il existait une bonne corrélation entre les résultats angiographiques à 6 mois et les résultats post-procédure ($p < 0,0001$).

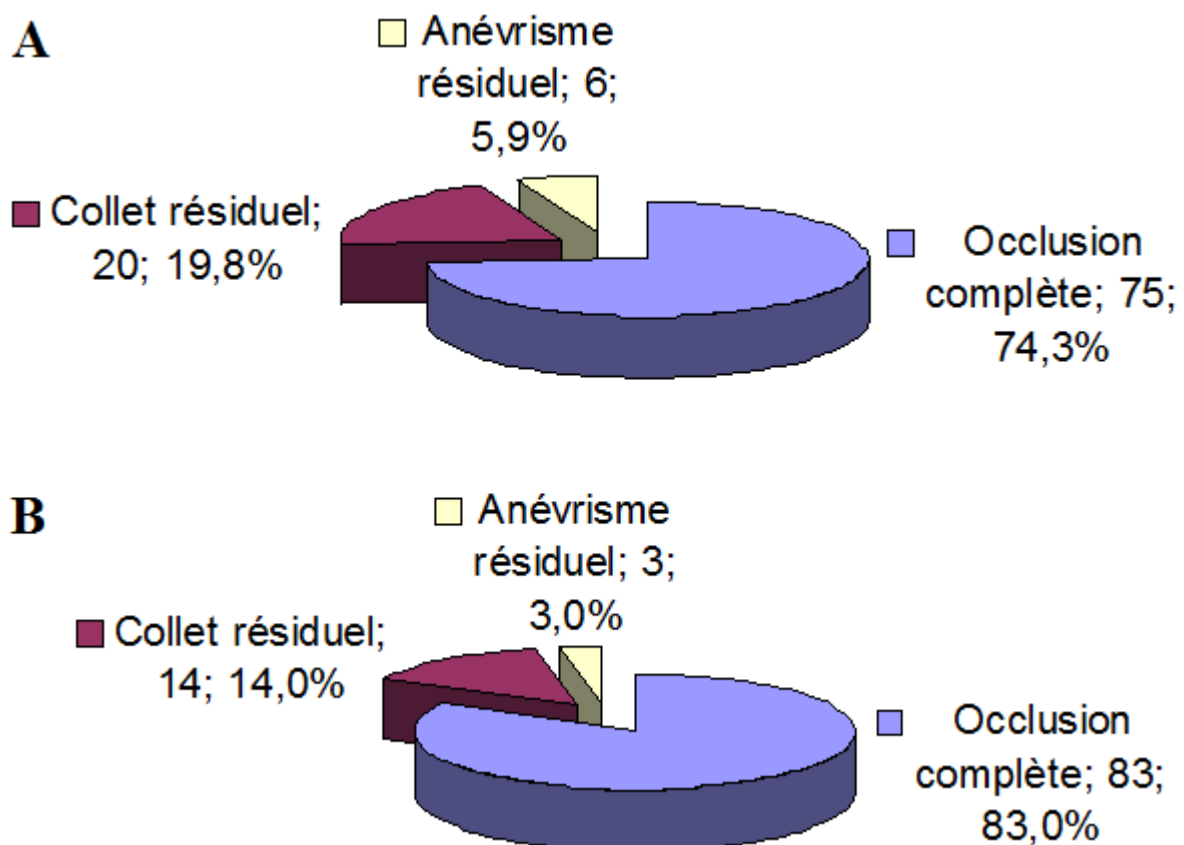


Figure 33 : Distribution des résultats artériographiques selon la classification de Roy-Raymond pour les anévrysmes non traités par stent à diversion de flux (pour chaque groupe : nombre de patients et pourcentage de l'effectif total).

A : En post-procédure. **B** : A 6 mois.

En cas de stent à diversion de flux (63 anévrismes soit 38,4 %), les résultats angiographiques post-procédure ont été catégorisés en fonction de l'échelle O'Kelly et Marotta (OKM) en tant qu'absence de remplissage (grade D) pour 6 anévrismes (9,5 %), entrée résiduelle (grade C) pour 17 anévrismes (27,0 %), remplissage subtotal (grade B) pour 30 anévrismes (47,6 %) et remplissage total (grade A) pour 10 anévrismes (15,9 %). Six mois plus tard, les résultats de l'artériographie de contrôle étaient absence de remplissage (grade D) pour 50 anévrismes (79,4 %), entrée résiduelle (grade C) pour 10 anévrismes (15,9 %) et remplissage subtotal (Grade B) pour 3 anévrismes (4,8 %) ; il n'y avait aucun cas de remplissage total de l'anévrisme (grade A). Il existait une bonne corrélation entre les résultats angiographiques à 6 mois et les résultats post-procédure ($p < 0,0041$).

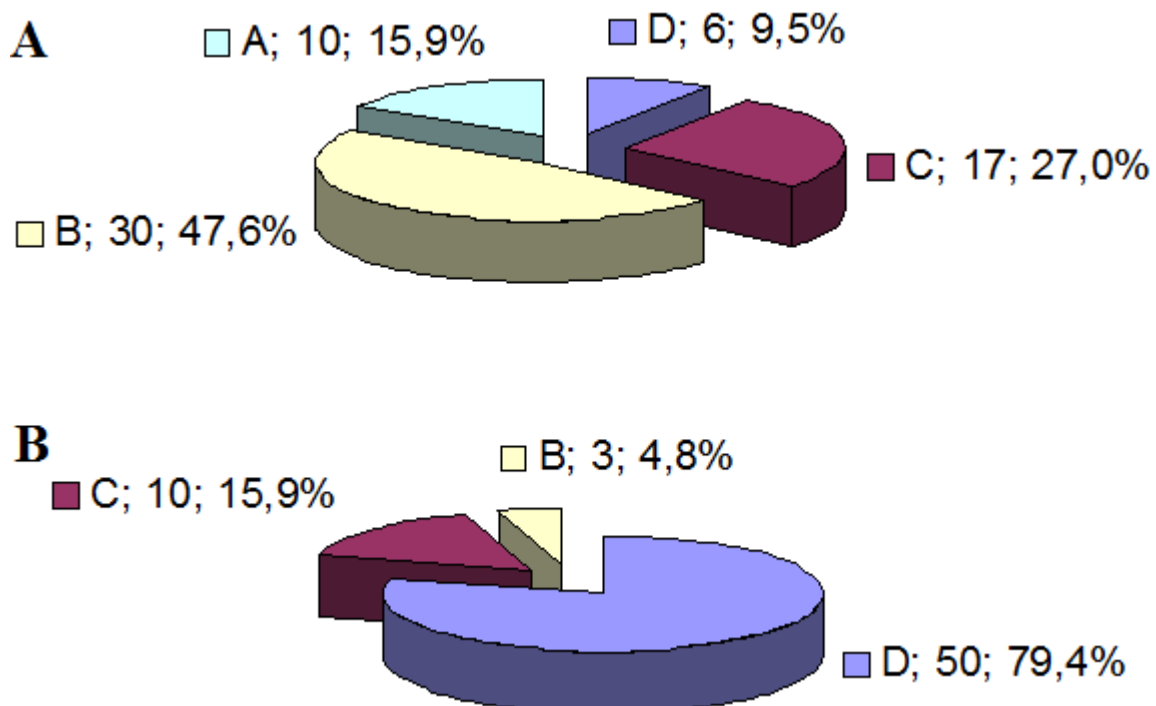


Figure 34 : Distribution des résultats artériographiques selon la classification OKM pour les anévrismes traités par stent à diversion de flux (pour chaque grade : nombre de patients et pourcentage de l'effectif total).

A : En post-procédure. **B** : A 6 mois.

En fusionnant les deux classifications (Roy-Raymond et OKM), l'aspect de l'anévrisme sur l'artériographie de suivi à 6 mois correspondait à une occlusion complète dans 133 cas (81,6 %), un collet résiduel dans 24 cas (14,7 %) et un anévrisme résiduel dans 6 cas (3,7 %).

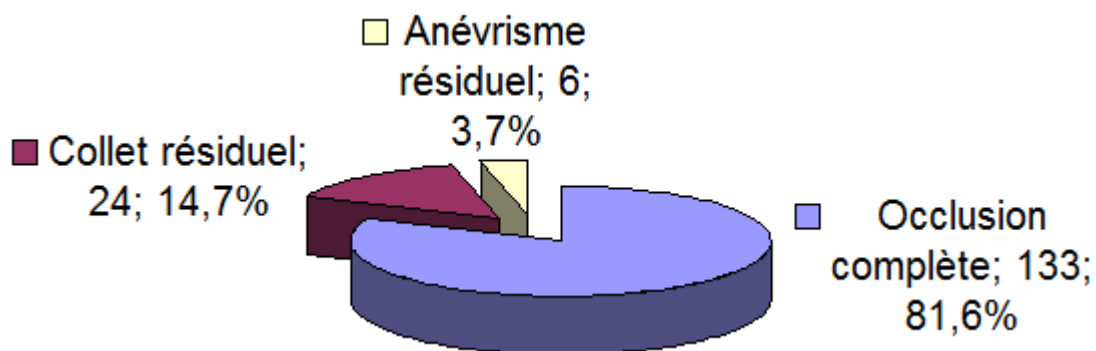


Figure 35 : Distribution des résultats artériographiques à 6 mois en fusionnant les classifications de Roy-Raymond et d'OKM (pour chaque groupe : nombre de patients et pourcentage de l'effectif total).

2.3.8. Analyse en sous-groupes

Sur l'IRM post-procédure, il n'y avait pas de différence statistiquement significative entre les techniques de traitement dans la survenue de nouvelles lésions ischémiques (DWI+), avec des taux de 64,3 % pour le coiling, 54,5 % pour le remodeling, 0% pour le coiling assisté par stent (0 lésion sur 2 patients), 61,1 % pour le coiling assisté par stent à bas profil, 53,7 % pour le stenting à diversion de flux et 75 % pour les traitements très complexes ($\chi^2 = 4,380$, DDL = 5, $p = 0,4962$).

Tableau 2 : Pourcentage de nouvelles lésions ischémiques (DWI+) sur l'IRM post-procédure, en fonction de la technique employée

Technique	Pourcentage de nouvelles lésions ischémiques sur l'IRM post-procédure
Coiling	64,3%
Remodeling	54,5%
Coiling assisté par stent	0,0%
Coiling assisté par stent à bas profil	61,1%
Stenting à diversion de flux	53,7%
Traitements très complexes	75,0%

En cas de nouvelle lésion ischémique (DWI+) sur l'IRM post-procédure (60 patients sur 105 soit 57,1 %), il y avait 9 complications liées à la procédure (15 %), dont 6 événements ischémiques et 3 ruptures anévrysmales. Il n'y avait aucune corrélation statistiquement significative entre la découverte de nouvelles lésions ischémiques (DWI+) sur l'IRM post-

procédure et la survenue de complications liées à la procédure ($\chi^2 = 2,393$, DDL = 2, $p = 0,3023$).

Après stenting à diversion de flux, en cas de nouvelle lésion ischémique (DWI+) sur l'IRM intermédiaire (14 patients sur 57, soit 24,6 %), il y avait 3 complications liées à la procédure (21,4 %), qui correspondaient toutes à des événements ischémiques. Il n'y avait aucune association statistiquement significative entre la découverte de nouvelles lésions ischémiques (DWI+) sur l'IRM intermédiaire et la survenue de complications liées à la procédure ($\chi^2 = 1,408$, DDL = 2, $p = 0,4946$).

En cas de lésion ischémique intercurrente (FLAIR+ ou DWI+) sur l'IRM de contrôle à 6 mois (5 patients sur 68, soit 7,4 %), 2 patients ont présenté des symptômes cliniques tardifs (40 %), qui étaient neurologiques et permanents dans les 2 cas. Il n'y avait aucune association statistiquement significative entre la découverte de lésions ischémiques intercurrentes (FLAIR+ ou DWI+) sur l'IRM de contrôle et la survenue de symptômes cliniques tardifs ($\chi^2 = 2,952$, DDL = 3, $p = 0,3991$).

Sur l'IRM de suivi à 6 mois, il n'y avait pas de différence statistiquement significative entre les techniques de traitement dans la survenue de lésions ischémiques intercurrentes (FLAIR+ ou DWI+), avec des taux de 11,1 % pour le coiling, 8,3 % pour le remodeling, 0 % pour le coiling assisté par stent, 0 % pour le coiling assisté par stent à bas profil, 11,5 % pour le stenting à diversion de flux et 0% pour les traitements très complexes ($\chi^2 = 1,968$, DDL = 5, $p = 0,8536$).

Sur l'artériographie de suivi à 6 mois, pour les anévrismes évaluables selon la classification de Roy-Raymond, il y avait un taux plus élevé d'occlusion complète en cas de retraitement après une recanalisation partielle (95,8 %) qu'en cas de premier traitement (78,9 %) mais la différence n'était pas statistiquement significative ($\chi^2 = 3,755$, DDL = 2, $p = 0,1530$). De même, pour les anévrismes évaluables par l'échelle OKM, il y avait un taux plus élevé de grade D (pas de remplissage) en cas de retraitement après une recanalisation partielle (82,6 %) qu'en cas de premier traitement (77,5 %) mais la différence n'était pas statistiquement significative ($\chi^2 = 2,401$, DDL = 2, $p = 0,3011$).

En fusionnant les deux classifications (Roy-Raymond et OKM) pour évaluer l'aspect de l'anévrisme sur l'artériographie de suivi à 6 mois, il y avait un taux d'occlusion complète plus élevé en cas de retraitement après une recanalisation partielle (89,4 %) qu'en cas de premier traitement (78,4 %) mais la différence n'était pas statistiquement significative ($\chi^2 = 3,668$, DDL = 2, $p = 0,1598$).

Sur l'artériographie de suivi à 6 mois, les traitements très complexes offraient un taux plus élevé d'occlusion complète (100 %) que les autres techniques, avec des taux d'occlusion complète de 75,0 % pour le coiling (et des taux de collet résiduel et d'anévrisme résiduel de 16,7 % et 8,3 % respectivement), 81,8 % pour le coiling assisté par ballonnet (et un taux de collet résiduel de 18,2 %), 66,7 % pour le coiling assisté par stent (et des taux de collet résiduel et d'anévrisme résiduel de 16,7 % dans ces deux cas), 88,9 % pour le coiling assisté par stent à bas profil (et un taux de collet résiduel de 11,1 %) et 79,4 % pour les stents à diversion de flux (et des taux de collet résiduel et d'anévrisme résiduel de 15,9 % et 4,8 % respectivement), mais la différence n'était pas statistiquement significative ($\chi^2 = 9,971$, DDL = 10, $p = 0,4430$).

Tableau 3 : Taux d'occlusion complète sur l'artériographie de suivi à 6 mois, en fonction de la technique employée

Technique	Taux d'occlusion complète sur l'artériographie à 6 mois
Coiling	75,0%
Remodeling	81,8%
Coiling assisté par stent	66,7%
Coiling assisté par stent à bas profil	88,9%
Stenting à diversion de flux	79,4%
Traitements très complexes	100,0%

2.3.9. Cas cliniques

2.3.9.1. Cas clinique de double microcathéter (patient 113)

Contexte clinique et antécédents thérapeutiques :

Patient de 54 ans, asymptomatique ; mRS = 0.

Découverte fortuite d'un anévrisme de la bifurcation sylvienne droite lors d'un scanner cérébral réalisé dans le cadre du suivi d'une néoplasie broncho-pulmonaire en rémission (opérée en 2010) ; patient séropositif pour le VIH (diagnostic établi en 1986).

Selon les données des études ISUIA, la taille de 6 mm pour une lésion de la circulation antérieure était associée à un faible risque de saignement.

Cependant, le patient souhaitait un traitement endovasculaire de cet anévrisme.

Afin de limiter le risque de la procédure et compte tenu des comorbidités, une stratégie d'exclusion anévrysmale sub-totale était retenue. De plus, il était décidé de réaliser l'artériographie diagnostique lors de la même procédure que le geste thérapeutique.

Procédure thérapeutique :

Conforme à la réalisation de la technique décrite dans le paragraphe « 2.2.2.1.3. Double microcathéter ».

Matériel et positionnement pour cet anévrisme de la bifurcation sylvienne droite :

- 2 micro-cathéters de type Echelon 10 (ev3, Irvine, California, USA) (par chacun des 2 cathéters porteurs carotidiens internes droits), réalisant le cathétérisme supra-sélectif de l'anévrisme ;
- 9 coils de type HydroCoil HydroSoft (5-8 mm) (MicroVention/Terumo, Tustin, California, USA) et Microplex 10 (4-10 mm, 3-10 mm, 2-8 mm, 2-6 mm, 2-4 mm x 2 et 2-2 mm x 2) (MicroVention/Terumo, Tustin, California, USA).

