

UNIVERSITE DE NANTES

FACULTE DE MEDECINE

Année 2006

N°117M

THESE

pour le

DIPLOME D'ETAT DE DOCTEUR EN MEDECINE

DES DE RADIODIAGNOSTIC ET IMAGERIE MEDICALE

Par

Yoël Levy

Né le 29.12.1975 à Saint-Malo

Présentée et soutenue publiquement le 18.09.2006

**TRAITEMENT ENDOVASCULAIRE DES FISTULES DURALES DE LA
LOGE CAVERNEUSE, REVUE DE LA LITTERATURE ET EXPERIENCE
NANTAISE A PROPOS DE 17 CAS.**

Président : Monsieur le Professeur de Kersaint-Gilly

Directeur de thèse : Monsieur le Docteur Desal

TABLE DES MATIERES

Chapitre 1 – Rappels anatomiques sur la loge caverneuse

<u>1.1- De la notion de sinus à la notion de loge</u>	1
1.1.1- La conception classique	1
1.1.2- La conception moderne : la notion de repli dure-mérien	1
1.1.3- Conception plus récente	2
<u>1.2- Les parois de la loge caverneuse</u>	2
1.2.1- La face médiale	2
1.2.2- La face inférieure ou plancher	3
1.2.3- La face supérieure ou toit	3
1.2.4- La face latérale	4
1.2.5- L'extrémité antérieure ou sommet	5
1.2.6- La paroi postérieure	5
<u>1.3- Les nerfs traversant la loge caverneuse</u>	5
1.3.1- Le nerf oculomoteur (III)	6
1.3.2- Le nerf trochléaire (IV)	7
1.3.3- Le nerf trigéminal (V)	7
1.3.4- Le nerf abducens (VI)	8
1.3.5- Le sympathique péri-carotidien	8
<u>1.4- Anatomie veineuse</u>	9
1.4.1- Rappels embryologiques	9
1.4.2- Les afférences veineuses : description classique	12
1.4.2.1- La veine cérébrale moyenne superficielle	12
1.4.2.2- Les veines méningées moyennes	12
1.4.2.3- Les veines ophtalmiques supérieure et inférieure	13
1.4.2.4- Les communications veineuses inter-caverneuses	13
1.4.3- Les groupes veineux intra-caverneux	14
1.4.4- Les efférences veineuses	15
1.4.4.1- Le drainage postérieur	15
1.4.4.1.1- Le sinus pétreux inférieur	15
1.4.4.1.2- Le sinus pétreux supérieur	16

1.4.4.1.3- Le plexus veineux basilaire	16
1.4.4.1.4- Le sinus pétro occipital d'English et le plexus péri-carotidien de Rektorziik	16
<i>1.4.4.2- Le drainage inférieur</i>	16
1.4.5- Les fonctions veineuses de la loge caverneuse	17
<i>1.4.5.1- Une fonction anastomotique</i>	17
<i>1.4.5.2- Une fonction de drainage</i>	17
<u>1.5- Anatomie artérielle</u>	19
1.5.1- rappels embryologiques sur le système carotidien	19
<i>1.5.1.1- Embryologie et segmentation embryologique de la carotide interne</i>	19
<i>1.5.1.2- Embryologie de la carotide externe</i>	21
<i>1.5.1.3- Les anastomoses carotido-vertébrales</i>	22
1.5.1.3.1- L'artère pro-atlante type I	23
1.5.1.3.2- L'artère pro-atlante type II	23
1.5.1.3.3- L'artère hypoglosse	23
<i>1.5.1.4- Variantes de vascularisation artérielle parasellaire</i>	24
1.5.2- La carotide interne	24
<i>1.5.2.1- Branches pré-petreuse et pétreuse</i>	24
<i>1.5.2.2- Branches intra-caverneuses</i>	25
1.5.2.2.1- L'artère hypophysaire postéro-inférieure	26
1.5.2.2.2- L'artère clivale latérale	26
1.5.2.2.3- L'artère tentorielle basale	26
1.5.2.2.4- L'artère récurrente du foramen lacerum	27
1.5.2.2.5- L'artère latérale du ganglion trigéminal	27
1.5.2.2.6- L'artère tentorielle marginale	27
1.5.2.2.7- Les artères capsulaires	27
1.5.2.2.8- Le tronc inféro-latéral	27
<i>1.5.2.3- Branches extra-caverneuses</i>	29
1.5.2.3.1- L'artère ophtalmique	29
1.5.2.3.2- l'artère communicante postérieure	29
1.5.2.3.3- L'artère choroïdienne antérieure	30
1.5.2.3.4- Les branches terminales	30
<i>1.5.2.4- La segmentation de la carotide interne</i>	30
1.5.2.4.1- La segmentation anatomique	30

1.5.2.4.2- La segmentation angiographique	30
1.5.3- La carotide externe	31
<i>1.5.3.1- Naissance de la carotide externe</i>	<i>31</i>
<i>1.5.3.2- Les collatérales de la carotide externe</i>	<i>31</i>
1.5.3.2.1- L'artère thyroïdienne supérieure	31
1.5.3.2.2- L'artère pharyngienne ascendante	32
1.5.3.2.3- L'artère linguale	32
1.5.3.2.4- L'artère faciale	33
1.5.3.2.5- L'artère occipitale	33
1.5.3.2.6- L'artère auriculaire postérieure	34
1.5.3.2.7- L'artère temporale superficielle	34
1.5.3.2.8- L'artère maxillaire interne	34
<u>1.6- La vascularisation méningée de la fosse cérébrale moyenne</u>	36
1.6.1- La loge caverneuse	37
1.6.2- Le clivus	37
1.6.3- La tente du cervelet : bord libre et insertion antérieure	38
1.6.4- La loge hypophysaire	38
1.6.5- La fosse temporale	39
<u>Chapitre 2 - Les fistules durales de la loge caverneuse</u>	40
<u>2.1- Définition du terme général « fistuleurale »</u>	40
<u>2.2- Epidémiologie des fistules durales</u>	40
<u>2.3- Présentation clinique des fistules durales de la loge caverneuse</u>	41
2.3.1- signes orbitaires	41
2.3.2- Signes extra-orbitaires	42
2.3.3- Le syndrome d'aggravation paradoxal	43
<u>2.4- Physiopathologie des fistules durales</u>	43
2.4.1- Données anatomopathologiques	44
2.4.2- Hypothèses pathogéniques	45
<i>2.4.2.1- Influence de la thrombose veineuse</i>	<i>45</i>
2.4.2.1.1- Reperméabilisation de vaisseaux dure-mériens physiologiques	45
2.4.2.1.2- Hypothèse inflammatoire	45
2.4.2.1.3- Trouble de l'hémostase	46

2.4.2.2- <i>Influence de l'hypertension veineuse</i>	46
2.4.2.2.1- L'hypertension veineuse, élément initiateur	46
2.4.2.2.2- Hypothèse ischémique	46
2.4.2.3- <i>Influence hormonale</i>	48
2.4.3- Physiopathologie des signes cliniques	48
2.4.3.1- <i>Symptômes d'origine artérielle</i>	48
2.4.3.2- <i>Symptômes liés au shunt</i>	49
2.4.3.3- <i>Symptômes d'origine veineux</i>	49
2.4.3.3.1- Haut débit et engorgement veineux	49
2.4.3.3.2- Thrombose veineuse	50
2.4.3.3.3- Ischémie veineuse	51
2.4.3.3.4- Effet de masse veineux	51
2.4.3.3.5- Rupture veineuse	51
<u>2.5- Histoire naturelle : une évolution imprévisible</u>	51
2.5.1- Critères prédictifs	52
2.5.1.1- <i>Le mode de drainage veineux</i>	52
2.5.1.2- <i>Signification des thromboses partielles</i>	54
2.5.2- Mécanismes d'aggravation	55
2.5.2.1- <i>Sténose ou thrombose des veines de drainage</i>	55
2.5.2.2- <i>Augmentation du flux artériel</i>	56
2.5.2.3- <i>Apparition d'une nouvelle fistule ou augmentation du volume de la lésion initiale</i>	57
<u>2.6- Imagerie :</u>	58
2.6.1- Tomodensitométrie	58
2.6.1.1- <i>Signes encéphaliques</i>	58
2.6.1.2- <i>Signes orbitaires</i>	58
2.6.1.3- <i>Anomalies de la loge caverneuse</i>	59
2.6.2- IRM	60
2.6.2.1- <i>Protocole d'exploration</i>	60
2.6.2.2- <i>Sémiologie en IRM standard</i>	61
2.6.2.2.1- Signes encéphaliques	61
2.6.2.2.2- Signes orbitaires	61
2.6.2.2.3- Anomalies du sinus caverneux	62
2.6.2.3- <i>L'angiographie par résonance magnétique (ARM)</i>	63

2.6.2.3.1- Le contraste de phase (PC) et le temps de vol (TOF)	63
2.6.2.3.2- L'ARM avec injection de produit de contraste (ARM-gado)	64
2.6.2.3.3- L'angio-MR dynamique	64
2.6.4- Explorations ultrasonores	66
2.6.5- Angiographie	66
<u>2.7- Classifications des fistules dures de la loge caverneuse</u>	68
2.7.1- classification de Barrow (1985)	68
2.7.2- classification de Djindjian (Djindjian et Merland 1978)	69
2.7.3- Classification de Cognard (Cognard et al. 1995, 41)	69
2.5.4- Classification de Borden (Borden et al. 1995)	70
<u>Chapitre 3- Matériel et méthode</u>	72
<u>3.1- Patients</u>	72
<u>3.2- Données pré-thérapeutiques</u>	73
3.2.1- Modes de présentation clinique	73
3.2.1.1- Signes orbitaires	74
3.2.1.2- Signes extra-orbitaires	74
3.2.2- Imagerie en coupe	75
3.2.2.1- Scanner	75
3.2.2.2- IRM	75
3.2.3- Artériographie diagnostique	77
3.2.3.1- Localisation	78
3.2.3.2- Afférences artérielles et classification de Barrow	78
3.2.3.3- Drainages veineux	79
<u>3.3- Première séance d'embolisation</u>	80
3.3.1- Voie endo-vasculaire utilisée	80
3.3.2- Les agents d'embolisation	80
3.3.3- Artères embolisées	81
3.3.4- Complications lors du geste	81
<u>Chapitre 4- Résultats</u>	83
<u>4.1- Contrôle n°1</u>	84

4.1.1- Résultats cliniques	84
4.1.2- Résultats angiographiques	85
4.1.3- Décision thérapeutique	86
<u>4.2- Séance d'embolisation n°2</u>	87
<u>4.3- Contrôle n°2</u>	88
4.3.1- Résultats cliniques	88
4.3.2- Résultats angiographiques	89
4.3.3- Décision thérapeutique	89
<u>4.4- Séance d'embolisation n°3</u>	90
<u>4.5- Contrôle n°3</u>	90
<u>4.6- Contrôles ultérieurs</u>	91
<u>Chapitre 5- Discussion</u>	92
<u>5.1- Discussion des résultats</u>	92
5.1.1- Patients	92
5.1.2- Présentation clinique	92
5.1.3- Imagerie initiale	92
5.1.3.1- Imagerie en coupe	92
5.1.3.2- Artériographie	93
5.1.4- Traitement initial	94
5.1.5- Traitements supplémentaires	96
<u>5.2- Revue de la littérature sur la thérapeutique</u>	97
5.2.1- Indications thérapeutiques	97
<i>5.2.1.1- Indications selon le mode de drainage veineux</i>	<i>98</i>
5.2.1.1.1- Absence de drainage veineux leptoméningé	98
5.2.1.1.2- Présence d'un drainage leptoméningé	99
<i>5.2.1.2- Indications selon l'apport artériel</i>	<i>101</i>
5.2.1.2.1- Fistules Barrow A	101
5.2.1.2.2- Fistules Barrow B	101
5.2.1.2.3- Fistules Barrow C	103
5.2.1.2.4- Fistules Barrow D	104
<i>5.2.1.3- Statistique des choix thérapeutiques dans la littérature</i>	<i>106</i>
5.2.2- Traitement conservateur	107
<i>5.2.2.1- L'abstention thérapeutique</i>	<i>107</i>