Résultat angiographique : anévrisme circulant résiduel ; pas de complication thrombo-embolique ni de dissection artérielle.

Résultat du scanner cone-beam de contrôle type XpertCT : pas de complication hémorragique.

Pas de branche couverte ; perméabilité conservée de l'artère temporale postérieure droite, qui naît du sac anévrysmal.

Complication per ou post-procédure : aucune.

Evolution clinique :

Suites post-opératoires simples, sans déficit neurologique.

Pas de symptôme clinique et mRS = 0 pendant les 6 mois du suivi.

IRM post-thérapeutiques :

Pas de nouvelle lésion ischémique sur l'IRM post-procédure (à 8 h de la procédure) ni au cours du suivi par IRM (IRM de contrôle à 6 mois).

IRM avec angiographie artérielle de la base du crâne en 3D Temps de Vol en substitution de l'artériographie de contrôle à 6 mois :

Occlusion complète de l'anévrisme de la bifurcation sylvienne droite (grade 1 de l'échelle de Roy-Raymond).

Hors de la période de suivi prévue dans l'étude, l'occlusion complète de l'anévrisme de la bifurcation sylvienne droite persistait lors d'un contrôle à 20 mois (IRM du 4 mai 2015)

avec angiographie artérielle de la base du crâne en 3D Temps de Vol en substitution de l'artériographie).

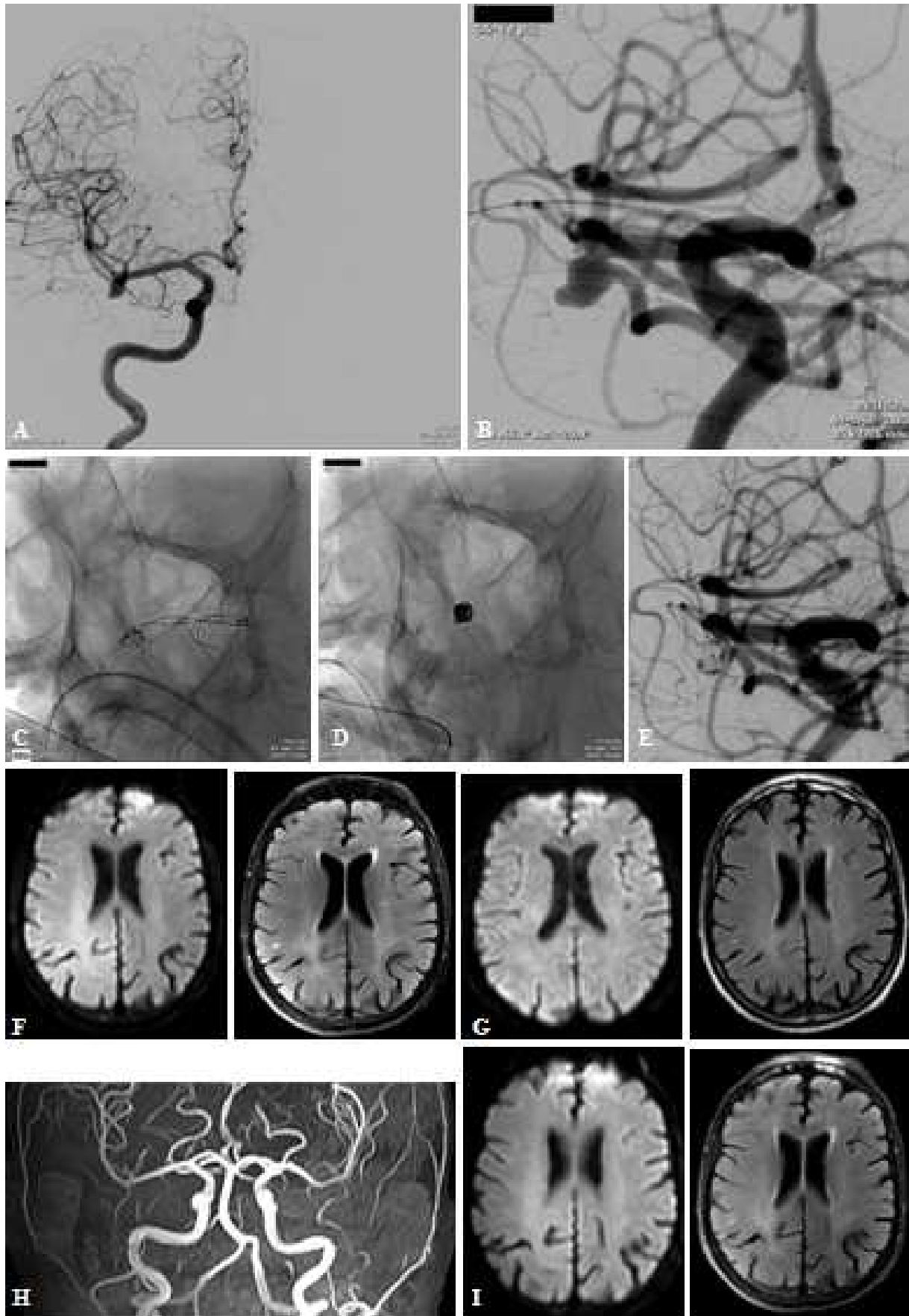


Figure 36 : Images obtenues chez un patient de 54 ans qui a été traité pour un anévrysme de la bifurcation sylvienne droite.

A et B : Angiographie de l'artère carotide interne droite, de face (**A**) puis en incidence de travail (**B**), obtenue avant traitement, montrant un anévrysme sacciforme de la bifurcation sylvienne droite. **C** : Graphie, en incidence de travail : montage en cours de réalisation. **D** : Graphie, en incidence de travail : montage obtenu. **E** : Résultat angiographique immédiat. **F** : Images pondérées en diffusion à B1000 (gauche) et en FLAIR (à droite) obtenues en pré-procédure (la veille du traitement), sans lésion ischémique. **G** : Images pondérées en diffusion à B1000 (gauche) et en FLAIR (à droite) obtenues en post-procédure, sans lésion ischémique récente. **H** : Contrôle à 6 mois par IRM avec angiographie artérielle de la base du crâne en 3D temps de vol, en incidence coronale, montrant une occlusion complète de l'anévrysme de la bifurcation sylvienne droite (grade 1 de l'échelle de Roy-Raymond). **I** : Images pondérées en diffusion à B1000 (gauche) et en FLAIR (à droite) obtenues lors du contrôle à 6 mois, sans lésion ischémique intercurrente.

2.3.9.2. Cas clinique de double remodeling (en kissing) (patiente 66)

Contexte clinique et antécédents thérapeutiques :

Patiente de 43 ans, asymptomatique ; mRS = 0.

Antécédent d'anévrysme de la terminaison carotidienne interne droite de localisation choroïdienne antérieure (6 mm) révélé par un probable syndrome fissuraire début avril 2008 (céphalées intenses et inhabituelles, découverte de l'anévrysme en IRM avec un thrombus du fond du sac en hypersignal T1 spontané et cytologie retrouvant $60 \text{ hématies} \cdot \text{mm}^{-3}$ à la ponction lombaire) et traité en 2 temps : le 18 avril 2008 à la Fondation Rothschild (Paris) par coiling puis le 21 octobre 2009 au CHU de Limoges pour une recanalisation de 4 mm, par remodeling (Hyperglide 4-15 mm) suivi du déploiement d'un stent conventionnel (à cellules fermées, Solitaire AB 4-15 mm) ; suites post-opératoires simples, sans déficit neurologique.

Elargissement d'un anévrysme du sommet du tronc basilaire (5 mm) constaté lors du suivi artériographique du 25 octobre 2012 (alors qu'il s'agissait d'une simple ectasie sur l'artériographie du 17 avril 2008).

Cette évolutivité d'une lésion de la circulation postérieure justifiait la réalisation d'un traitement de l'anévrysme du sommet du tronc basilaire (5 mm), à collet large, associé à celui d'un petit anévrysme de la terminaison carotidienne interne gauche de localisation communicante postérieure (2 mm).

Procédure thérapeutique :

Conforme à la réalisation successive des techniques décrites dans les paragraphes « 2.2.2.1.4.1. Variante du double remodeling (en « kissing ») » et « 2.2.2.1.4. Remodeling ».

Matériel et positionnement pour l'anévrisme du sommet du tronc basilaire :

- Micro-cathéter de type Echelon 10 (ev3, Irvine, California, USA) (par le cathéter porteur vertébral droit), réalisant le cathétérisme supra-sélectif de l'anévrisme ;
- Cathéter à ballonnet de type Hyperform (4-7 mm) (MicroTherapeutics, Irvine, California, USA) (par le cathéter porteur vertébral droit, simultanément), placé en regard du collet anévrysmal à cheval entre la terminaison du tronc basilaire et le segment P1 de l'artère cérébrale postérieure gauche ;
- Cathéter à ballonnet de type Hyperglide (4-10 mm) (MicroTherapeutics, Irvine, California, USA) (par le cathéter porteur vertébral gauche), placé en regard du collet anévrysmal à cheval entre la terminaison du tronc basilaire et le segment P1 de l'artère cérébrale postérieure droite ;
- 8 coils de type HydroCoil HydroSoft (4-8 mm) (MicroVention/Terumo, Tustin, California, USA) et Microplex 8-6, 2-8, 2-4 et 2-2 x 4 (MicroVention/Terumo, Tustin, California, USA).

Matériel et positionnement pour l'anévrisme de la terminaison carotidienne interne gauche de localisation communicante postérieure :

- Micro-cathéter de type Echelon 10 (ev3, Irvine, California, USA) (par un cathéter porteur carotidien interne gauche), réalisant le cathétérisme supra-sélectif de l'anévrisme ;
- Cathéter à ballonnet de type Hyperglide (4-10 mm) (MicroTherapeutics, Irvine, California, USA) (par un 2nd cathéter porteur carotidien interne gauche), placé en regard du collet anévrysmal ;
- 1 coil de type Target Detachable Coils (2-3 mm) (Stryker Neurovascular, Fremont, California, USA).

Résultat angiographique : exclusion totale des 2 sacs anévrysmaux ; pas de complication thrombo-embolique ni de dissection artérielle.

Résultat du scanner cone-beam de contrôle type XpertCT : pas de complication hémorragique.

Branches couvertes : aucune.

Complication per ou post-procédure : aucune.

Evolution clinique :

Suites post-opératoires simples, sans déficit neurologique.

Pas de symptôme clinique et mRS = 0 pendant les 6 mois du suivi.

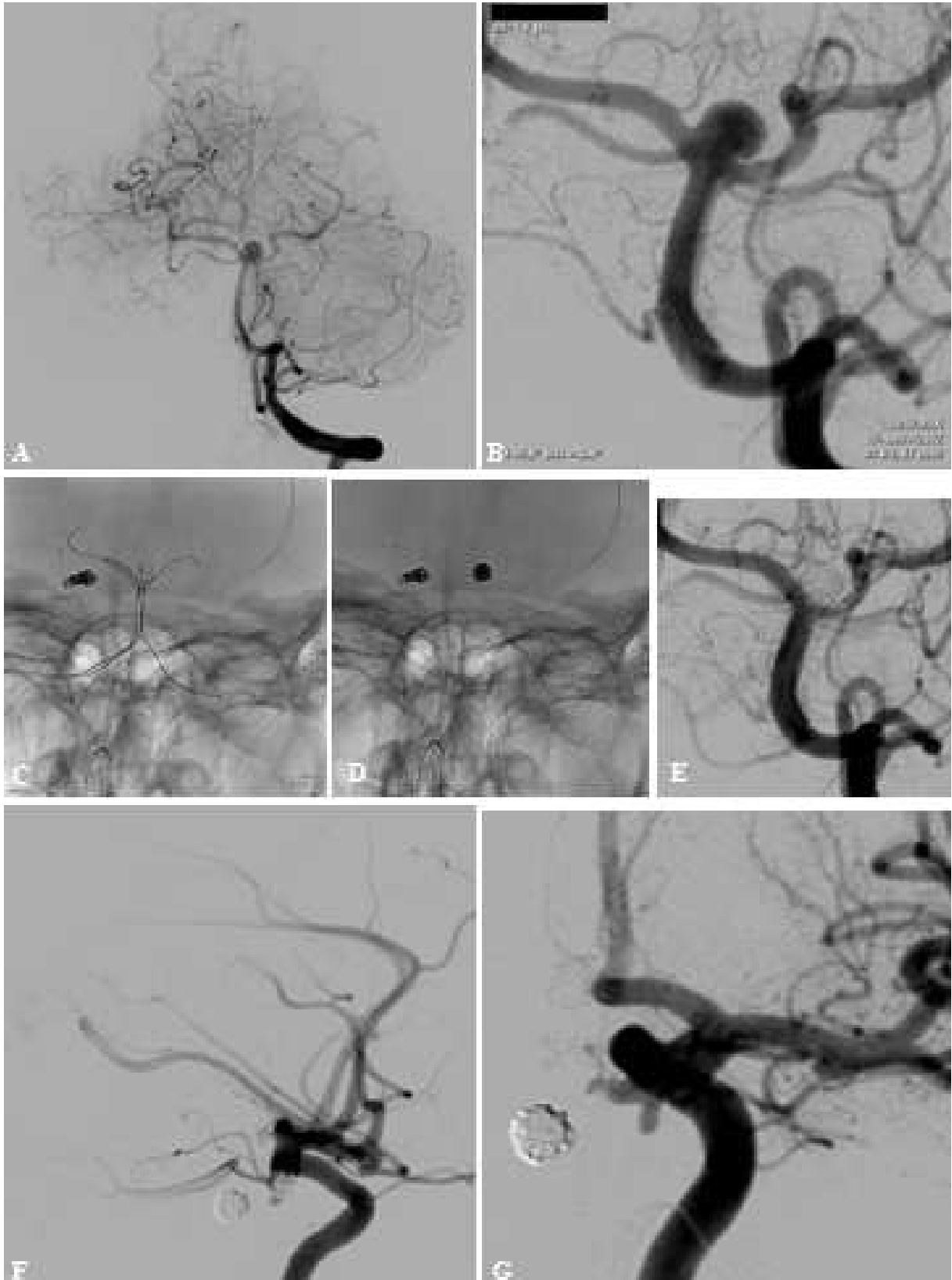
IRM post-thérapeutiques :

Pas de lésion ischémique apparue au cours des 6 mois de suivi (IRM post-procédure réalisée à 11 jours et IRM de contrôle à 14 mois).

Artériographie de contrôle à 6 mois :

Occlusion complète de l'anévrysme du sommet du tronc basilaire (grade 1 de l'échelle de Roy-Raymond) et recanalisation du collet (2 mm) de l'anévrysme de la terminaison carotidienne interne gauche de localisation communicante postérieure (grade 2 de l'échelle de Roy-Raymond) (artériographie de contrôle réalisée à 12 mois).

Hors de la période de suivi prévue dans l'étude, cette recanalisation de l'anévrysme de la terminaison carotidienne interne gauche de localisation communicante postérieure a été traitée le 9 janvier 2014 par la mise en place d'un stent à diversion de flux de type Pipeline Embolization Device (PED ; ev3/Covidien, Irvine, California, USA), sans déficit neurologique au décours de la procédure.