5.2.2.2- <i>Compression vasculaire manuelle</i>	107
5.2.2.2.1- Compression jugulo-carotidienne	107
5.2.2.2.2- Compression manuelle de la veine ophtalmique	109
5.2.3- Traitement endovasculaire par voie artérielle	109
5.2.3.1- <i>Les particules</i>	110
5.2.3.2- <i>Les colles biologiques (NBCA)</i>	111
5.2.3.3- <i>L'onyx</i>	113
5.2.4- Traitement endovasculaire par voie veineuse	113
5.2.4.1- <i>Les différentes voies veineuses</i>	113
5.2.4.1.1- La veine ophtalmique supérieure (VOS)	114
5.2.4.1.2- Le sinus pétreux inférieur	118
5.2.4.1.3- Le plexus ptérygoïde	119
5.2.4.1.4- Le sinus pétreux supérieur	120
5.2.4.1.5- Les veines de drainage leptoméningé	120
5.2.4.2- <i>Les agents d'embolisation</i>	121
5.2.4.2.1- Les ballonnets largables	121
5.2.4.2.2- Les sutures de soie	122
5.2.4.2.3- Les colles biologiques	122
5.2.4.2.4- L'onyx	122
5.2.4.2.5- Les coils	122
5.2.4.3- <i>Limites de la voie veineuse</i>	123
5.2.4.3.1- Le caractère invasif du traitement par voie veineuse	123
5.2.4.3.2- Les obstacles anatomiques	124
5.2.4.4- <i>Complications de la voie veineuse</i>	124
5.2.4.4.1- Complications non spécifiques à la voie d'abord	124
5.2.4.4.1.1- Aggravation du mode de drainage veineux de la fistule	125
5.2.4.4.1.2- Occlusion d'un sinus fonctionnel	125
5.2.4.4.1.3- Diplopie	127
5.2.4.4.1.4- Autres complications	127
5.2.4.4.2- Complications spécifiques à la voie d'abord utilisée	128
5.2.4.4.2.1- Voie empruntant la VOS	128
5.2.4.4.2.2- Voie empruntant le sinus pétreux inférieur	129
5.2.4.4.2.3- Autres voies d'abord	129

5.2.5- Traitement chirurgical	129
<i>5.2.5.1- Résection chirurgicale directe</i>	<i>130</i>
<i>5.2.5.2- Introduction chirurgicale de matériel thrombogène dans le sinus</i>	<i>130</i>
<i>5.2.5.3- L'électrothrombose</i>	<i>130</i>
<i>5.2.5.4- Ligature chirurgicale des afférences artérielles</i>	<i>131</i>
<i>5.2.5.5- Ligature des veines de drainage</i>	<i>131</i>
5.2.6- Radiothérapie	131
<u>Chapitre 6- Cas cliniques</u>	134
<u>Chapitre 7- Conclusion</u>	143

Bibliographie

CHAPITRE 1 - RAPPELS ANATOMIQUES SUR LA LOGE CAVERNEUSE

1.1- De la notion de sinus à la notion de loge

1.1.1- La conception classique

Le terme de « sinus caverneux » provient d'une description faite par Winslow au XVIIIème siècle, les larges sinus parasellaires lui rappelant les corps caverneux du pénis.

Le sinus caverneux peut être assimilé à une pyramide quadrangulaire à grand axe antéropostérieur et à sommet antérieur tronqué. Il est situé en regard de la face latérale du corps sphénoïdal et occupe le quart interne de la fosse cérébrale moyenne (1).

Selon la conception classique, le sinus parasellaire est un lac veineux cloisonné, traversé par la carotide interne ; ses parois sont des prolongements dure-mériens de la petite et grande circonférence de la tente du cervelet. Ces prolongements qui s'insèrent respectivement sur les processus clinoides antérieur et postérieur de l'os sphénoïdal (2) contiennent dans leur épaisseur des formations vasculo-nerveuses.

1.1.2- La conception moderne : la notion de repli dure-mérien

La notion de repli dure-mérien, introduite par Taptas en 1949, est fondée sur des données tirées de l'embryologie de la pachyméninge qui montrent que la dure-mère définitive provient de l'accolement entre le périoste endocrânien et la dure-mère propre. Toute structure empêchant cet accolement écarte la dure-mère et crée un repli dure-mérien (1, 2, 3).

Cette observation conduit à la conception d'une loge caverneuse parasellaire extradurale ou loge caverneuse parasellaire « interpériostéodurale », constituée à sa face supérieure et latérale par un repli dure-mérien en regard de la face latérale du corps sphénoïdal, et à sa face inférieure et interne par le périoste recouvrant les structures osseuses sphénoïdales. Elle permet le passage d'éléments artériels, veineux et nerveux.