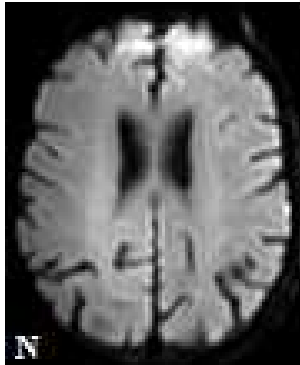
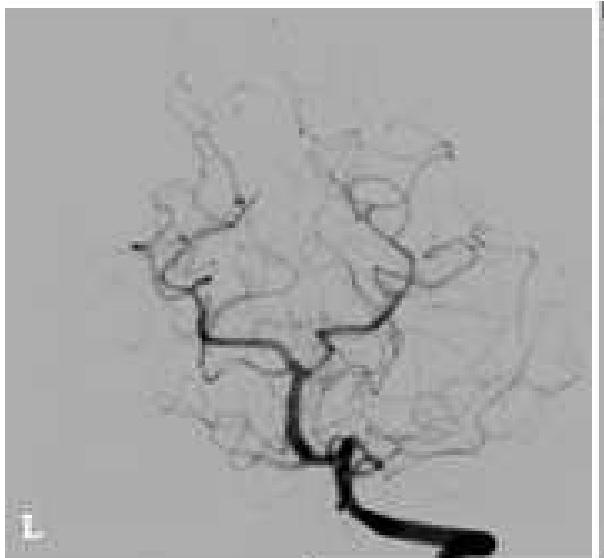
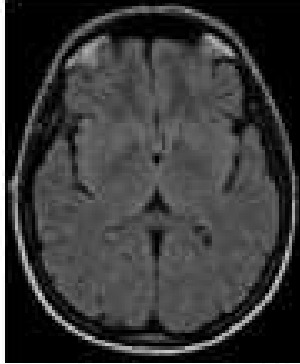
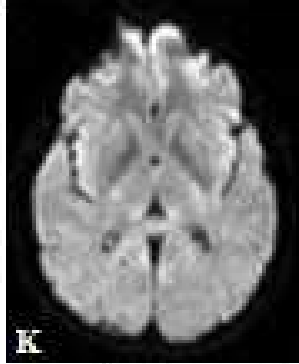
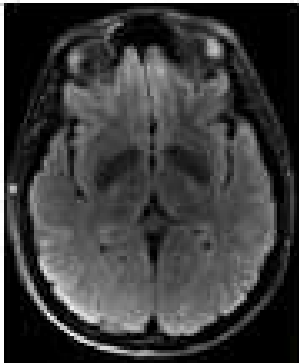
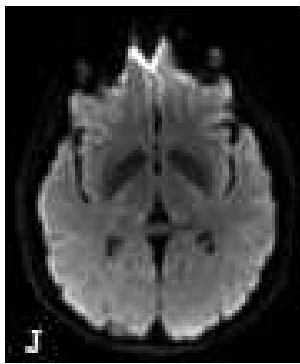
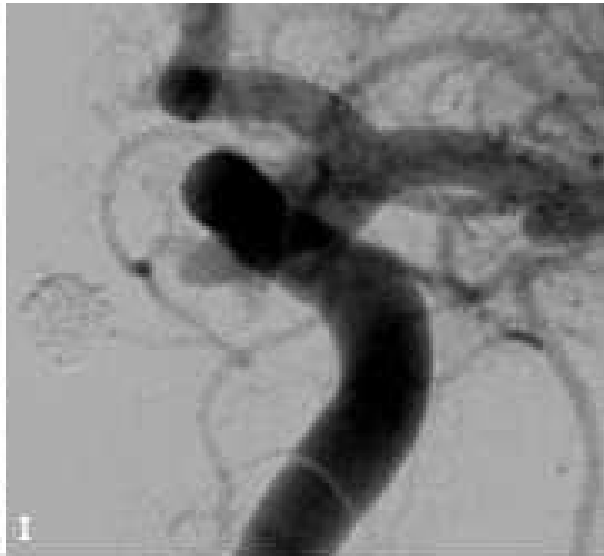


Figure 37 : Images obtenues chez une patiente de 43 ans qui a été traitée pour un anévrysme du sommet du tronc basilaire et pour un anévrysme de la terminaison carotidienne interne gauche de localisation communicante postérieure.

A et B : Angiographie de l'artère vertébrale gauche, de face (**A**) puis en incidence de travail (**B**), obtenue avant traitement, montrant un anévrysme sacciforme du sommet du tronc basilaire, à collet large. **C** : Graphie, en incidence de travail, en cours de double remodeling en kissing : le micro-cathéter déploie le 1er coil pendant que les 2 ballonnets sont gonflés. **D** : Graphie, en incidence de travail : packing de coils obtenu. **E** : Résultat angiographique immédiat. **F et G** : Angiographie de l'artère carotide interne gauche, de face (**F**) puis en incidence de travail (**G**), obtenue avant traitement, montrant un anévrysme sacciforme de la terminaison carotidienne interne gauche de localisation communicante postérieure, à collet large. **H** : Graphie, en incidence de travail : packing de coil obtenu (un seul coil). **I** : Résultat angiographique immédiat. **J** : Images pondérées en diffusion à B1000 (gauche) et en FLAIR (à droite) obtenues en pré-procédure (la veille du traitement), sans lésion ischémique. **K** : Images pondérées en diffusion à B1000 (gauche) et en FLAIR (à droite) obtenues en post-procédure, sans lésion ischémique. **L** : Angiographie de contrôle à 12 mois de l'artère vertébrale gauche, de face, montrant une exclusion complète de l'anévrysme du sommet du tronc basilaire. **M** : Angiographie de contrôle à 12 mois de l'artère carotide interne gauche, en incidence de travail, montrant une recanalisation du collet de l'anévrysme de l'artère communicante postérieure gauche (grade 2 de l'échelle de Roy-Raymond). **N** : Images pondérées en diffusion à B1000 (gauche) et en FLAIR (à droite) obtenues lors du contrôle à 14 mois, sans lésion ischémique.

2.3.9.3. Cas clinique de jailing avec stent à diversion de flux (patient 55)

Contexte clinique et antécédents thérapeutiques :

Patient de 53 ans, asymptomatique ; mRS = 0.

Découverte fortuite d'un anévrysme du segment ophtalmique de l'artère carotide interne droite (segment C6 de la classification de Bouthillier [85]) lors d'un scanner cérébral réalisé pour un premier épisode d'ictus amnésique.

Artériographie diagnostique du 16 juillet 2012 : confirmation diagnostique d'un anévrysme carotido-ophtalmique droit (11 mm), à collet large (6 mm).

Selon les données des études ISUIA, la taille de 11 mm pour une lésion de la circulation antérieure justifiait la réalisation d'un traitement de cet anévrysme.

Procédure thérapeutique :

Conforme à la réalisation de la technique du jailing avec stent à diversion de flux décrite dans le paragraphe « 2.2.2.1.9. Stenting à diversion de flux ».

Matériel et positionnement :

- Micro-cathéter de type Headway 17 (MicroVention/Terumo, Tustin, California, USA) (par le cathéter porteur carotidien interne droit, à travers un introducteur fémoral gauche 7 F), réalisant le cathétérisme supra-sélectif de l'anévrisme ;
- Stent à diversion de flux de type Pipeline Embolization Device (4,75-20 mm) (PED ; ev3/Covidien, Irvine, California, USA) (par un micro-cathéter de type Marksman, monté en co-axial de l'introducteur fémoral droit de type Destination 6 F qui avait été amené dans l'artère carotide interne droite), déployé en regard du collet anévrysmal, s'étendant de juste en caudal de l'artère choroïdienne antérieure droite jusqu'au segment caverneux de l'artère carotide interne droite (segment C4 de la classification de Bouthillier [85]). Ce stent à diversion de flux enferme donc le micro-cathéter de type Headway 17 (MicroVention/Terumo, Tustin, California, USA) dans l'anévrisme ;
- 4 coils de type HydroCoil Hydrosoft (9-30 mm), Microplex (MicroVention/Terumo, Tustin, California, USA), VFC 6-10-30 mm et 6-10-20 mm x 2 (MicroVention/Terumo, Tustin, California, USA).

Résultat angiographique : exclusion sub-totale de l'anévrisme avec remplissage partiel du sac anévrysmal dès la phase capillaire (grade B1 de l'échelle OKM) ; pas de complication thrombo-embolique ni de dissection artérielle.

Résultat du scanner cone-beam de contrôle type XpertCT : pas de complication hémorragique.

Branches couvertes : 2, correspondant à l'artère ophtalmique droite (orthogonale) et à l'artère communicante postérieure droite (convexité).

Complication per ou post-procédure : aucune.

Evolution clinique :

Suites post-opératoires simples, sans déficit neurologique.

Pas de symptôme clinique et mRS = 0 pendant les 6 mois du suivi.

IRM post-thérapeutiques :

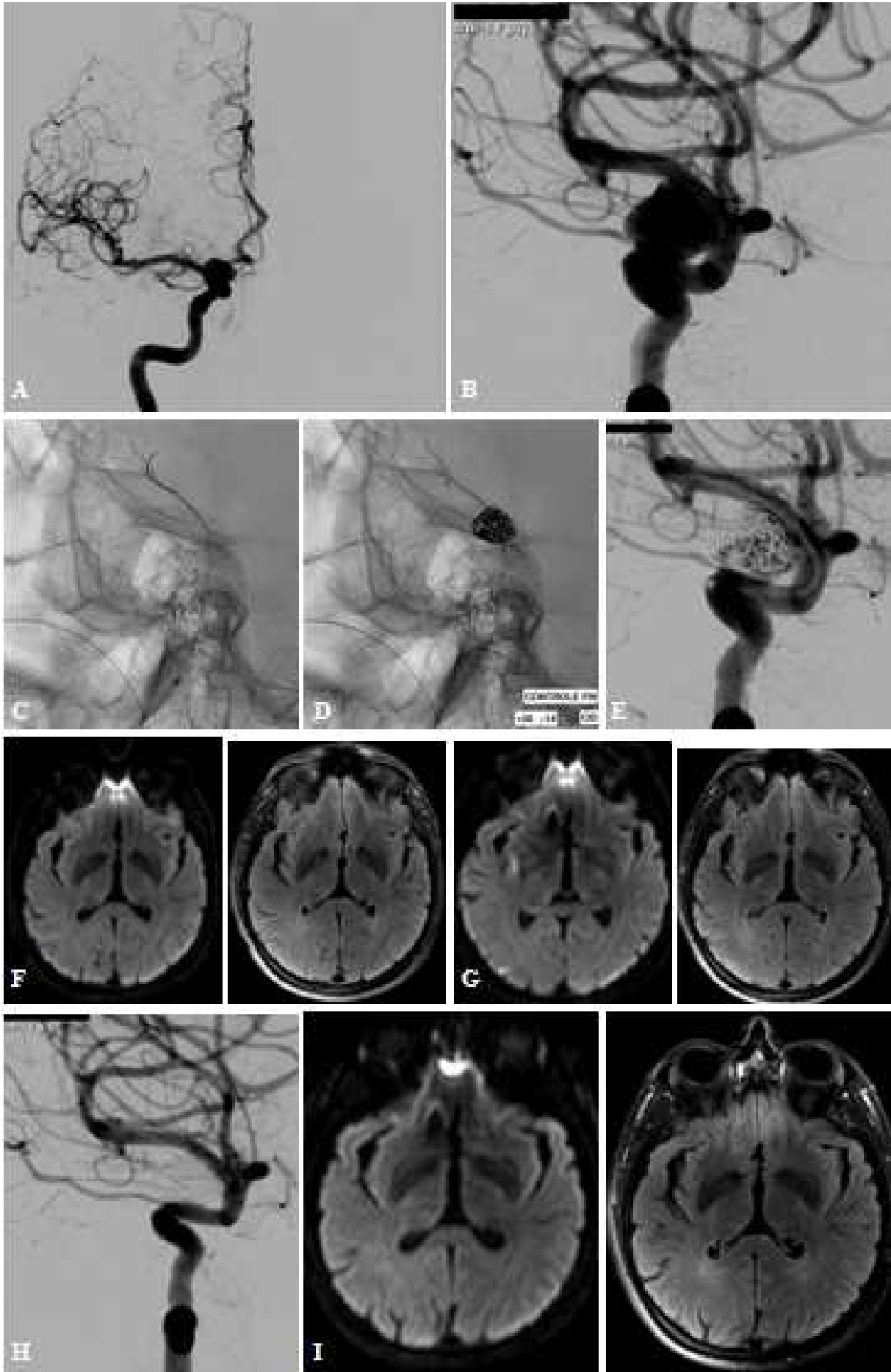
Apparition d'une lésion ischémique capsulaire externe droite (14 mm), en hypersignal diffusion avec diminution de l'ADC (restriction de diffusion) et hypersignal FLAIR sur l'IRM post-procédure (à 101 h de la procédure), dans le territoire superficiel de l'artère cérébrale moyenne droite (branche terminale de l'artère carotide interne droite) donc dans le territoire de l'artère porteuse.

Pas d'autre lésion ischémique apparue au cours du suivi par IRM (IRM intermédiaire à 3 mois puis de contrôle à 6 mois).

Artériographie de contrôle à 6 mois :

Occlusion complète de l'anévrysme carotido-ophtalmique droit (grade D de l'échelle OKM).

Hors de la période de suivi prévue dans l'étude, l'occlusion complète de l'anévrysme de la bifurcation sylvienne droite persistait lors d'un contrôle à 13 mois (artériographie du 1^{er} septembre 2014).



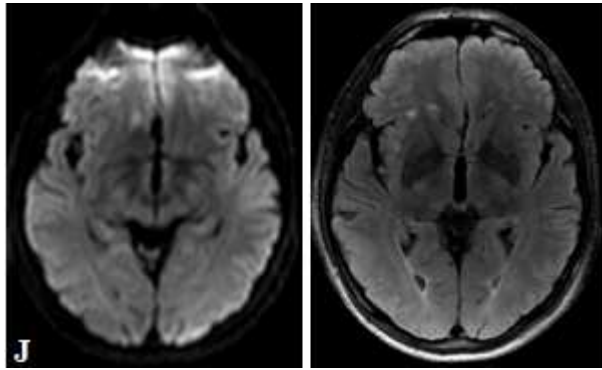


Figure 38 : Images obtenues chez un patient de 53 ans qui a été traité pour un anévrisme carotido-oculaire droit.

A et B : Angiographie de l'artère carotide interne droite, de face (**A**) puis en incidence de travail (**B**), obtenue avant traitement, montrant un anévrisme sacciforme carotido-oculaire droit, à collet large. **C** : Angiographie, en incidence de travail : montage en cours, après réalisation du jailing du micro-cathéter par le stent à diversion de flux et avant réalisation du coiling. **D** : Angiographie, en incidence de travail : montage obtenu. **E** : Résultat angiographique immédiat. **F** : Images pondérées en diffusion à B1000 (gauche) et en FLAIR (à droite) obtenues en pré-procédure (la veille du traitement), sans lésion ischémique. **G** : Images pondérées en diffusion à B1000 (gauche) et en FLAIR (à droite) obtenues en post-procédure, objectivant une lésion ischémique capsulaire externe droite (territoire de l'artère porteuse). **H** : Angiographie de contrôle à 6 mois de l'artère carotide interne droite, en incidence de travail, montrant une occlusion complète de l'anévrisme carotido-oculaire droit (grade D de l'échelle OKM). **I et J** : Images pondérées en diffusion à B1000 (gauche) et en FLAIR (à droite) obtenues lors des contrôles à 3 et 6 mois, sans lésion ischémique intercurrente.

2.3.9.4. Cas clinique de stenting en Y (patiente 126)

Contexte clinique et antécédents thérapeutiques :

Patiente de 73 ans, asymptomatique ; mRS = 0.

Découverte fortuite d'un anévrisme du sommet du tronc basilaire (partiellement thrombosé) lors d'un scanner cérébral réalisé aux Etats-Unis dans le cadre de la prise en charge d'un traumatisme crânien.

Artériographie diagnostique du 13 novembre 2013 : confirmation diagnostique d'un anévrisme du sommet du tronc basilaire (10 mm), partiellement thrombosé et à collet large. Découverte d'un anévrisme de la jonction A1-A2 droite (4 mm) et d'une sténose proximale de l'artère vertébrale gauche.

Selon les données des études ISUIA, la taille de 10 mm pour une lésion de la circulation postérieure justifiait la réalisation d'un traitement de l'anévrisme du sommet du tronc basilaire. En revanche, il n'était pas nécessaire de traiter l'anévrisme de la jonction A1-A2 droite (4 mm).

Procédure thérapeutique :

Conforme à la réalisation de la « variante en cas d'abord unilatéral de l'anévrisme » décrite dans le paragraphe « 2.2.2.1.6. Stenting en Y ».

Matériel et positionnement pour l'anévrisme du sommet du tronc basilaire :

- Stent à cellules ouvertes de type Neuroform EZ 3 (3-20 mm) (Stryker Neurovascular, Fremont, California, USA) (par le seul cathéter porteur vertébral droit), placé en regard du collet anévrysmal à cheval entre le segment P1 de l'artère cérébrale postérieure droite et la terminaison du tronc basilaire ;
- Stent à cellules fermées de type Enterprise Vascular Reconstruction System (4,5-22 mm) (Codman Neurovascular, Raynham, Massachusetts, USA) (par le seul cathéter porteur vertébral droit), placé en regard du collet anévrysmal à cheval entre le segment P1 de l'artère cérébrale postérieure gauche et la terminaison du tronc basilaire ;
- Micro-cathéter de type Echelon 10 (ev3, Irvine, California, USA) (par le seul cathéter porteur vertébral droit), réalisant le cathétérisme supra-sélectif de l'anévrisme ;
- 9 coils de type Microplex 10 (9-30 mm et 7-30 mm), VFC 8-10-30 mm x 2, 3-6-10 mm x 4 et Microplex 10 2-8 mm (MicroVention/Terumo, Tustin, California, USA).

Résultat angiographique : collet circulant résiduel ; pas de complication thrombo-embolique ni de dissection artérielle.

Résultat du scanner cone-beam de contrôle type XpertCT : pas de complication hémorragique.

Branches couvertes : 6, comportant les artères cérébelleuses supérieures droite (concavité) et gauche (concavité), les segments P1 des artères cérébrales postérieures droite (convexité) et gauche (convexité) et des branches perforantes des segments P1 droit (convexité) et gauche (convexité).

Complication per ou post-procédure : aucune.

Evolution clinique :

Suites post-opératoires simples, sans déficit neurologique.

Pas de symptôme clinique et mRS = 0 pendant les 6 mois du suivi.

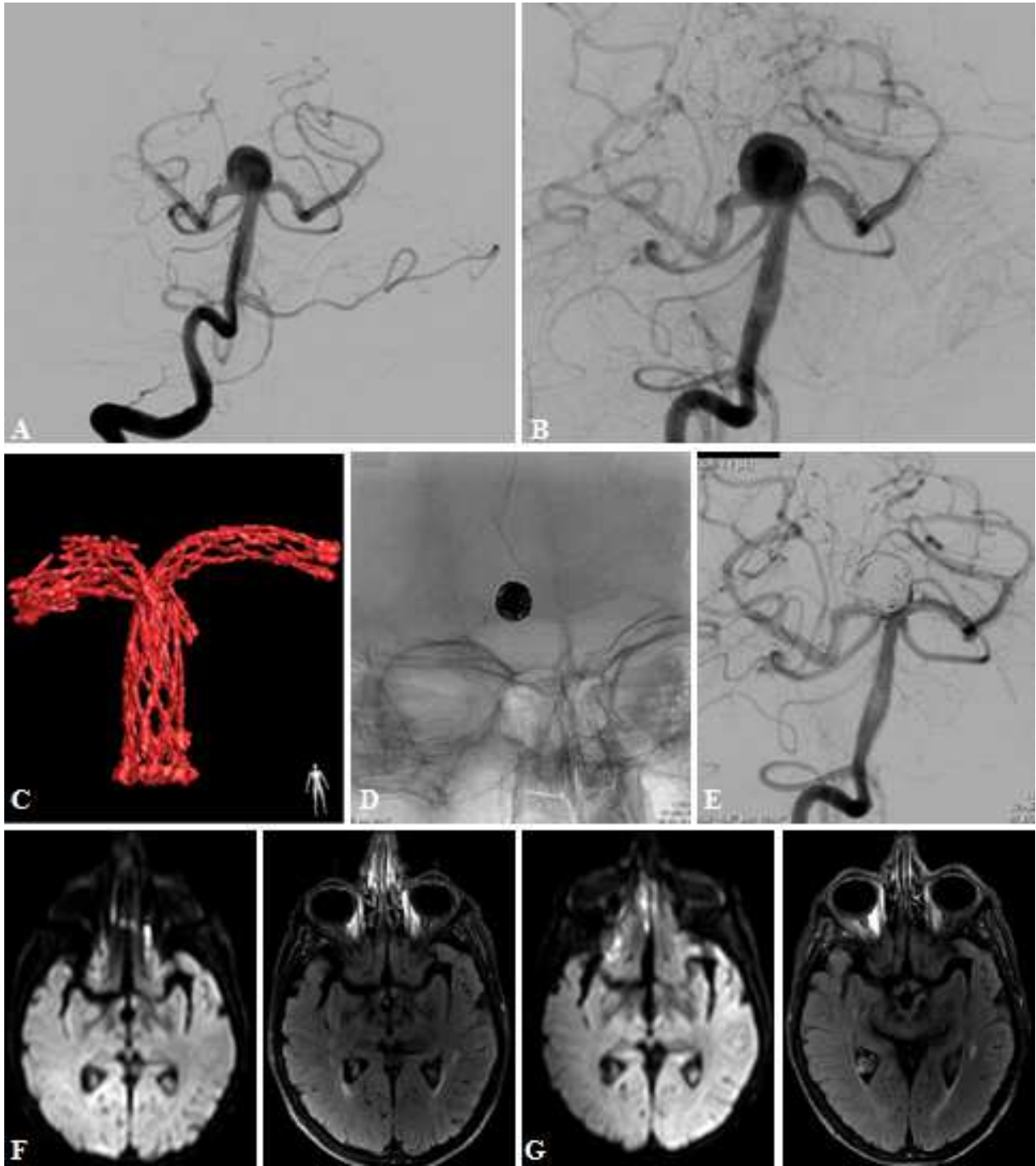
IRM post-thérapeutiques :

Pas de lésion ischémique apparue au cours des 6 mois de suivi (IRM post-procédure réalisée à 30 heures et IRM de contrôle à 8 mois).

Artériographie de contrôle à 6 mois :

Recanalisation du sac (8 mm) de l'anévrysme du sommet du tronc basilaire (grade 3 de l'échelle de Roy-Raymond) et stabilité de l'anévrysme de la jonction A1-A2 droite non traité (4 mm) (artériographie de contrôle réalisée à 7 mois).

Hors de la période de suivi prévue dans l'étude, cette recanalisation de l'anévrysme du sommet du tronc basilaire a été traitée le 6 août 2014 par la mise en place de 4 coils, sans déficit neurologique ni lésion ischémique en IRM au décours de la procédure.



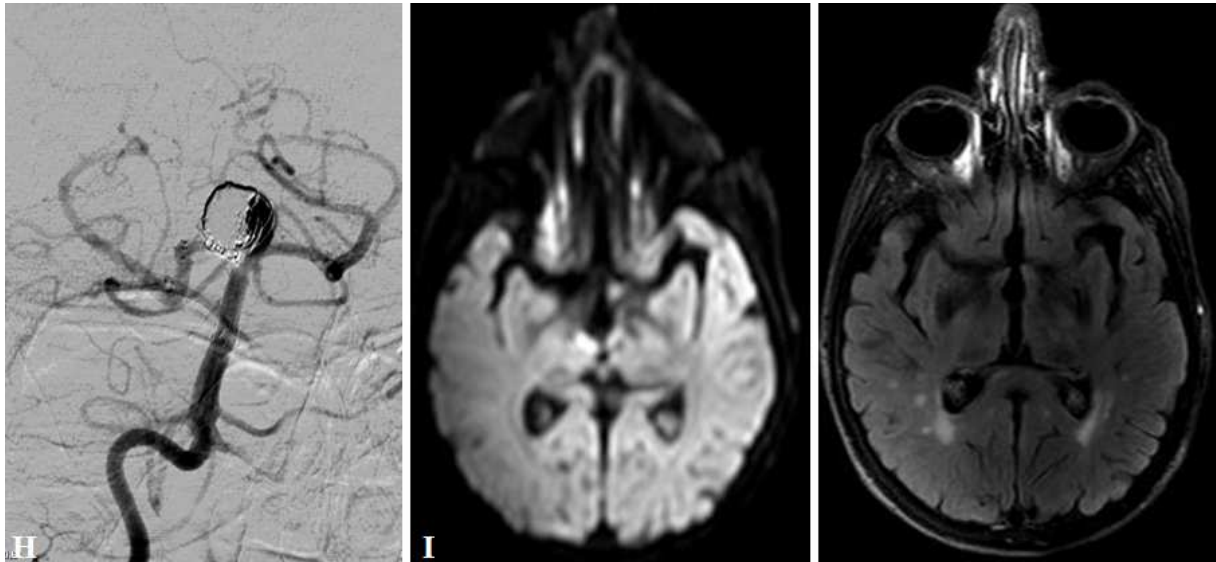


Figure 39 : Images obtenues chez une patiente de 73 ans qui a été traitée pour un anévrysme du sommet du tronc basilaire.

A et B : Angiographie de l'artère vertébrale droite, de face (**A**) puis en incidence de travail (**B**), obtenue avant traitement, montrant un anévrysme sacciforme du sommet du tronc basilaire, à collet large. **C** : Image reconstruite en rendu de volume, après réalisation du stenting en Y et avant réalisation du coiling : les 2 stents sont positionnés en Y. **D** : Graphie, en incidence de travail : montage obtenu. **E** : Résultat angiographique immédiat. **F** : Images pondérées en diffusion à B1000 (gauche) et en FLAIR (à droite) obtenues en pré-procédure (la veille du traitement), sans lésion ischémique. **G** : Images pondérées en diffusion à B1000 (gauche) et en FLAIR (à droite) obtenues en post-procédure, sans lésion ischémique. **L** : Angiographie de contrôle à 7 mois de l'artère vertébrale droite, en incidence de travail, montrant une recanalisation du sac de l'anévrysme du sommet du tronc basilaire (grade 3 de l'échelle de Roy-Raymond). **N** : Images pondérées en diffusion à B1000 (gauche) et en FLAIR (à droite) obtenues lors du contrôle à 8 mois, sans lésion ischémique intercurrente.

2.3.9.5. Cas clinique de stenting télescopique avec stents à diversion de flux (patient 48)

Contexte clinique et antécédents thérapeutiques :

Patiente de 69 ans, asymptomatique ; mRS = 0.

Recanalisation d'un anévrysme large de la terminaison carotidienne interne gauche de localisation communicante postérieure, non rompu, ayant été traité le 15 décembre 2010 par double remodeling au ballonnet et stenting télescopique avec stents à diversion de flux.

Artériographie diagnostique du 19 juin 2012 : confirmation diagnostique d'une recanalisation de l'anévrisme de la terminaison carotidienne interne gauche de localisation communicante postérieure (21 mm ; grade B1 de la classification OKM), à collet large.

Selon les données des études ISUIA, la taille de 21 mm pour une lésion de la circulation antérieure justifiait la réalisation d'un retraitement.

Procédure thérapeutique :

Conforme à la réalisation de la « variante du stenting télescopique avec stents à diversion de flux » décrite dans le paragraphe « 2.2.2.1.9. Stenting à diversion de flux ».

Matériel et positionnement :

- Stent à diversion de flux de type Pipeline Embolization Device (4,25-16 mm) (PED ; ev3/Covidien, Irvine, California, USA) (par un micro-cathéter de type Marksman, monté en co-axial de l'introducteur fémoral droit de type Destination 6 F qui avait été amené dans l'artère carotide interne gauche), déployé en regard du collet anévrysmal, s'étendant du segment carotido-ophtalmique jusqu'à la terminaison carotidienne interne gauche.

Résultat angiographique : sac anévrysmal circulant résiduel dès la phase artérielle (grade B1 de la classification OKM) ; pas de complication thrombo-embolique ni de dissection artérielle.

Résultat du scanner cone-beam de contrôle type XpertCT : pas de complication hémorragique.

Branches couvertes : 3, comportant l'artère ophtalmique gauche (convexité), l'artère communicante postérieure gauche (naissant du collet anévrysmal) et l'artère choroïdienne antérieure gauche (convexité).

Complication per ou post-procédure : aucune.

Evolution clinique :

Suites post-opératoires simples, sans déficit neurologique.

Pas de symptôme clinique et mRS = 0 pendant les 6 mois du suivi.

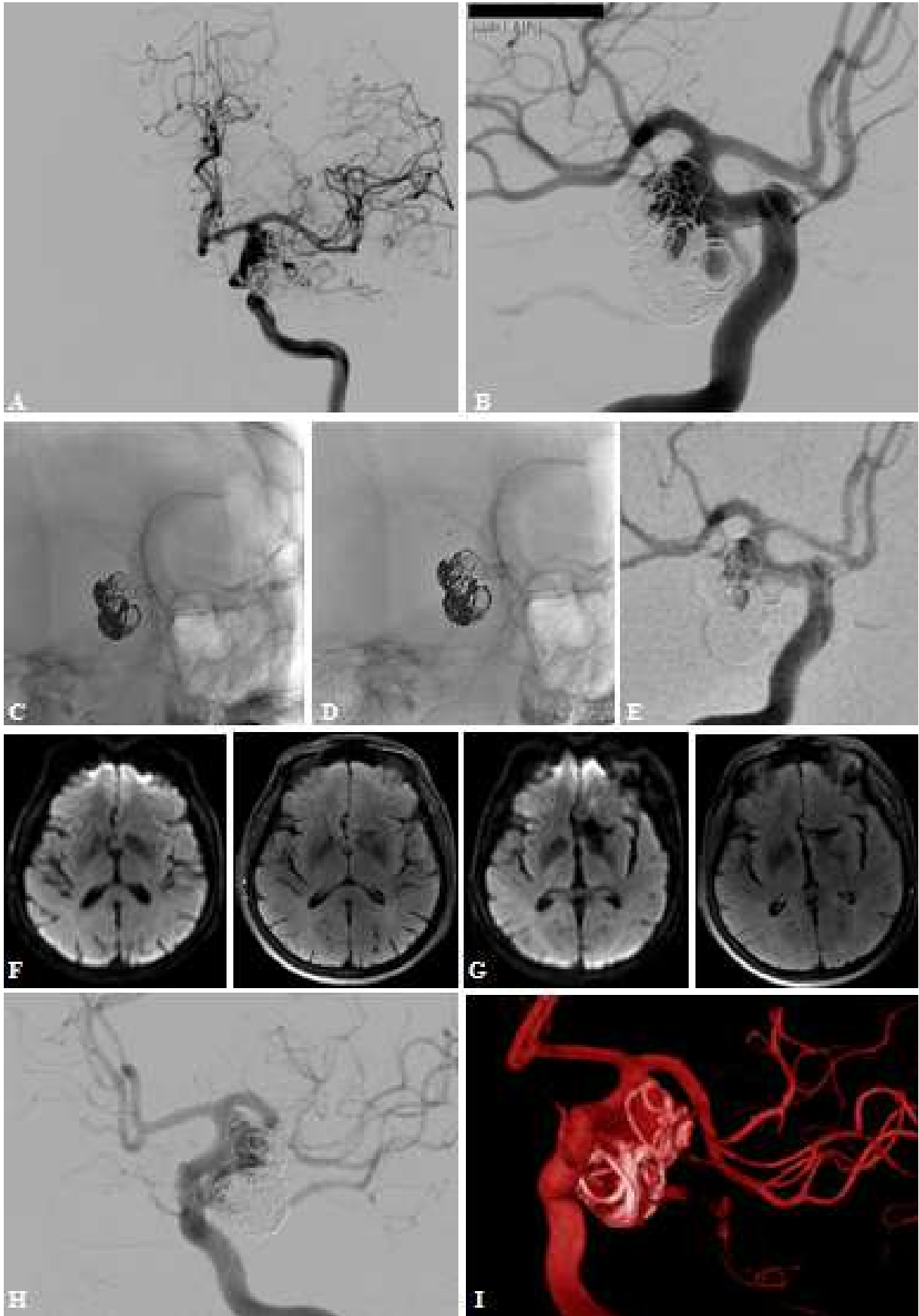
IRM post-thérapeutiques :

Pas de lésion ischémique apparue au cours du suivi par IRM (IRM post-procédure le lendemain, intermédiaire à 3 mois et de contrôle à 6 mois).

Artériographie de contrôle à 6 mois :

Légère diminution de la recanalisation de l'anévrisme de la terminaison carotidienne interne gauche de localisation communicante postérieure (19 mm ; grade B1 de la classification OKM).

Hors de la période de suivi prévue dans l'étude, cette recanalisation a été traitée le 11 février 2015 par la mise en place d'un nouveau stent à diversion de flux placé à cheval entre la terminaison carotidienne interne gauche et le segment M1 gauche ; survenue post-opératoire d'une aphasie motrice puis d'une hémiparésie droite avec lésions ischémiques fronto-pariétales gauches en IRM ; récupération progressive.