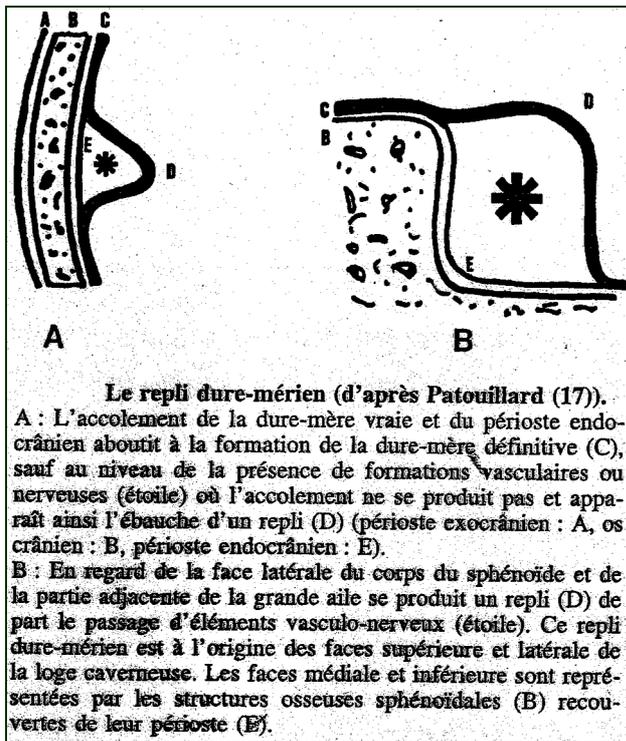


Schéma d'après Mertens P.
 Anatomie chirurgicale de la loge caverneuse. Neurochirurgie, 1995, 41, n°3.

1.1.3- Conception plus récente

En 1979, Parkinson signale l'existence de tissu adipeux dans l'espace parasellaire, plus abondant à sa partie antérieure mais présent également autour de la carotide interne (3). De plus, la loge caverneuse et la cavité orbitaire sont en continuité via la fissure orbitaire supérieure avec un périoste continu entre ces deux espaces. Il est donc proposé que la loge parasellaire soit un prolongement endocrânien de la cavité orbitaire.

1.2- Les parois de la loge caverneuse

1.2.1- La face médiale

La face médiale se divise en deux parties : le tiers supérieur correspond à la dure-mère de la face latérale de la loge hypophysaire et les deux tiers inférieurs correspondent à la face osseuse latérale du corps sphénoïdal recouverte de périoste.

A l'union du tiers supérieur et des deux tiers inférieurs s'accolent la dure-mère de la loge hypophysaire et le périoste du corps sphénoïdal permettant le passage du sinus veineux sous-hypophysaire de Trolard (2).

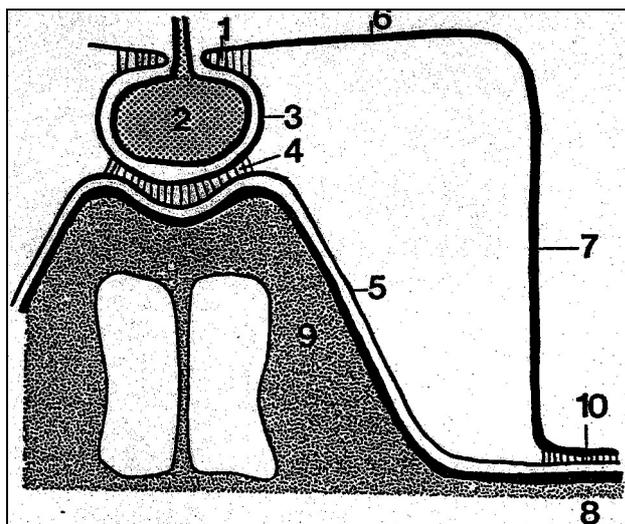


Schéma d'après Mertens P. Anatomie chirurgicale de la loge caverneuse. Neurochirurgie, 1995, 41, n°3, p.153.

Coupe frontale schématique de la loge caverneuse inter-périostéo-durale.

- 1 : Tente de l'hypophyse
- 2 : Hypophyse
- 3 : Dure-mère de la face latérale de la loge hypophysaire
- 4 : Accolement entre la dure-mère de la loge hypophysaire et le périoste recouvrant la selle turcique du corps de l'os sphénoïdal
- 5 : Périoste recouvrant l'os sphénoïdal
- 6 : Dure-mère de la face supérieure de la loge
- 7 : Dure-mère de la face latérale de la loge
- 8 : Grande aile de l'os sphénoïdal
- 9 : Corps de l'os sphénoïdal
- 10 : Dure-mère propre de la fosse temporale accolée au périoste

1.2.2- La face inférieure ou plancher

La face inférieure correspond à la partie supéro-médiale de la grande aile du sphénoïde recouverte de périoste. Elle présente à sa partie postérieure l'orifice d'entrée de l'artère carotide interne qui quitte son segment intra-pétreux (4) pour devenir intra-caverneuse. Cet orifice dénommé trou déchiré antérieur ou foramen lacerum présente un anneau fibreux périosté fixant la carotide interne (4).

1.2.3- La face supérieure ou toit

La face supérieure est constituée par un revêtement dure-mérien en continuité avec celui du diaphragme sellaire. Son bord latéral épaissi constitue le sommet de la loge caverneuse.

Le toit de la loge caverneuse présente plusieurs orifices :

- l'orifice de sortie de la carotide interne qui devient ensuite extra-caverneuse. Cet orifice est renforcé par un anneau fibreux dure-mérien fixant la carotide interne et situé en dedans du processus clinoidé antérieur (4).

- l'orifice d'entrée dans la loge caverneuse du nerf oculomoteur (III) dont le bord antérieur est situé à mi-distance entre les processus clinéoïde antérieur et postérieur (5).
- l'orifice d'entrée du nerf trochléaire (IV) situé à l'angle postéro-latéral du toit, en arrière et en dehors du processus clinéoïde postérieur (5).

1.2.4- La face latérale

La face latérale est une paroi dure-mérienne en continuité avec le toit de la loge caverneuse en haut et avec la dure-mère du plancher de la fosse temporale en dehors.

Contre sa face interne, on retrouve plusieurs éléments :

- des veines pariétales,
- le nerf trochléaire (IV), le nerf ophtalmique (V1) et le nerf maxillaire (V2) qui longe sa partie inférieure (2),
- le nerf oculomoteur qui ne rentre en contact avec elle qu'à la partie antérieure de la loge caverneuse.