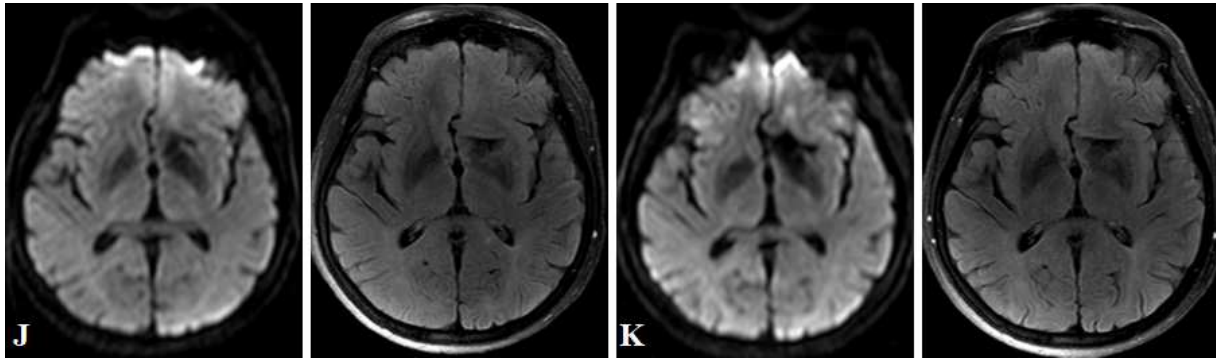


Figure 40 : Images obtenues chez une patiente de 69 ans qui a été traitée pour une recanalisation d'anévrisme large de la terminaison carotidienne interne gauche de localisation communicante postérieure (non rompu, ayant été traité le 15 décembre 2010 par double remodeling au ballonnet et stenting télescopique avec stents à diversion de flux).

A et B : Angiographie de l'artère carotide interne gauche, de face (**A**) puis en incidence de travail (**B**), obtenue avant traitement, montrant une recanalisation de l'anévrisme sacciforme de la terminaison carotidienne interne gauche de localisation communicante postérieure, à collet large (grade B1 de la classification OKM). **C et D** : Angiographie, en incidence de travail : montage initial (**C**) puis montage obtenu (**D**). **E** : Résultat angiographique immédiat.

F : Images pondérées en diffusion à B1000 (gauche) et en FLAIR (à droite) obtenues en pré-procédure (2 jours avant le traitement), sans lésion ischémique. **G** : Images pondérées en diffusion à B1000 (gauche) et en FLAIR (à droite) obtenues en post-procédure, sans lésion ischémique. **H** : Angiographie de contrôle à 6 mois de l'artère carotide interne gauche, en incidence de travail, montrant une légère diminution de la recanalisation de l'anévrisme large de la terminaison carotidienne interne gauche de localisation communicante postérieure (grade B1 de la classification OKM). **I** : Image reconstruite en rendu de volume : recanalisation de l'anévrisme large de la terminaison carotidienne interne gauche de localisation communicante postérieure (grade B1 de la classification OKM). **J et K** : Images pondérées en diffusion à B1000 (gauche) et en FLAIR (à droite) obtenues lors des contrôles à 3 et 6 mois, sans lésion ischémique intercurrente.

2.4. Discussion

2.4.1. Faisabilité du traitement endovasculaire dans le traitement des anévrysmes intra-crâniens non rompus, grâce à une large gamme d'approches techniques

Notre étude souligne l'importante variété des configurations anévrysmales rencontrées lors du traitement des anévrysmes intra-crâniens non rompus. En effet, les anévrysmes intra-crâniens non rompus diffèrent grandement en fonction de multiples facteurs comme leur localisation (artère porteuse et branches environnantes), leur éventuel caractère symptomatique, leur statut (premier traitement ou recanalisation), leur forme (fusiforme, sacculaire ou serpentin), leur taille (petit, moyen, grand ou géant), la taille de leur collet (petit ou large) ou l'association d'éventuelles variantes anatomiques. La diversité des situations rencontrées peut aussi être liée à certains paramètres biologiques comme une éventuelle résistance au Clopidogrel et/ou à l'Aspirine.

Notre étude confirme la faisabilité élevée du traitement endovasculaire dans la prise en charge des anévrysmes intra-crâniens non rompus. Ainsi, grâce à une large gamme d'approches techniques, 100 % des anévrysmes de notre série ont pu être traités par voie endovasculaire.

2.4.1.1. Coiling

La faisabilité du coiling standard est élevée, cette technique étant utilisable jusque dans 94 % des cas selon Gallas et al. [86, 87]

Cependant, le coiling trouve ses limites dans certaines configurations anévrysmales comme les anévrysmes à collets larges, les anévrysmes larges et géants ou les anévrysmes fusiformes.

De fait, dans notre série, le coiling standard n'a été utilisé que pour 14,6 % des anévrysmes intra-crâniens non rompus, d'autres techniques étant plus appropriées.

2.4.1.2. Remodeling

La technique du remodeling décrite par Moret et al. [60] permet le traitement endovasculaire des anévrysmes intra-crâniens à collet large (ainsi que des anévrysmes larges et géants). En outre, des techniques dérivées plus complexes comme le double remodeling permettent de traiter les anévrysmes des bifurcations.

Dans notre étude, le recours aux techniques de coiling assisté par ballonnet concordait avec l'existence de conformations anévrysmales particulières.

2.4.1.3. Stenting

Les techniques de coiling assisté par stent offrent une alternative au remodeling pour le traitement endovasculaire des anévrysmes intra-crâniens à collet large et des anévrysmes larges et géants [61, 62]. De plus, le coiling assisté par stent permet la prise en charge des anévrysmes fusiformes et dissécants [63]. Enfin, le déploiement d'un stent permet une procédure de sauvetage en cas de protrusion de spire ou de migration de coil (« bailout stent deployment »).

Dans notre travail, les opérateurs avaient recours aux techniques de coiling assisté par stent dans de telles situations de traitement endovasculaire.

2.4.1.4. Stents à diversion de flux

Les stents à diversion de flux constituent un nouveau paradigme dans le traitement endovasculaire des anévrysmes intra-crâniens. Ces dispositifs sont particulièrement intéressants dans la prise en charge des configurations les plus complexes : anévrysmes larges et géants, anévrysmes à collet large, anévrysmes fusiformes, anévrysmes multiples sur dissection artérielle segmentaire, anévrysmes de très petite taille (dont les blister-like) mais aussi en cas de recanalisation anévrysmale après un coiling initial.

Cette série souligne la pertinence des stents à diversion de flux dans ces indications, particulièrement en cas de recanalisation anévrysmale.

2.4.1.5. Dispositifs de perturbation de flux

Par analogie avec les stents à diversion de flux, les dispositifs de perturbation de flux font désormais partie de l'arsenal thérapeutique. Ainsi, une fois placé dans le sac anévrysmal, un dispositif WEB (Sequent Medical Inc, Aliso Viejo, California, USA) ou Luna (NFocus Neuromedical, Palo Alto, California, USA) entraîne une stase sanguine intra-anévrysmale, elle-même à l'origine de la thrombose.

Les dispositifs de perturbation du flux semblent donc pertinents pour les traitements très complexes comme les anévrysmes de bifurcation à collet large, notamment en sommet de tronc basilaire, terminaison de l'artère carotide interne, artère communicante antérieure ou jonction M1-M2 [88].

Compte tenu de la maîtrise par l'équipe des techniques les plus complexes (type stenting en Y ou en T ou double-remodeling) mais moins coûteuses que ces dispositifs de perturbation du flux, un dispositif Luna n'a été utilisé que pour un seul anévrysme de la série. Il s'agissait d'un premier traitement d'anévrysme A1 droit (7 mm) à collet large (4 mm, soit un

score Aspect de 1,75), s'étendant partiellement sur l'artère communicante antérieure (elle-même fenêtrée). Le siège de cet anévrisme, sur la face postérieure du complexe antérieur, rendait particulièrement complexe un éventuel traitement neurochirurgical.

2.4.1.6. Techniques très complexes

Un anévrisme à collet large siégeant à une bifurcation constitue un véritable challenge pour le traitement endovasculaire. En effet, il est alors très difficile de protéger simultanément les deux branches d'une éventuelle migration de coil. Dans de telles configurations, il est nécessaire de recourir à des techniques très complexes comme le stenting en Y [89, 90].

Dans notre travail, les opérateurs ont eu recours à ces techniques de stenting en Y et en T chez 10 patients (6,1 %). Même si l'effectif de ce groupe de techniques est moins important que celui d'autres groupes de techniques, ce nombre de 10 patients traités en 2 ans par techniques très complexes est en ligne avec les autres séries publiées (97 patients en 7 ans pour Bartolini et al. [90] et 188 patients en 5 ans pour Yavuz et al. [89]).

Les configurations très difficiles à type d'anévrisme à collet large siégeant à une bifurcation (et au centre de cette bifurcation) ne sont donc pas exceptionnelles, ce qui souligne la nécessité de maîtriser les techniques de stenting en Y et en T.

2.4.1.7. Agents liquides

Les agents liquides constituent une option thérapeutique discutée, sous protection par un ballon de remodeling. L'Onyx (Covidien/EV3, Irvine, CA, USA) a notamment été étudié dans l'essai clinique CAMEO (Cerebral Aneurysm Multicenter European Onyx) [91]. Dans notre série, l'Onyx a été utilisé pour 2 anévrysmes. Le premier correspondait à un anévrisme carotido-ophtalmique droit, large (19 mm), à collet large (7 mm, avec un score Aspect de 2,1 du fait d'une hauteur de 15 mm), qui a bénéficié d'un traitement par 2 stents à diversion de flux en configuration télescopique et 2 ml d'Onyx 18 sous protection par un ballon de remodeling. La seconde utilisation d'Onyx correspondait à un traitement de sauvetage dans le cadre d'une rupture anévrysmale per-procédure, lors du remodeling d'un anévrisme de l'artère cérébrale postérieure droite (jonction P1-P2), large (20 mm), à collet large (8 mm, avec un score Aspect de 1,25 du fait d'une hauteur de 10 mm). De l'Onyx 18 et du Glubran 2 (N-butyl -2-cyanoacrylate ; GEM SRL, Viareggio, Italy) dilué à 50 % avec du Lipiodol (huile iodée ; Guerbet, Aulnay-sous-Bois, France) ont alors été utilisés en complément du coiling. Enfin, le Glubran 2 a été utilisé lors du traitement non conservateur d'un anévrisme distal de l'artère cérébrale postérieure gauche (segment P4), petit (5 mm)

mais fusiforme. La procédure a consisté en une embolisation segmentaire de l'artère porteuse sans déficit neurologique grâce à une très bonne reprise en charge de la distalité de l'artère pariéto-occipitale gauche par les anastomoses leptoméningées.

2.4.2. Sécurité et efficacité comparatives des différentes approches techniques du traitement endovasculaire des anévrysmes intra-crâniens non rompus

Présentée dans les « Généralités », l'étude ISUIA 2 [7] a entraîné un changement en faveur du traitement endovasculaire dans la prise en charge des anévrysmes intra-crâniens non rompus. En effet, elle mettait en évidence des taux globaux de morbidité et de mortalité plus faibles en cas de traitement endovasculaire (7,1 – 9,8 % à 1 an) qu'en cas de chirurgie ouverte (10,1 – 12,6 % à 1 an).

Au sein de la palette des différentes techniques endovasculaires, le choix doit être réalisé en fonction de la configuration anévrysmale mais aussi de données scientifiques sur la sécurité et l'efficacité comparatives de ces techniques, en tenant compte du terrain (âge, état général et éventuelles comorbidités du patient).

2.4.2.1. Coiling

Dans l'étude de Gallas et al. publiée en 2008 [87], le coiling était associé à une mortalité per et post-procédurale d'1,7 % et à un taux de morbidité (déficit neurologique permanent) de 7,7 %. L'efficacité de la technique était élevée avec respectivement 68,5 % d'occlusion complète, 27,8 % d'occlusion subtotale et 3,7 % d'occlusion incomplète sur l'artériographie post-procédure immédiate et 69,5 % d'occlusion complète, 28,7 % d'occlusion subtotale et 1,8 % d'occlusion incomplète sur l'artériographie de suivi finale (suivi de 6 à 72 mois, avec une moyenne de 38 mois).

Lors du traitement par coiling, les deux principales complications observées sont les événements thrombo-emboliques et les ruptures anévrysmales per-procédures, avec des taux respectifs de 7,3 et 2,0 % selon les données de l'étude ATENA (Analysis of Treatment by Endovascular approach of Nonruptured Aneurysms) [92].

Ces données sont concordantes avec celles de notre étude.

Sur le long terme, l'efficacité du coiling est nuancée par un taux de recanalisation anévrysmale de 20,8 % avec nécessité d'un retraitement pour 10,3 % des anévrysmes selon Ferns et al. [93]

Un suivi prolongé par artériographie et/ou par angio-IRM est donc important, même si la significativité clinique des recanalisations demeure difficile à apprécier.

2.4.2.2. Remodeling

Compte tenu de l'utilisation supplémentaire d'un ballon, le remodeling présente un rapport sécurité / efficacité différent de celui du coiling.

A partir des données de l'étude prospective multicentrique ATENA [92], Pierot et al. ont identifié que le remodeling était associé à une mortalité per et post-procédurale et à un taux de morbidité (déficit neurologique permanent) comparables à ceux du traitement standard par coiling, respectivement à 1,4 % (versus 0,9 % pour le coiling) et 2,3 % (versus 2,2 % pour le coiling) [94]. A nouveau, les deux principales complications observées étaient les événements thrombo-emboliques avec un taux de 5,4 % (versus 6,2 % pour le coiling, avec des conséquences cliniques comparables) et les ruptures anévrysmales per-procédures avec un taux de 3,2 % (versus 2,2 % pour le coiling), correspondant à des conséquences cliniques défavorables plus fréquentes (1,4 % versus 0,6 % en cas de coiling).

Dans la série ATENA [92, 94], l'efficacité du remodeling était comparable à celle du coiling : 59,8 % d'occlusion complète, 20,1 % d'occlusion subtotale et 20,1 % d'occlusion incomplète versus respectivement 59,8 %, 24,3 % et 16,0 % pour le coiling sur l'artériographie post-procédure immédiate.

Dans une revue de la littérature de Shapiro et al. [95], le remodeling était plus efficace que le coiling avec 73 % d'occlusion complète, 22 % d'occlusion subtotale et 5 % d'occlusion incomplète sur l'artériographie post-procédure immédiate (versus respectivement 49 %, 39 % et 13 % pour le coiling) et 72 % d'occlusion complète, 17 % d'occlusion subtotale et 10 % d'occlusion incomplète sur l'artériographie de suivi finale (suivi à au moins 6 mois) (versus respectivement 54 %, 34 % et 11 % pour le coiling).

Nos résultats sont cohérents avec ces données de la littérature, avec une sécurité clinique du remodeling légèrement légèrement moins bonne mais une efficacité plus élevée.

2.4.2.3. Stenting

A la différence du coiling standard, la mise en place d'un stent dans l'artère porteuse expose à un risque de thrombose intra-stent. C'est pourquoi une anti-agrégation plaquettaire est indispensable, en pré comme en post-procédure.

Les études comparant directement la sécurité et l'efficacité du stenting versus coiling standard sont rares. De plus, elles sont souvent limitées par leurs faibles effectifs et des

différences significatives entre les anévrysmes traités dans chaque bras de technique (taille, largeur du collet, configuration anévrysmale avec une bifurcation ou un siège sur une paroi latérale...).

L'étude monocentrique rétrospective de Piotin et al. [66] constitue une des plus grosses séries comparatives publiées avec 1 137 patients porteurs de 1 325 anévrysmes traités par stenting (216 anévrysmes) ou sans stenting (1 109 anévrysmes). La mortalité associée à la procédure était plus élevée dans le groupe stenting (4,6 %) que dans le groupe sans stenting (1,2 %) de manière statistiquement significative ($p = 0,006$). Même si le résultat n'était pas statistiquement significatif ($p = 0,644$), le stenting était associé à des taux plus élevés de complications neurologiques permanentes liées à la procédure (7,4 % versus 3,8 %). En revanche, il existait un taux de recanalisation plus faible dans le groupe stenting (14,9 %) que dans le groupe sans stenting (33,5 %) de manière statistiquement significative ($p < 0,0001$), sachant que 52,7 % des patients du groupe stenting et 69,8 % de ceux du groupe sans stenting avaient pu bénéficier d'un suivi angiographique. Cependant, cette étude incluait de nombreux anévrysmes intra-crâniens rompus et les anévrysmes étaient significativement différents entre les 2 bras de traitements. De plus, les anévrysmes traités sans stenting étaient parfois traités par remodeling, technique qui comporte un profil de sécurité et d'efficacité différent du coiling standard, comme nous l'avons souligné dans le paragraphe « 2.4.2.2. Remodeling ».

Parmi les études évaluant la sécurité et l'efficacité du stenting, la plupart sont réalisées de manière non comparative avec une technique de référence (coiling standard). Malgré cela, elles apportent des données de sécurité et d'efficacité intéressantes.

Ainsi, une revue de la littérature publiée en 2012 par Shapiro et al. [96] associait au coiling un taux de mortalité péri-procédurale de 2,1 %, un taux de complications global de 19 % et des taux de complications thrombo-emboliques, techniques et hémorragiques de 10 %, 9 % et 2,2 % respectivement. Néanmoins, une occlusion immédiate complète était obtenue pour 45 % des anévrysmes, ce taux d'occlusion complète atteignant même 61 % dans le cadre du suivi angiographique. Le suivi angiographique identifiait une sténose intra-stent dans 3,5 % des cas et une occlusion du stent dans 0,6 % des cas, associées à la survenue d'un épisode clinique d'accident vasculaire cérébral ischémique ou d'accident ischémique transitoire chez 3 % des sujets. Shapiro et al. mettaient en évidence une « courbe d'apprentissage » avec un taux de morbi-mortalité significativement plus élevé pour les 10 premiers patients traités par stenting que pour les suivants dans un sous-groupe d'articles.

En évaluant le stent auto-expansible à cellules ouvertes Neuroform (Stryker Neurovascular, Fremont, California, USA), l'étude multicentrique française prospective et consécutive SENAT (Safety and Efficacy of Neuroform for Treatment of intracranial Aneurysms) a contribué à l'évaluation de la sécurité et de l'efficacité du stenting conventionnel [97]. Elle incluait 107 patients porteurs de 107 anévrysmes non rompus, traités par stenting Neuroform. En termes de sécurité, les taux de mortalité et de morbidité permanente étaient tous deux d'1 % ; les taux de complications thrombo-emboliques étaient de 3,7 % en péri-procédural et de 3 % en retardé. L'efficacité était élevée avec un taux d'occlusion complète de 66,4 % en post-procédure, ce taux augmentant de 14 % lors du suivi à 12-18 mois. Le taux de recanalisation anévrysmale était de 9,7 %, nécessitant un retraitement de 4 % des anévrysmes.

Les résultats de notre série concordent avec ceux des études publiées, en démontrant une supériorité du stenting par rapport au coiling standard en termes d'efficacité : taux d'occlusion complète plus élevé et taux de recanalisation plus faible.

Dans notre série, le profil de sécurité du stenting apparaît moins bon que dans les données de la littérature, avec un taux de complications plus élevé. Cependant, le faible nombre de patients traités par stenting (6 patients) dans notre travail fait relativiser ce résultat défavorable.

Enfin, contrairement à la plupart des autres travaux publiés, notre étude présente l'intérêt tout particulier de ne porter que sur des anévrysmes intra-crâniens non rompus. En effet, la rupture anévrysmale pourrait constituer un facteur de confusion vis-à-vis du risque de complications ischémiques (par mécanisme thrombo-embolique voire de vasospasme) et hémorragiques mais aussi vis-à-vis du risque de recanalisation.

2.4.2.4. Stents à diversion de flux

Par son évaluation du stent à diversion de flux Pipeline Embolization Device (PED ; ev3/Covidien, Irvine, California, USA) dans le traitement des anévrysmes intra-crâniens de configurations complexes de l'artère carotide interne, l'essai clinique multicentrique international mené par Becske et al. a apporté d'importantes données sur la sécurité et l'efficacité des stents à diversion de flux [98]. Dans cette série, 108 patients ont été traités pour 108 anévrysmes intra-crâniens non rompus (ou non récemment rompus) de configurations complexes (larges, géants, à collet large). La sécurité était acceptable avec un taux de mortalité de 2,8 % et un critère de jugement composite de 5,6 % d'« accident vasculaire cérébral ischémique homolatéral majeur ou de mort encéphalique ». Pour une

faisabilité technique de 99,1 %, l'efficacité était élevée avec 73,6 % d'occlusion complète à 180 jours, sans sténose majeure de l'artère porteuse ni utilisation de coil.

Publiée en 2015, l'étude de Iosif et al. mettait en garde quant à la survenue de complications ischémiques plus fréquentes qu'attendues, bien que le plus souvent infra-cliniques [9]. Ces complications survenaient parfois tardivement, dans des territoires correspondant essentiellement à des branches perforantes (de petit calibre) et à des branches collatérales couvertes (événements aspiratifs et de compétition de flux).

Par ailleurs, l'étude RADAR (Retrospective Analysis of Delayed Aneurysm Ruptures after flow diversion) [99] a mis en évidence une rupture anévrysmale différée chez 1 % des patients avec pour principaux facteurs associés la taille importante de l'anévrysme (anévrysmes larges et géants), le ratio Aspect élevé et le caractère symptomatique de l'anévrysme. Selon les auteurs, les mécanismes de ces ruptures différées pourraient correspondre à des modifications hémodynamiques intra-anévrysmales brutales à l'origine de contraintes focales ou augmentées sur la paroi anévrysmale [100] ou à des événements inflammatoires lors de la formation du thrombus intra-anévrysmal [101].

Enfin, l'étude RADAR identifiait aussi une hémorragie intra-parenchymateuse homolatérale différée chez 1,9 % des patients [99]. Les mécanismes d'un tel phénomène demeurent très hypothétiques.

En accord avec les données de la littérature, notre étude confirme l'efficacité élevée et la sécurité acceptable des stents à diversion de flux dans le traitement des anévrysmes intra-crâniens de configuration complexe.

De plus, notre étude souligne le délai nécessaire pour l'obtention d'une occlusion anévrysmale complète en cas de stent à diversion de flux à travers l'amélioration statistiquement significative du résultat angiographique à 6 mois.

Compte tenu du positionnement du stent à diversion de flux dans l'artère porteuse, une prévention des événements thrombo-emboliques est nécessaire, par anti-agrégation plaquettaire pré et post-procédurale.

Il faut souligner qu'aucune rupture anévrysmale différée n'est survenue après mise en place de stent à diversion de flux dans notre série, possiblement du fait de l'association systématique d'un coiling avant la mise en place du stent à diversion de flux.

2.4.2.5. Dispositifs de perturbation de flux

Les études cliniques publiées sur les dispositifs de perturbation de flux sont encore rares, portant essentiellement sur le dispositif WEB (Sequent Medical Inc, Aliso Viejo, California, USA).

Dans une série rétrospective multicentrique de Pierot et al. portant sur 20 patients porteurs de 21 anévrysmes [102], la sécurité était élevée avec un taux de mortalité lié au traitement nul (0 %) et un taux de morbidité acceptable (4,8 %, du fait d'une complication thrombo-embolique chez un patient, qui avait récupéré un mRS 0 à 3 mois). L'efficacité aussi était bonne avec un taux d'occlusion complète de 46,7 % et un collet résiduel dans 33,3 % des cas lors du suivi artériographique entre 3 et 12 mois après le traitement.

Les résultats de l'étude prospective monocentrique de Lubicz et al. étaient semblables sur 19 patients porteurs de 20 anévrysmes intra-crâniens de bifurcation à collet large et non rompus [103]. Ainsi, le taux de mortalité lié au traitement était nul (0 %) et le taux de morbidité demeurait correct (11,1 %, du fait d'une rupture anévrysmale per-procédure avec hémiparésie résiduelle chez un patient et d'une complication thrombo-embolique cliniquement résolutive chez un 2nd patient). L'efficacité était plus modeste avec un taux d'occlusion complète de 10,5 % et un collet résiduel dans 78,9 % des cas lors du suivi artériographique après le traitement (en moyenne à 6 mois).

Dans notre série, un seul dispositif de perturbation de flux a été utilisé, de type Luna (NFocus Neuromedical, Palo Alto, California, USA). Le résultat n'est donc pas statistiquement significatif. Cependant, il concorde tout à fait avec les données de la littérature compte tenu de l'absence de mortalité et de morbidité et d'une efficacité nuancée par un collet résiduel lors de l'artériographie de contrôle à 6 mois.

2.4.2.6. Techniques très complexes

Dans l'étude de Bartolini et al. [90], les techniques très complexes de stenting en Y (ou en X) constituaient un choix thérapeutique efficace (85,8 % d'occlusion anévrysmale complète avec une durée moyenne de suivi angiographique de 17 mois) mais risqué (1 % de décès et 10 % de déficits neurologiques permanents liés à la procédure).

Les données rapportées par Yavuz et al. [89] étaient un peu plus favorables avec un taux de mortalité de 0,5 % et un taux de complications liées à la procédure de 2,7 % pour un taux d'occlusion complète de 93,6 % (lors du contrôle angiographique réalisé entre 6 mois et 2 ans après le traitement).

Dans notre travail, les taux d'occlusion complète à 6 mois étaient plus élevés que dans la littérature (100 %). En revanche, le taux de complications liées à la procédure était élevé.

En réalité, la comparabilité des études relatives aux traitements très complexes est limitée par l'hétérogénéité des stents employés. En effet, certaines équipes emploient 2 stents à cellules fermées, d'autres 2 stents à cellules ouvertes... Notre équipe associe un stent à cellules ouvertes et un stent à cellules fermées.

2.4.2.7. Agents liquides

L'essai clinique CAMEO (Cerebral Aneurysm Multicenter European Onyx) [91] identifiait un bon profil de sécurité et d'efficacité de l'Onyx (Covidien/EV3, Irvine, California, USA) sous protection par un ballon de remodeling dans le traitement des anévrysmes intra-crâniens difficilement accessibles aux autres techniques. Après traitement de 97 patients porteurs de 100 anévrysmes intra-crâniens (rompus ou non), larges ou géants dans 79 % des cas, le taux de mortalité liée à la procédure était de 2,1 % et celui de morbidité neurologique permanente (à 12 mois) liée à la procédure de 8,2 %. Lors du suivi angiographique à 12 mois, les taux d'occlusions complète, subtotale et incomplète étaient respectivement de 79 %, 13 % et 8 %.

Cependant, les auteurs constataient une occlusion différée de l'artère porteuse chez 9,3 % des patients, asymptomatique dans la majorité des cas mais à l'origine d'un déficit neurologique permanent chez 22,2 % de ces patients (soit 2,1 % de l'ensemble des patients traités).

Ces événements de sténoses voire occlusions différées de l'artère porteuse (probablement liées à une fuite d'Onyx) ont mis à mal le développement de cette indication de l'Onyx [104], de même que des événements de majoration de l'effet de masse des anévrysmes larges et géants (après remplissage des sacs par l'Onyx).

Dans notre série, conformément aux données de la littérature, les agents liquides étaient rarement utilisés (3 patients), essentiellement dans le cadre de ruptures anévrysmales per-procédurales (2 patients).

Malgré le caractère non statistiquement significatif des résultats correspondants, le profil de sécurité et d'efficacité de leur utilisation était excellent avec un taux de mortalité globale de 0 %, un taux de morbidité neurologique permanente (à 6 mois) de 0 % et un taux d'occlusion complète de 100 % lors du suivi angiographique à 6 mois.

Notre étude illustre aussi une utilisation originale et pertinente de l'Onyx. En effet, un anévrysmes carotido-ophtalmique droit, large (19 mm), à collet large (7 mm, avec un score

Aspect de 2,1 du fait d'une hauteur de 15 mm) a bénéficié d'un traitement par 2 stents à diversion de flux en configuration télescopique et 2 ml d'Onyx 18 sous protection par un ballon de remodeling. Cette utilisation de l'Onyx avait pour objectif prévenir le risque de rupture anévrysmale différée détaillé dans le paragraphe « 2.4.2.4. Stents à diversion de flux ». En effet, il s'agissait d'une configuration particulièrement à risque de rupture anévrysmale différée compte tenu de la potentialisation du phénomène de diversion de flux par la disposition des stents en télescopique et de la présence de 2 facteurs de risque identifiés dans l'étude RADAR (Retrospective Analysis of Delayed Aneurysm Ruptures after flow diversion) : taille importante de l'anévrysme (anévrysmes larges et géants) et le ratio Aspect élevé [99]. Ce cas fait actuellement l'objet d'un travail de publication par l'équipe.

2.4.2.8. Analyse transversale de la sécurité et de l'efficacité des différentes techniques

Dans notre travail, conformément aux données de la littérature, l'efficacité des techniques très complexes était meilleure que celle des autres techniques (en évaluant l'efficacité à travers le taux d'occlusion complète lors de l'artériographie de contrôle à 6 mois). Malgré l'absence de différence statistiquement significative, l'efficacité des techniques de coiling assisté par stent ou par ballonnet était aussi meilleure que celle du coiling standard.

En revanche, il n'y avait pas de différence statistiquement significative dans la survenue de complications liées à la procédure en fonction du groupe de technique. Malgré cette absence de différence statistiquement significative, le taux de complication était plus bas pour le coiling standard que pour les autres techniques, notamment de coiling assisté par stent ou par ballonnet et les techniques très complexes.

En post-procédure comme lors du contrôle à 6 mois, les IRM ne mettaient pas non plus en évidence de différence statistiquement significative entre les techniques de traitement dans la survenue de lésions ischémiques.

De fait, nos résultats invitent à considérer la gamme de techniques la plus large possible. Dans une équipe ayant une bonne maîtrise des techniques très complexes, nos résultats incitent à employer ces techniques très complexes lorsque la configuration anévrysmale le requiert. En effet, une telle expertise permet de bénéficier de l'efficacité élevée de ces techniques, sans sur-risque avéré de complication clinique ou de lésion ischémique en IRM.

De plus, notre travail met en évidence une efficacité plus élevée en cas de retraitement, sans augmentation statistiquement significative de la morbi-mortalité. Un tel résultat est un argument fort en faveur d'un retraitement en cas de recanalisation. Ce résultat pourrait être dû à un recours à des techniques plus sophistiquées en cas de retraitement (coiling assisté par ballonnet ou par stent, stenting à diversion de flux...), elles-mêmes associées à de meilleurs résultats angiographiques.

Par ailleurs, à travers la fréquence des événements thrombo-emboliques, notre travail souligne l'importance des traitements adjuvants (anticoagulants et anti-agrégants plaquettaires) et de leur gestion rigoureuse. La préparation préalable des patients au Clopidogrel et la recherche systématique de résistance au Clopidogrel par test VerifyNow Rapid Platelet Function Assay (Accumetrics, San Diego, California, USA) contribuent peut-être à réduire les écarts de taux de complications cliniques et de lésions ischémiques en IRM entre les différentes techniques, notamment en réduisant les taux correspondants pour les techniques très complexes, les techniques de coiling assistées par stent, les techniques de coiling assistées par stent à bas profil et le stenting à diversion de flux.

Enfin, les données de notre étude confirment l'intérêt de l'IRM dans l'évaluation des profils de sécurité des traitements endovasculaires [8]. En effet, la réalisation systématique d'IRM met en évidence que les complications ischémiques sont plus fréquentes qu'attendues cliniquement en étant souvent infra-cliniques et parfois différées. Ce décalage entre l'examen clinique et l'IRM amène à s'interroger : ces lésions ischémiques découvertes en IRM sont-elles si asymptomatiques que cela sur le long terme ?

2.4.3. Limites de notre étude

Il existait des différences statistiquement significatives entre les anévrysmes intracrâniens des différents groupes de techniques. Ceci pourrait limiter la comparabilité des profils de sécurité et d'efficacité des différentes techniques. Cependant, le choix de la technique de traitement n'est pas aléatoire. En effet, il intègre notamment la configuration anévrysmale et le terrain du patient (comorbidités, observance d'une anti-agrégation au long cours...). De fait, l'exigence d'une comparabilité initiale des anévrysmes n'est pas forcément pertinente.

De plus, cette cohorte correspond à un travail monocentrique, dans un centre expert. De fait, les résultats d'efficacité et surtout de sécurité pourraient varier dans d'autres centres,

dans lesquels les médecins opérateurs seraient en première partie de courbe d'apprentissage, notamment pour les techniques très complexes.

Conclusion

Quelle que soit la technique endovasculaire utilisée, les lésions ischémiques sont plus fréquentes en IRM qu'attendues cliniquement car elles sont souvent infra-cliniques et parfois différées. Ces résultats confirment l'intérêt de l'IRM dans l'évaluation des profils de sécurité des traitements endovasculaires.

A travers cette cohorte prospective, notre étude démontre aussi la faisabilité très élevée du traitement endovasculaire des anévrysmes intra-crâniens non rompus (100 %), grâce à une large gamme d'approches techniques. En s'appuyant sur une méthodologie homogène, ce travail apporte des données actualisées sur les profils de sécurité et d'efficacité des techniques courantes de traitement endovasculaire.

Ainsi, l'efficacité particulièrement élevée des techniques très complexes (stenting en Y ou en T) avec une sécurité comparable aux autres techniques incite à utiliser ces techniques très complexes.