Hakuba et al ont montré que la paroi latérale du sinus caverneux est constituée vers la huitième semaine de la gestation par la combinaison d'une couche externe, la dure-mère propre du lobe temporal, et d'une couche interne, les feuilletts durs des paires crâniennes III, IV et V (6).

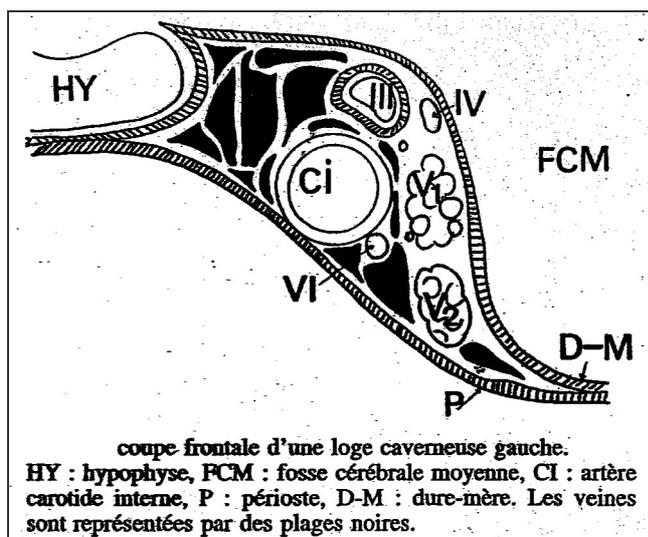


Schéma d'après Kehrli P, Maillot C. Les nerfs crâniens de la loge caverneuse. Neurochirurgie, 1995, 41, n°3, 165-166.

1.2.5- L'extrémité antérieure ou sommet

L'extrémité antérieure correspond à la fissure orbitaire supérieure. C'est un orifice triangulaire à sommet latéral, limité en haut par la face inférieure de la base du processus clinéoïde antérieur et en dedans par le bord supérieur de la face orbitaire de la grande aile du sphénoïde. Son rapport essentiel, en situation supéro-médiale, est le canal optique cerné par l'anneau tendineux commun (7).

La fissure orbitaire supérieure permet le passage du nerf lacrymal (deuxième branche du nerf ophtalmique), frontal (première branche du nerf ophtalmique), trochléaire ainsi que des veines ophtalmiques supérieure et inférieure (7).

L'anneau tendineux commun, insertion commune des muscles droits et élévateur palpébral en regard de l'apex orbitaire, entoure le canal optique. Il laisse le passage au nerf optique, à l'artère ophtalmique, aux branches supérieure et inférieure du nerf oculomoteur, au nerf naso-ciliaire (troisième branche du nerf ophtalmique) et au nerf abducens (VI).

Le système sympathique péri-carotidien s'accroche au nerf abducens (VI) au sein de la loge caverneuse puis va se distribuer en totalité au nerf abducens avant son entrée dans l'orbite ; son trajet pour atteindre l'orbite est donc l'anneau tendineux commun (5).

1.2.6- La paroi postérieure

Elle correspond à la dure-mère située entre le bord latéral du dos de la selle turcique (ou lame quadrilatère) en dedans et l'extrémité antérieure de l'os pétreux en dehors. Elle est renforcée par le ligament pétro-clinoïdien postérieur. Sous ce ligament est présent un canal ostéofibreux nommé canal de Dorello. Ce canal est traversé par le nerf abducens (VI) qui devient ensuite intra-caverneux. En cas d'existence d'une artère trigémينية, celle-ci émerge de la paroi postérieure toujours en dehors du canal de Dorello.

1.3- Les nerfs traversant la loge caverneuse

Les nerfs crâniens de la loge caverneuse peuvent être classés en deux groupes. Le premier groupe est constitué par le nerf oculomoteur (III), le nerf trochléaire (IV) et le nerf ophtalmique (V1). Il chemine contre la paroi latérale de la loge. Le deuxième groupe correspond au nerf abducens (VI) qui paraît isolé au milieu des groupes veineux. On note que

le ganglion trigéminal, le nerf maxillaire (V2) et le nerf mandibulaire (V3) bien que présentant des rapports avec la loge caverneuse n'en font pas partie.

En introduction voici un tableau résumant les foramens de la région sellaire et périsellaire et leurs contenus neuro-vasculaires :

FORAMEN DE LA REGION SELLAIRE ET PERI-SELLEIRE	CONTENU NEURO-VASCULAIRE
Canal pharyngo-hypophysaire (inconstant)	Branches capsulaires (sinusales)
Canal optique	Nerf optique
	Artère ophtalmique
Fissure orbitaire supérieure	III
	IV
	VI
	V1
	Système nerveux autonome
	Artère récurrente ophtalmique profonde
	Veine ophtalmique
	Artère méningée récurrente, tentorielle récurrente ou méningo-ophtalmique en fonction des variantes
Foramen rotundum	V2
	Veines émissaires
	Artère du foramen rotundum
Foramen ovale	V3
	V (branche motrice)
	Veines émissaires
	branches caverneuses de l'artère méningée accessoire
Foramen d'Arnold	Nerfs pétreux accessoires superficiel et profond
	Veines émissaires
Foramen de Vesalius	Veines émissaires
	branches caverneuses de l'artère méningée accessoire (dominante maxillaire)
Foramen lacerum	Artère carotide interne
	Système nerveux autonome péri-carotidien
	Branches carotidiennes de l'artère pharyngienne ascendante
	Nerf vidien
	Artère mandibulaire
Foramen spinosum	Artère méningée moyenne

D'après
Lasjaunias P,
Berenstein A, Ter
Brugge K.G.
Surgical neuro-
angiography. 1.
Clinical vascular
anatomy and
variations.

1.3.1- Le nerf oculomoteur (III)

Le nerf oculomoteur pénètre dans la loge caverneuse en traversant sa face supérieure. Légèrement en avant du processus clinéoïde postérieur, le III chemine ensuite dans une double gaine durale et arachnoïdienne selon un trajet orienté vers le bas et l'avant, contre la face

interne de la paroi latérale de la loge (2,5). Cette gaine méningée se termine à la partie antérieure de la paroi latérale de la loge caverneuse sous le processus clinéoïde antérieur. Le nerf, alors entouré d'une gaine de type périphérique (5) se divise en une branche supérieure et une branche inférieure qui vont traverser la paroi antérieure de la loge au niveau de l'anneau tendineux commun (7) pour gagner l'orbite. Dans la loge caverneuse, la vascularisation du nerf oculomoteur est assurée par des rameaux du tronc inféro-latéral.

1.3.2- Le nerf trochléaire (IV)

Le nerf trochléaire pénètre dans la loge caverneuse par le bord libre de la tente dans 21% des cas et au niveau de la partie postérieure de la loge dans 79% des cas (5). Il est entouré d'une gaine méningée sur une longueur variable. Il est appliqué à la face interne de la paroi latérale de la loge et se dirige d'abord vers le bas et l'avant. Puis il s'incurve vers le haut pour croiser la face latérale du III en avant de la division de ce dernier en deux branches. Il sort ensuite de la loge caverneuse en traversant sa paroi antérieure au niveau de la fissure orbitaire supérieure, située en position inféro-latérale par rapport à l'anneau tendineux commun (7) d'où il gagne l'orbite.

Sa vascularisation est assurée dans 80% des cas par le tronc inféro-latéral et dans 20% des cas par la branche méningée tentorielle du tronc méningo-hypophysaire (5).

1.3.3- Le nerf trigéminal (V)

Le ganglion trigéminal est situé au sein d'une évagination méningée constituée de dure-mère et d'arachnoïde, provenant de la fosse cérébrale postérieure, nommée cavum trigéminal. Cette évagination en doigt de gant se dirige en avant et est accolée à la partie postérieure de la paroi latérale de la loge caverneuse.

Trois branches font suite au ganglion trigéminal, elles sont dépourvues de gaines méningées et sont entourées d'épinièvre de type périphérique (2,5) :

- la première branche est le nerf ophtalmique (V1) qui chemine contre la partie inférieure et interne de la paroi latérale de la loge caverneuse et est dissociée en cinq à six faisceaux. Il se dirige vers le haut et l'avant et se divise en trois branches. La première branche ou nerf frontal et la deuxième branche ou nerf lacrymal traversent la fissure orbitaire supérieure. La troisième branche ou nerf naso-ciliaire traverse l'anneau tendineux commun (7). Le nerf ophtalmique est essentiellement vascularisé par des rameaux du tronc inféro latéral,

- la deuxième branche est le nerf maxillaire (V2) qui chemine dans l'angle dièdre formé par la face latérale de la loge et le plancher de la fosse temporale pour gagner la foramen rotundum,
- la troisième branche est le nerf mandibulaire (V3) gagnant le foramen ovale.

1.3.4- Le nerf abducens (VI)

Le nerf abducens pénètre dans la loge caverneuse en traversant la paroi postérieure au niveau du canal de Dorello. Il présente ensuite un trajet légèrement ascendant pour passer latéralement au segment C5 de la carotide interne. Il se place ensuite latéralement au segment C4 qu'il longe. A ce niveau, il est souvent dissocié en plusieurs faisceaux (5). Le nerf abducens gagne finalement l'anneau tendineux commun qu'il traverse pour sortir de la loge caverneuse (7).

1.3.5- Le sympathique péri-carotidien

Les fibres orthosympathiques issues du pôle supérieur du ganglion cervical supérieur constituent un réseau qui entoure la carotide interne dans son trajet intra-caverneux. Ces fibres vont assurer l'innervation vasomotrice des collatérales intra-crâniennes de la carotide, de l'hypophyse et des méninges (2). On note que certains auteurs ont distingué deux faisceaux à ce réseau orthosympathique :

- un faisceau inféro-latéral à destinée orbitaire suit le nerf abducens (VI) puis le nerf ophtalmique (V1),
- un faisceau médial à la carotide dans ses segments C5 et C4 destiné aux branches artérielles collatérales.

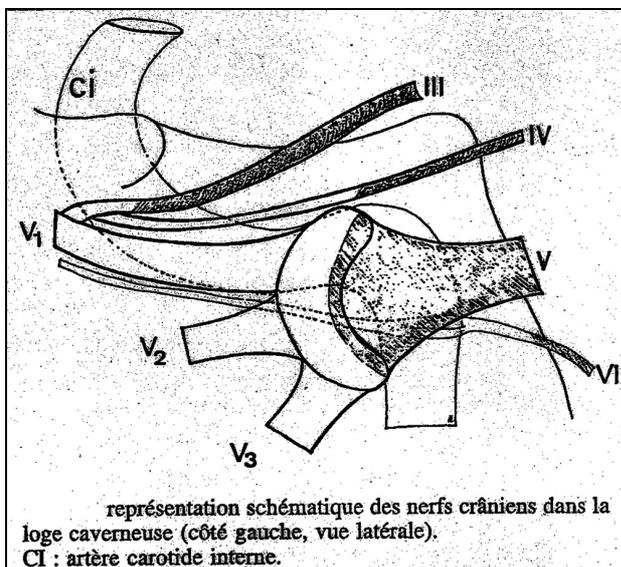


Schéma d'après Kehrli P, Maillot C. Les nerfs crâniens de la loge caverneuse. Neurochirurgie, 1995, 41, n°3, 165-166.