De même, l'efficacité plus élevée en cas de retraitement, sans augmentation statistiquement significative de la morbi-mortalité constitue un argument fort en faveur d'un retraitement en cas de recanalisation.

Par ailleurs, à travers la fréquence des événements thrombo-emboliques, notre travail souligne l'importance des traitements adjuvants (anticoagulants et anti-agrégants plaquettaires) et de leur gestion rigoureuse avec recherche systématique de résistance au Clopidogrel par tests biologiques.

Enfin, cette série d'anévrysmes intra-crâniens non rompus constitue une source particulièrement intéressante pour l'information préalable des patients dans le cadre des traitements programmés.

Références bibliographiques

1. Vernooij, M.W., et al., *Incidental findings on brain MRI in the general population*. N Engl J Med, 2007. **357**(18): p. 1821-8.
2. Vlak, M.H., et al., *Prevalence of unruptured intracranial aneurysms, with emphasis on sex, age, comorbidity, country, and time period: a systematic review and meta-analysis*. Lancet Neurol, 2011. **10**(7): p. 626-36.
3. Hop, J.W., et al., *Case-fatality rates and functional outcome after subarachnoid hemorrhage: a systematic review*. Stroke, 1997. **28**(3): p. 660-4.
4. Phillips, T.J., et al., *Does treatment of ruptured intracranial aneurysms within 24 hours improve clinical outcome?* Stroke, 2011. **42**(7): p. 1936-45.
5. Murayama, Y., et al., *Risk Analysis of Unruptured Intracranial Aneurysms: Prospective 10-Year Cohort Study*. Stroke, 2016. **47**(2): p. 365-71.
6. *Unruptured intracranial aneurysms--risk of rupture and risks of surgical intervention. International Study of Unruptured Intracranial Aneurysms Investigators*. N Engl J Med, 1998. **339**(24): p. 1725-33.
7. Wiebers, D.O., et al., *Unruptured intracranial aneurysms: natural history, clinical outcome, and risks of surgical and endovascular treatment*. Lancet, 2003. **362**(9378): p. 103-10.
8. Biondi, A., et al., *Cerebral aneurysms treated by Guglielmi detachable coils: evaluation with diffusion-weighted MR imaging*. AJNR Am J Neuroradiol, 2000. **21**(5): p. 957-63.
9. Iosif, C., et al., *Diffusion-weighted imaging-detected ischemic lesions associated with flow-diverting stents in intracranial aneurysms: safety, potential mechanisms, clinical outcome, and concerns*. J Neurosurg, 2015. **122**(3): p. 627-36.
10. Caroff, J., et al., *Flow-Diverter Stents for the Treatment of Saccular Middle Cerebral Artery Bifurcation Aneurysms*. AJNR Am J Neuroradiol, 2016. **37**(2): p. 279-84.
11. Kaminogo, M., M. Yonekura, and S. Shibata, *Incidence and outcome of multiple intracranial aneurysms in a defined population*. Stroke, 2003. **34**(1): p. 16-21.
12. Labovitz, D.L., et al., *Subarachnoid hemorrhage incidence among Whites, Blacks and Caribbean Hispanics: the Northern Manhattan Study*. Neuroepidemiology, 2006. **26**(3): p. 147-50.
13. Alg, V.S., et al., *Genetic risk factors for intracranial aneurysms: a meta-analysis in more than 116,000 individuals*. Neurology, 2013. **80**(23): p. 2154-65.
14. Wills, S., et al., *Familial intracranial aneurysms: an analysis of 346 multiplex Finnish families*. Stroke, 2003. **34**(6): p. 1370-4.
15. Onda, H., et al., *Genomewide-linkage and haplotype-association studies map intracranial aneurysm to chromosome 7q11*. Am J Hum Genet, 2001. **69**(4): p. 804-19.
16. Hashikata, H., et al., *Confirmation of an association of single-nucleotide polymorphism rs1333040 on 9p21 with familial and sporadic intracranial aneurysms in Japanese patients*. Stroke, 2010. **41**(6): p. 1138-44.
17. van der Voet, M., et al., *Intracranial aneurysms in Finnish families: confirmation of linkage and refinement of the interval to chromosome 19q13.3*. Am J Hum Genet, 2004. **74**(3): p. 564-71.
18. Deka, R., et al., *The relationship between smoking and replicated sequence variants on chromosomes 8 and 9 with familial intracranial aneurysm*. Stroke, 2010. **41**(6): p. 1132-7.
19. Foroud, T., et al., *Genome-wide association study of intracranial aneurysms confirms role of Anril and SOX17 in disease risk*. Stroke, 2012. **43**(11): p. 2846-52.
20. Foroud, T., et al., *Genome screen to detect linkage to intracranial aneurysm susceptibility genes: the Familial Intracranial Aneurysm (FIA) study*. Stroke, 2008. **39**(5): p. 1434-40.
21. Pepin, M., et al., *Clinical and genetic features of Ehlers-Danlos syndrome type IV, the vascular type*. N Engl J Med, 2000. **342**(10): p. 673-80.
22. Neil-Dwyer, G., et al., *Collagen deficiency and ruptured cerebral aneurysms. A clinical and biochemical study*. J Neurosurg, 1983. **59**(1): p. 16-20.

23. Conway, J.E., G.M. Hutchins, and R.J. Tamargo, *Marfan syndrome is not associated with intracranial aneurysms*. Stroke, 1999. **30**(8): p. 1632-6.
24. Litchfield, W.R., et al., *Intracranial aneurysm and hemorrhagic stroke in glucocorticoid-remediable aldosteronism*. Hypertension, 1998. **31**(1 Pt 2): p. 445-50.
25. Chiu, D., et al., *Clinical features of moyamoya disease in the United States*. Stroke, 1998. **29**(7): p. 1347-51.
26. Ronkainen, A., et al., *Familial intracranial aneurysms*. Lancet, 1997. **349**(9049): p. 380-4.
27. St Jean, P., et al., *Alpha-1-antitrypsin deficiency in aneurysmal disease*. Hum Hered, 1996. **46**(2): p. 92-7.
28. Broderick, J.P., et al., *Greater rupture risk for familial as compared to sporadic unruptured intracranial aneurysms*. Stroke, 2009. **40**(6): p. 1952-7.
29. Vlak, M.H., et al., *Independent risk factors for intracranial aneurysms and their joint effect: a case-control study*. Stroke, 2013. **44**(4): p. 984-7.
30. Mhurchu, C.N., et al., *Hormonal factors and risk of aneurysmal subarachnoid hemorrhage: an international population-based, case-control study*. Stroke, 2001. **32**(3): p. 606-12.
31. Austin, G., et al., *The significance of the extracellular matrix in intracranial aneurysms*. Ann Clin Lab Sci, 1993. **23**(2): p. 97-105.
32. Wiebers, D.O., et al., *Pathogenesis, natural history, and treatment of unruptured intracranial aneurysms*. Mayo Clin Proc, 2004. **79**(12): p. 1572-83.
33. Starke, R.M., et al., *The role of oxidative stress in cerebral aneurysm formation and rupture*. Curr Neurovasc Res, 2013. **10**(3): p. 247-55.
34. Ducruet, A.F., et al., *Intracranial infectious aneurysms: a comprehensive review*. Neurosurg Rev, 2010. **33**(1): p. 37-46.
35. Raps, E.C., et al., *The clinical spectrum of unruptured intracranial aneurysms*. Arch Neurol, 1993. **50**(3): p. 265-8.
36. Friedman, J.A., et al., *Small cerebral aneurysms presenting with symptoms other than rupture*. Neurology, 2001. **57**(7): p. 1212-6.
37. Connolly, E.S., Jr., et al., *Guidelines for the management of aneurysmal subarachnoid hemorrhage: a guideline for healthcare professionals from the American Heart Association/American Stroke Association*. Stroke, 2012. **43**(6): p. 1711-37.
38. van Gelder, J.M., *Computed tomographic angiography for detecting cerebral aneurysms: implications of aneurysm size distribution for the sensitivity, specificity, and likelihood ratios*. Neurosurgery, 2003. **53**(3): p. 597-605; discussion 605-6.
39. Menke, J., J. Larsen, and K. Kallenberg, *Diagnosing cerebral aneurysms by computed tomographic angiography: meta-analysis*. Ann Neurol, 2011. **69**(4): p. 646-54.
40. Li, M.H., et al., *Contrast-free MRA at 3.0 T for the detection of intracranial aneurysms*. Neurology, 2011. **77**(7): p. 667-76.
41. Edjlali, M., et al., *Advanced technologies applied to physiopathological analysis of central nervous system aneurysms and vascular malformations*. Diagn Interv Imaging, 2014. **95**(12): p. 1187-93.
42. Chang, W., M. Huang, and A. Chien, *Emerging techniques for evaluation of the hemodynamics of intracranial vascular pathology*. Neuroradiol J, 2015. **28**(1): p. 19-27.
43. Futami, K., et al., *Identification of the inflow zone of unruptured cerebral aneurysms: comparison of 4D flow MRI and 3D TOF MRA data*. AJNR Am J Neuroradiol, 2014. **35**(7): p. 1363-70.
44. Roos, E.J., et al., *The relation between aneurysm size and outcome in patients with subarachnoid hemorrhage*. Neurology, 2000. **54**(12): p. 2334-6.
45. Bederson, J.B., et al., *Guidelines for the management of aneurysmal subarachnoid hemorrhage: a statement for healthcare professionals from a special writing group of the Stroke Council, American Heart Association*. Stroke, 2009. **40**(3): p. 994-1025.
46. Bor, A.S., et al., *Optimal screening strategy for familial intracranial aneurysms: a cost-effectiveness analysis*. Neurology, 2010. **74**(21): p. 1671-9.
47. Rankin, J., *Cerebral vascular accidents in patients over the age of 60. II. Prognosis*. Scott Med J, 1957. **2**(5): p. 200-15.

48. van Swieten, J.C., et al., *Interobserver agreement for the assessment of handicap in stroke patients*. Stroke, 1988. **19**(5): p. 604-7.
49. Johnston, S.C., et al., *Surgical and endovascular treatment of unruptured cerebral aneurysms at university hospitals*. Neurology, 1999. **52**(9): p. 1799-805.
50. Johnston, S.C., et al., *Treatment of unruptured cerebral aneurysms in California*. Stroke, 2001. **32**(3): p. 597-605.
51. Lee, T., et al., *Aggregate analysis of the literature for unruptured intracranial aneurysm treatment*. AJNR Am J Neuroradiol, 2005. **26**(8): p. 1902-8.
52. Brinjikji, W., et al., *Effect of age on outcomes of treatment of unruptured cerebral aneurysms: a study of the National Inpatient Sample 2001-2008*. Stroke, 2011. **42**(5): p. 1320-4.
53. Alsheklee, A., et al., *Hospital mortality and complications of electively clipped or coiled unruptured intracranial aneurysm*. Stroke, 2010. **41**(7): p. 1471-6.
54. Molyneux, A.J., et al., *International subarachnoid aneurysm trial (ISAT) of neurosurgical clipping versus endovascular coiling in 2143 patients with ruptured intracranial aneurysms: a randomised comparison of effects on survival, dependency, seizures, rebleeding, subgroups, and aneurysm occlusion*. Lancet, 2005. **366**(9488): p. 809-17.
55. Dott, N.M., *Intracranial aneurysms cerebral arterio-radiography and surgical treatment*. Edinb Med J, 1933. **40**: p. 219-34.
56. Dandy, W.E., *Intracranial Aneurysm of the Internal Carotid Artery: Cured by Operation*. Ann Surg, 1938. **107**(5): p. 654-9.
57. Krayenbuhl, H.A., et al., *Microsurgical treatment of intracranial saccular aneurysms*. J Neurosurg, 1972. **37**(6): p. 678-86.
58. Guglielmi, G., et al., *Electrothrombosis of saccular aneurysms via endovascular approach. Part 1: Electrochemical basis, technique, and experimental results*. J Neurosurg, 1991. **75**(1): p. 1-7.
59. Guglielmi, G., et al., *Electrothrombosis of saccular aneurysms via endovascular approach. Part 2: Preliminary clinical experience*. J Neurosurg, 1991. **75**(1): p. 8-14.
60. Moret, J., et al., *The "Remodelling Technique" in the Treatment of Wide Neck Intracranial Aneurysms. Angiographic Results and Clinical Follow-up in 56 Cases*. Interv Neuroradiol, 1997. **3**(1): p. 21-35.
61. Wakhloo, A.K., et al., *Stents for intracranial aneurysms: the beginning of a new endovascular era?* Neurosurgery, 1998. **43**(2): p. 377-9.
62. Mericle, R.A., et al., *Stenting and secondary coiling of intracranial internal carotid artery aneurysm: technical case report*. Neurosurgery, 1998. **43**(5): p. 1229-34.
63. Wakhloo, A.K., et al., *Stent-assisted reconstructive endovascular repair of cranial fusiform atherosclerotic and dissecting aneurysms: long-term clinical and angiographic follow-up*. Stroke, 2008. **39**(12): p. 3288-96.
64. Murayama, Y., et al., *Guglielmi detachable coil embolization of cerebral aneurysms: 11 years' experience*. J Neurosurg, 2003. **98**(5): p. 959-66.
65. Brilstra, E.H., et al., *Treatment of intracranial aneurysms by embolization with coils: a systematic review*. Stroke, 1999. **30**(2): p. 470-6.
66. Pötin, M., et al., *Stent-assisted coiling of intracranial aneurysms: clinical and angiographic results in 216 consecutive aneurysms*. Stroke, 2010. **41**(1): p. 110-5.
67. Brinjikji, W., et al., *Endovascular treatment of very small (3 mm or smaller) intracranial aneurysms: report of a consecutive series and a meta-analysis*. Stroke, 2010. **41**(1): p. 116-21.
68. Singh, V., et al., *The learning curve for coil embolization of unruptured intracranial aneurysms*. AJNR Am J Neuroradiol, 2002. **23**(5): p. 768-71.
69. Pelz, D.M., S.P. Lownie, and A.J. Fox, *Thromboembolic events associated with the treatment of cerebral aneurysms with Guglielmi detachable coils*. AJNR Am J Neuroradiol, 1998. **19**(8): p. 1541-7.
70. Derdeyn, C.P., et al., *Postprocedure ischemic events after treatment of intracranial aneurysms with Guglielmi detachable coils*. J Neurosurg, 2002. **96**(5): p. 837-43.