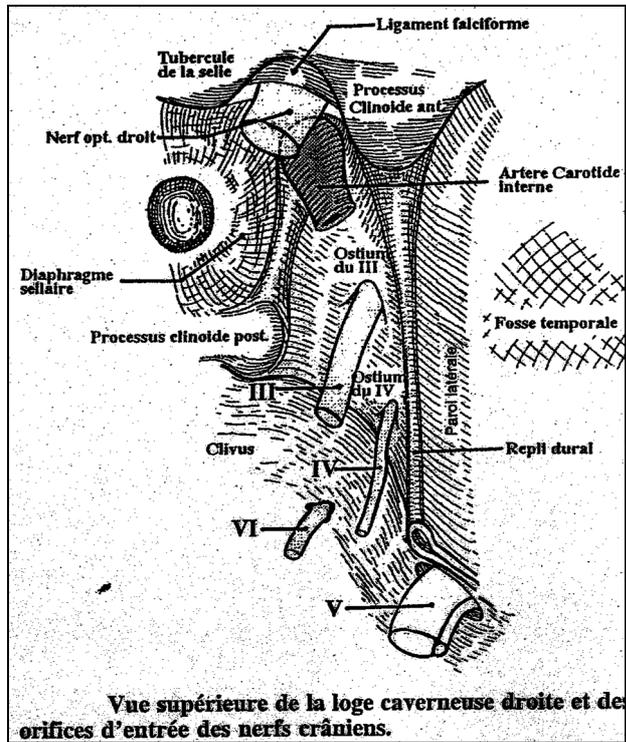


Schéma d'après Kehrli P, Maillot C. Les nerfs crâniens de la loge caverneuse. Neurochirurgie, 1995, 41, n°3, 165-166.

1.4- Anatomie veineuse

1.4.1- Rappels embryologiques

Le territoire cérébral sus-tentorial superficiel est drainé par 3 systèmes collecteurs veineux :

- le système dorso-médial collecte la convexité supérieure et les veines corticales médianes. Ces affluences veineuses s'ouvrent dans le sinus sagittal supérieur, le sinus sagittal inférieur, le sinus droit et la veine de Galien,
- le système ventro-latéral comprend les veines se drainant dans le sinus latéral, il rassemble les veines pariéto-temporales,
- le système antérieur correspond à la confluence vers le sinus caverneux ; il comprend les veines fronto-pariétales et temporales. Ce système est particulier car il présente des modifications post-natales (14). Il correspond au drainage veineux empruntant la veine cérébrale moyenne superficielle.

Le système caverneux est abordé par deux systèmes veineux qui apparaissent embryologiquement, morphologiquement et fonctionnellement indépendants mais avec des connections secondaires partielles :

- un système médial composé de la veine ophtalmique supérieure, des sinus caverneux et du sinus pétreux inférieur,

- un système latéral drainant le sang cortical de la convexité cérébrale via la veine cérébrale moyenne superficielle (VCMS) vers le plexus ptérygoïdien ou le sinus transverse (6). Ce système correspond au collecteur veineux antérieur susmentionné. La terminaison de la VCMS peut prendre 3 aspects par ordre décroissant de fréquence : le sinus para-caverneux, le sinus latéro-caverneux et la terminaison classique de la VCMS dans le sinus caverneux.

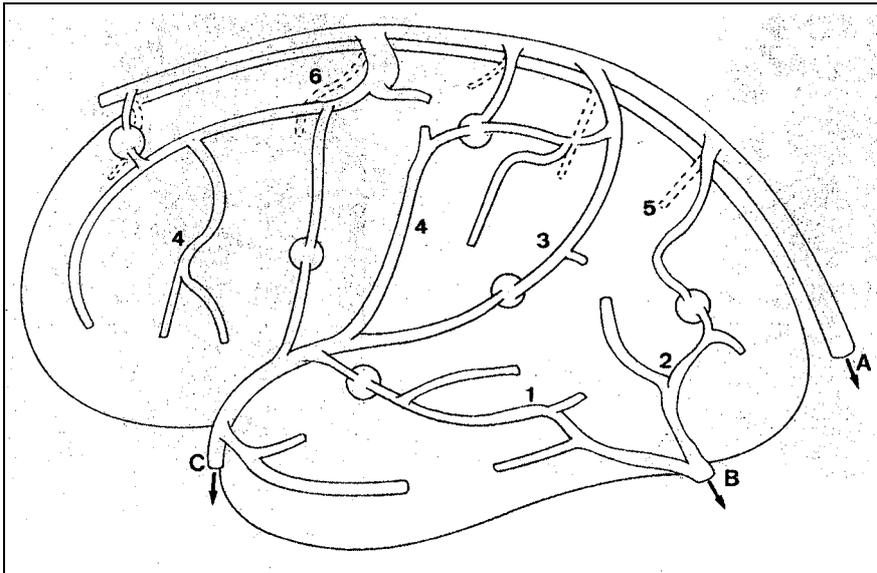


Schéma représentant le système veineux cortical avec ses trois principaux collecteurs (d'après Lasjaunias P, Berenstein A, TerBrugge K.G. surgical neuroangiography. 1. Clinical vascular anatomy and variations) :

- A : groupe médio-dorsal,
- B : groupe postéro-inférieur,
- C : groupe antérieur.

Les veines corticales sont représentées avec :

- 1 : la veine anastomotique inférieure ou veine de Labbé,
- 2 : la veine temporale postérieure,
- 3 : la veine anastomotique supérieure ou veine de Trolard,
- 4 : la veine frontale,
- 5 : la veine pariétale médiale,
- 6 : la veine frontale médiale.

Les cercles illustrent les points critiques d'équilibre hémodynamique entre ces collecteurs et les veines principales afférentes.

Il est essentiel de connaître certaines données embryologiques pour comprendre les variations anatomiques d'abouchement de la VCMS.

Selon Padget, les connections entre le sinus caverneux et la veine cérébrale moyenne superficielle (VCMS) ne sont pas établies à la naissance. Durant la vie fœtale, le sinus caverneux reçoit uniquement du sang des veines ophtalmiques et réunit le réseau veineux orbitaire à la veine jugulaire interne (VJI) via le sinus pétreux inférieur alors que le sang cortical de la VCMS se draine dans le sinus transverse. Secondairement, des anastomoses entre ces deux systèmes embryologiquement distincts vont permettre un drainage veineux cortical vers le sinus caverneux (6). On note que les marges du sinus caverneux ne sont pas complètement ossifiées à la naissance et que cela leur permet d'accepter les changements post-natals dans le drainage veineux de cette région (9).