71. Ross, I.B. and G.S. Dhillon, *Complications of endovascular treatment of cerebral aneurysms*. Surg Neurol, 2005. **64**(1): p. 12-8; discussion 18-9.
72. Soeda, A., et al., *Thromboembolic events associated with Guglielmi detachable coil embolization of asymptomatic cerebral aneurysms: evaluation of 66 consecutive cases with use of diffusion-weighted MR imaging*. AJNR Am J Neuroradiol, 2003. **24**(1): p. 127-32.
73. Rordorf, G., et al., *Silent thromboembolic events associated with the treatment of unruptured cerebral aneurysms by use of Guglielmi detachable coils: prospective study applying diffusion-weighted imaging*. AJNR Am J Neuroradiol, 2001. **22**(1): p. 5-10.
74. Cloft, H.J. and D.F. Kallmes, *Cerebral aneurysm perforations complicating therapy with Guglielmi detachable coils: a meta-analysis*. AJNR Am J Neuroradiol, 2002. **23**(10): p. 1706-9.
75. Friedman, J.A., et al., *Guglielmi detachable coil treatment of ruptured saccular cerebral aneurysms: retrospective review of a 10-year single-center experience*. AJNR Am J Neuroradiol, 2003. **24**(3): p. 526-33.
76. Cognard, C., et al., *Intracranial berry aneurysms: angiographic and clinical results after endovascular treatment*. Radiology, 1998. **206**(2): p. 499-510.
77. Raymond, J., et al., *Long-term angiographic recurrences after selective endovascular treatment of aneurysms with detachable coils*. Stroke, 2003. **34**(6): p. 1398-403.
78. Roy, D., G. Milot, and J. Raymond, *Endovascular treatment of unruptured aneurysms*. Stroke, 2001. **32**(9): p. 1998-2004.
79. Slob, M.J., M. Sluzewski, and W.J. van Rooij, *The relation between packing and reopening in coiled intracranial aneurysms: a prospective study*. Neuroradiology, 2005. **47**(12): p. 942-5.
80. Byrne, J.V., et al., *Five-year experience in using coil embolization for ruptured intracranial aneurysms: outcomes and incidence of late rebleeding*. J Neurosurg, 1999. **90**(4): p. 656-63.
81. Brinjikji, W., H.J. Cloft, and D.F. Kallmes, *Difficult aneurysms for endovascular treatment: overwide or undertall?* AJNR Am J Neuroradiol, 2009. **30**(8): p. 1513-7.
82. Chalouhi, N., et al., *Safety and efficacy of endovascular treatment of basilar tip aneurysms by coiling with and without stent assistance: a review of 235 cases*. Neurosurgery, 2012. **71**(4): p. 785-94.
83. O'Kelly, C.J., et al., *A novel grading scale for the angiographic assessment of intracranial aneurysms treated using flow diverting stents*. Interv Neuroradiol, 2010. **16**(2): p. 133-7.
84. Tatu, L., et al., *Arterial territories of the human brain*. Front Neurol Neurosci, 2012. **30**: p. 99-110.
85. Bouthillier, A., H.R. van Loveren, and J.T. Keller, *Segments of the internal carotid artery: a new classification*. Neurosurgery, 1996. **38**(3): p. 425-32; discussion 432-3.
86. Gallas, S., et al., *A multicenter study of 705 ruptured intracranial aneurysms treated with Guglielmi detachable coils*. AJNR Am J Neuroradiol, 2005. **26**(7): p. 1723-31.
87. Gallas, S., et al., *Feasibility, procedural morbidity and mortality, and long-term follow-up of endovascular treatment of 321 unruptured aneurysms*. AJNR Am J Neuroradiol, 2008. **29**(1): p. 63-8.
88. Pierot, L., et al., *Endovascular WEB flow disruption in middle cerebral artery aneurysms: preliminary feasibility, clinical, and anatomical results in a multicenter study*. Neurosurgery, 2013. **73**(1): p. 27-34; discussion 34-5.
89. Yavuz, K., et al., *Double stent-assisted coil embolization treatment for bifurcation aneurysms: immediate treatment results and long-term angiographic outcome*. AJNR Am J Neuroradiol, 2013. **34**(9): p. 1778-84.
90. Bartolini, B., et al., *"Y" and "X" stent-assisted coiling of complex and wide-neck intracranial bifurcation aneurysms*. AJNR Am J Neuroradiol, 2014. **35**(11): p. 2153-8.
91. Molyneux, A.J., et al., *Cerebral Aneurysm Multicenter European Onyx (CAMEO) trial: results of a prospective observational study in 20 European centers*. AJNR Am J Neuroradiol, 2004. **25**(1): p. 39-51.
92. Pierot, L., et al., *Immediate clinical outcome of patients harboring unruptured intracranial aneurysms treated by endovascular approach: results of the ATENA study*. Stroke, 2008. **39**(9): p. 2497-504.
93. Ferns, S.P., et al., *Coiling of intracranial aneurysms: a systematic review on initial occlusion and reopening and retreatment rates*. Stroke, 2009. **40**(8): p. e523-9.

94. Pierot, L., et al., *Endovascular treatment of unruptured intracranial aneurysms: comparison of safety of remodeling technique and standard treatment with coils*. Radiology, 2009. **251**(3): p. 846-55.
95. Shapiro, M., et al., *Safety and efficacy of adjunctive balloon remodeling during endovascular treatment of intracranial aneurysms: a literature review*. AJNR Am J Neuroradiol, 2008. **29**(9): p. 1777-81.
96. Shapiro, M., et al., *Stent-supported aneurysm coiling: a literature survey of treatment and follow-up*. AJNR Am J Neuroradiol, 2012. **33**(1): p. 159-63.
97. Gentric, J.C., et al., *Safety and efficacy of neuroform for treatment of intracranial aneurysms: a prospective, consecutive, French multicentric study*. AJNR Am J Neuroradiol, 2013. **34**(6): p. 1203-8.
98. Becske, T., et al., *Pipeline for uncoilable or failed aneurysms: results from a multicenter clinical trial*. Radiology, 2013. **267**(3): p. 858-68.
99. Kulcsár Z, S.I. *The ESMINT Retrospective Analysis of Delayed Aneurysm Ruptures after flow diversion (RADAR) study*. EJMINT Original Article, 2012: 1244000088 (29th October 2012)
100. Cebal, J.R., et al., *Aneurysm rupture following treatment with flow-diverting stents: computational hemodynamics analysis of treatment*. AJNR Am J Neuroradiol, 2011. **32**(1): p. 27-33.
101. Berge, J., et al., *Perianeurysmal brain inflammation after flow-diversion treatment*. AJNR Am J Neuroradiol, 2011. **32**(10): p. 1930-4.
102. Pierot, L., et al., *Intrasaccular flow-disruption treatment of intracranial aneurysms: preliminary results of a multicenter clinical study*. AJNR Am J Neuroradiol, 2012. **33**(7): p. 1232-8.
103. Lubicz, B., et al., *WEB device for endovascular treatment of wide-neck bifurcation aneurysms*. AJNR Am J Neuroradiol, 2013. **34**(6): p. 1209-14.
104. Carlson, A.P., et al., *Continued concern about parent vessel steno-occlusive progression with Onyx HD-500 and the utility of quantitative magnetic resonance imaging in serial assessment*. Neurosurgery, 2013. **72**(3): p. 341-52; discussion 352.

Table des figures

Figure 1 : Probabilité annuelle d'Hémorragie Sous-Arachnoïdienne (7,5 ans après le diagnostic d'anévrisme intra-crânien non rompu) en fonction du diamètre de l'anévrisme intra-crânien et du groupe (sans ou avec antécédent d'hémorragie sous-arachnoïdienne à partir d'un autre anévrisme).....	31
Figure 2 : Evolution de la probabilité annuelle d'Hémorragie Sous-Arachnoïdienne au cours du temps (à partir du diagnostic d'anévrisme intra-crânien non rompu) en fonction du diamètre de l'anévrisme intra-crânien et du groupe (sans ou avec antécédent d'hémorragie sous-arachnoïdienne à partir d'un autre anévrisme).....	31
Figure 3 : Taux de rupture cumulé sur 5 ans (après le diagnostic d'anévrisme intra-crânien non rompu) en fonction du diamètre et du siège de l'anévrisme intra-crânien et du groupe (sans ou avec antécédent d'hémorragie sous-arachnoïdienne à partir d'un autre anévrisme).....	34
Figure 4 : Evolution de la probabilité annuelle d'Hémorragie Sous-Arachnoïdienne au cours du temps (à partir du diagnostic d'anévrisme intra-crânien non rompu) en fonction du diamètre de l'anévrisme intra-crânien et du groupe (sans ou avec antécédent d'hémorragie sous-arachnoïdienne à partir d'un autre anévrisme).....	34
Figure 5 : Taux globaux de morbidité et de mortalité à 30 jours et à 1 an après le traitement en fonction du type de traitement (chirurgie ouverte ou traitement endovasculaire) et du groupe (sans ou avec antécédent d'hémorragie sous-arachnoïdienne à partir d'un autre anévrisme).....	35
Figure 6 : Pourcentages de patients présentant un mauvais résultat à 1 an après le traitement en fonction du type de traitement (chirurgie ouverte ou traitement endovasculaire), de l'âge, du siège et de la taille de l'anévrisme.....	36
Figure 7 : Pourcentages de morbidité et de mortalité en fonction du type de traitement (clipping ou coiling) et par groupe d'âge.....	38
Figure 8 : Schéma de l'anévrisme et de l'approche opératoire (incision, clipping du collet pour exclusion anévrysmale puis cautérisation du sac anévrysmal).....	40
Figure 9 : Photographies du patient prises avant et 7 mois après l'opération : disparition du ptosis palpébral droit et de la déviation oculaire droite extrême en latéral (dus à la paralysie complète du nerf oculo-moteur droit par la compression extrinsèque de l'anévrisme).....	41
Figure 10 : Schéma d'anévrisme intra-crânien exclu par un clip.....	41
Figure 11 : Proportion cumulée du taux de complications en fonction de l'expérience des praticiens. Le taux de complications diminue avec l'augmentation de l'expérience du médecin, qui est représentée par le nombre de cas que chaque praticien a traité précédemment.....	44
Figure 12 : Coiling.....	50
Figure 13 : Double microcathéter.....	52
Figure 14 : Remodeling.....	54
Figure 15 : Double remodeling (« en kissing »).....	56
Figure 16 : Jailing avec stent conventionnel.....	58
Figure 17 : Stenting en Y.....	61
Figure 18 : Stenting en T.....	65
Figure 19 : Stenting télescopique.....	68
Figure 20 : Stent à diversion Pipeline Embolization Device (PED) (ev3, Irvine, California, USA).....	69
Figure 21 : Stent LVIS (MicroVention/Terumo, Tustin, California, USA).....	73
Figure 22 : Protocole des méthodes d'observation.....	76
Figure 23 : mRS (modified Rankin Scale).....	77

Figure 24 : Echelle O’Kelly-Marotta pour l’évaluation des anévrysmes traités par diversion de flux.	78
Figure 25 : Echelle de Roy-Raymond pour l’évaluation des anévrysmes non traités par diversion de flux.	79
Figure 26 : Dimensions de l’anévrysme avec calculs de ratios.	79
Figure 27 : Extrait de l’atlas anatomique de référence.	84
Figure 28 : Profil de l’étude.	87
Figure 29 : Distribution des scores mRS initiaux (pour chaque score : nombre de patients et pourcentage de l’effectif total).....	88
Figure 30 : Distribution des techniques utilisées en 6 sous-groupes (pour chaque sous-groupe : nombre d’anévrysmes traités et pourcentage de l’effectif total)	90
Figure 31 : Distribution des scores mRS (pour chaque score : nombre de patients et pourcentage de l’effectif total).....	92
Figure 32 : Distribution des scores mRS intermédiaires (entre 3 et 5 jours après le traitement) en cas de pose de stent à diversion de flux (pour chaque score : nombre de patients et pourcentage de l’effectif total)	93
Figure 33 : Distribution des résultats artériographiques selon la classification de Roy-Raymond pour les anévrysmes non traités par stent à diversion de flux (pour chaque groupe : nombre de patients et pourcentage de l’effectif total).....	96
Figure 34 : Distribution des résultats artériographiques selon la classification OKM pour les anévrysmes traités par stent à diversion de flux (pour chaque grade : nombre de patients et pourcentage de l’effectif total).....	97
Figure 35 : Distribution des résultats artériographiques à 6 mois en fusionnant les classifications de Roy-Raymond et d’OKM (pour chaque groupe : nombre de patients et pourcentage de l’effectif total).....	98
Figure 36 : Images obtenues chez un patient de 54 ans qui a été traité pour un anévrysme de la bifurcation sylvienne droite.	104
Figure 37 : Images obtenues chez une patiente de 43 ans qui a été traitée pour un anévrysme du sommet du tronc basilaire et pour un anévrysme de la terminaison carotidienne interne gauche de localisation communicante postérieure.	109
Figure 38 : Images obtenues chez un patient de 53 ans qui a été traité pour un anévrysme carotido-ophtalmique droit.	113
Figure 39 : Images obtenues chez une patiente de 73 ans qui a été traitée pour un anévrysme du sommet du tronc basilaire.	117
Figure 40 : Images obtenues chez une patiente de 69 ans qui a été traitée pour une recanalisation d’anévrysme large de la terminaison carotidienne interne gauche de localisation communicante postérieure (non rompu, ayant été traité le 15 décembre 2010 par double remodeling au ballonnet et stenting télescopique avec stents à diversion de flux). .	121

Table des tableaux

Tableau 1 : Paramètres des séquences d'IRM utilisées.	82
Tableau 2 : Pourcentage de nouvelles lésions ischémiques (DWI+) sur l'IRM post-procédure, en fonction de la technique employée	98
Tableau 3 : Taux d'occlusion complète sur l'artériographie de suivi à 6 mois, en fonction de la technique employée.....	100

SERMENT D'HIPPOCRATE

En présence des maîtres de cette école, de mes condisciples, je promets et je jure d'être fidèle aux lois de l'honneur et de la probité dans l'exercice de la médecine.

Je dispenserai mes soins sans distinction de race, de religion, d'idéologie ou de situation sociale.

Admis à l'intérieur des maisons, mes yeux ne verront pas ce qui s'y passe, ma langue taira les secrets qui me seront confiés et mon état ne servira pas à corrompre les mœurs ni à favoriser les crimes.

Je serai reconnaissant envers mes maîtres, et solidaire moralement de mes confrères. Conscient de mes responsabilités envers les patients, je continuerai à perfectionner mon savoir.

Si je remplis ce serment sans l'enfreindre, qu'il me soit donné de jouir de l'estime des hommes et de mes condisciples, si je le viole et que je me parjure, puissé-je avoir un sort contraire.

Jean-Christophe LECOMTE

Prospective evaluation by 3 Tesla MRI of ischemic lesions appeared after endovascular treatment of unruptured intracranial aneurysms, according to the different fluently employed techniques

About 164 aneurysms

Abstract :

INTRODUCTION: The literature lacks cross-evaluation data of safety and efficacy of the different endovascular techniques.

OBJECTIVE: To evaluate prospectively by 3T MRI the onset of ischemic lesions after endovascular treatment of unruptured intracranial aneurysms, according to the different fluently employed techniques. Secondary objective: to collect clinical, angiographic and MRI comparative data on safety and efficacy of these techniques.

METHODS: This prospective cohort examined consecutive patients treated with endovascular techniques for unruptured intracranial aneurysms. The patients underwent a clinical examination and an MRI scan before treatment, post procedure, at D3-D5 (if flow diversion stent) and at 6 months. Selective angiographic controls were performed post procedure and at 6 months.

RESULTS: From January 2012, 1st to December 2013, 31st, 164 aneurysms were treated during 143 procedures in 128 consecutive patients. On post-procedure and 6-month MRI, there was no statistically significant difference between endovascular techniques in the occurrence of ischemic lesions. On 6-month follow-up angiography, very complex treatments offered a higher rate of complete occlusion (100%) than other techniques (66.7-88.9%), with no statistically significant difference.

CONCLUSION: MRI is important for the evaluation of the safety of endovascular treatments because of more frequent ischemic complications than clinically expected. This study also provides updated data on safety and efficacy profiles of endovascular techniques. Comparing with the other techniques, the extremely high efficacy and comparable safety are an incentive to use very complex techniques.

Keywords : MRI; ischemic lesion; endovascular treatment; unruptured intracranial aneurysm.

Jean-Christophe LECOMTE

**Evaluation prospective en IRM 3 Teslas des lésions ischémiques
apparues après traitement endovasculaire d'anévrismes intra-crâniens
non rompus, en fonction des différentes techniques couramment
utilisées**

A propos de 164 anévrismes

Résumé :

INTRODUCTION : La littérature manque de données d'évaluation transversale de sécurité et d'efficacité des différentes techniques endovasculaires.

OBJECTIF : Evaluer de manière prospective en IRM 3T l'apparition de lésions ischémiques après traitement endovasculaire d'anévrismes intra-crâniens non rompus, en fonction des différentes techniques couramment utilisées. Objectif secondaire : recueillir des données comparatives cliniques, angiographiques et IRM de sécurité et d'efficacité.

METHODES : Cette cohorte prospective a porté sur des patients consécutifs traités par voie endovasculaire pour des anévrismes intra-crâniens non rompus. Les investigations réalisées incluaient un examen clinique et une IRM avant traitement, en post-procédure, à J3-J5 (si diversion de flux) et à 6 mois, ainsi qu'une artériographie post-procédure et à 6 mois.

RESULTATS : Du 1^{er} janvier 2012 au 31 décembre 2013, 164 anévrismes ont été traités en 143 procédures chez 128 patients. Sur les IRM post-procédurales et à 6 mois, il n'y avait pas de différence statistiquement significative entre les techniques endovasculaires dans la survenue de lésions ischémiques. Sur l'artériographie de suivi à 6 mois, les traitements très complexes offraient un taux plus élevé d'occlusion complète (100 %) que les autres techniques (66,7-88,9 %), sans différence statistiquement significative.

CONCLUSION : L'IRM est importante pour l'évaluation de la sécurité des traitements endovasculaires du fait de complications ischémiques plus fréquentes qu'attendues cliniquement. Ce travail apporte aussi des données actualisées sur les profils de sécurité et d'efficacité des techniques endovasculaires. Par comparaison avec les autres techniques, l'efficacité particulièrement élevée et la sécurité comparable incitent à utiliser les techniques très complexes.

Mots-clés : IRM ; lésions ischémiques ; traitement endovasculaire ; anévrisme intra-crânien non rompu.