Il apparaît cependant que des liaisons se produisent plus tôt au cours de la période fœtale lors de la formation du mur latéral du sinus caverneux dès la huitième semaine de gestation. Ceci pourrait résulter du développement du lobe temporal qui produit un bombement médial de sa couverture durale et conduit à une migration médiale du sinus tentorial primitif le rapprochant du sinus caverneux (6). Cette formation précoce d'anastomoses entre le système veineux cérébrale moyen superficiel et le sinus caverneux a été confirmé par l'étude de Knosp et al, qui en étudiant des fœtus humain entre la 17^{ème} et la 40^{ème} semaine de gestation ont observé des connections entre la VCMS et le sinus caverneux dans 20% des cas (6).

Le sinus tentorial primitif, qui draine le sang cortical via la VCMS, migre donc médialement vers le sinus caverneux ; selon l'importance de cette migration et la formation ultérieure d'anastomoses entre le sinus tentorial primitif et le sinus caverneux, trois aspects de drainage adulte de la VCMS peuvent s'observer :

- une direction médiale sous la petite aile sphénoïdale vers la portion antéro-supérieure du sinus caverneux : il s'agit de la terminaison directe de la VCMS, aspect classiquement décrit bien qu'il soit anatomiquement et angiographiquement le moins fréquemment observé,
- une direction médiale vers le sinus caverneux mais continuant ensuite sa course vers l'arrière dans le mur latéral du sinus caverneux : il s'agit du sinus latéro-caverneux, avec ou sans connections secondaires avec le sinus

caverneux. Ce sinus latéro-caverneux va présenter ensuite trois modes de drainage : vers le sinus transverse homolatéral via la sinus pétreux supérieur, vers le plexus ptérygoïdien via une ouverture dans le plancher de la fosse cérébrale moyenne, vers la partie postérieure du sinus caverneux,

- une direction plus latérale dans le plancher dure-mérien de la fosse cérébrale moyenne ; il s'agit de la persistance du sinus tentoriel primitif qui prend le nom de sinus para-caverneux chez l'adulte. Cet aspect est le plus fréquent selon les observations de San Millan Ruiz et al (6).

1.4.2- Les afférences veineuses : description classique

1.4.2.1- La veine cérébrale moyenne superficielle

La veine cérébrale moyenne est une afférence issue du territoire carotidien interne. Son calibre est généralement important et supérieur à celui de la veine ophtalmique supérieure (10). Au niveau de la petite aile du sphénoïde, elle prend les caractères d'un sinus, puis se jette dans l'extrémité antérieure du plexus caverneux en dehors et en dessous de l'apophyse clinéoïde antérieure et de l'émergence de la carotide interne, c'est-à-dire à un centimètre environ au-dessus de l'abouchement des veines ophtalmiques (11).

La veine sylvienne superficielle reçoit le plus souvent la veine uncinée située sur la face interne du lobe temporal qui draine la partie antéro interne du lobe temporal. Elle peut également recevoir par l'intermédiaire de la veine uncinée les veines sylviennes profondes qui habituellement ne se drainent pas vers la loge caverneuse mais vers la veine basilaire ou veine de Rosenthal.

La veine sylvienne superficielle, en regard de la petite aile du sphénoïde, correspond à la portion sphénoïdale du sinus veineux sphéno-pariétal (anciennement nommé sinus de Breschet ou sinus de la petite aile sphénoïdale). Ce sinus, constitué par la portion sphénoïdale de la veine superficielle et par la portion pariétale de la veine méningée moyenne antérieure, est pour Trolard une entité discutable car il n'existe qu'en cas d'anastomose entre ces deux veines (10).

1.4.2.2- Les veines méningées moyennes

Les veines méningées moyennes drainent le territoire carotidien externe. Elles se jettent dans la partie latérale du plexus caverneux où elles s'unissent aux veines émissaires

sphénoïdales formant un plexus autour du foramen ovale et rejoignent les plexus ptérygoïdiens.

La veine méningée moyenne antérieure est particulière : elle constitue la portion pariétale du sinus sphéno-pariétal.

1.4.2.3- Les veines ophtalmiques supérieure et inférieure

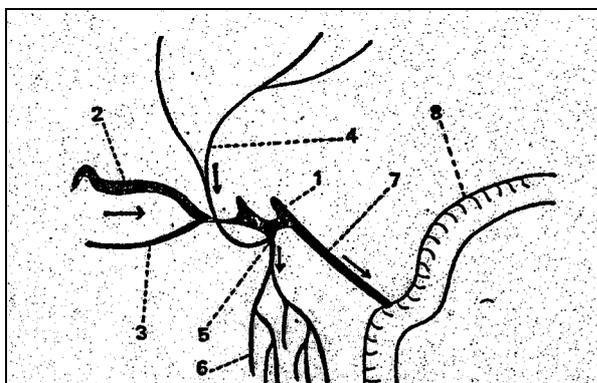
La veine ophtalmique supérieure draine la partie supérieure de l'orbite. Elle est beaucoup plus volumineuse que la veine ophtalmique inférieure. Elle reçoit plusieurs afférences : la veine angulaire (branche de la veine faciale), les veines ethmoïdales et la veine sus-orbitaire (12).

La veine ophtalmique inférieure draine la partie inférieure de l'orbite et s'anastomose avec des veines ptérygoïdiennes et la veine faciale (12).

Les veines ophtalmiques supérieures et inférieures s'anastomosent au niveau de la portion large de la fissure orbitaire supérieure pour donner la veine ophtalmique qui rejoint le plexus caverneux au niveau de son angle antéro-inférieur (11).

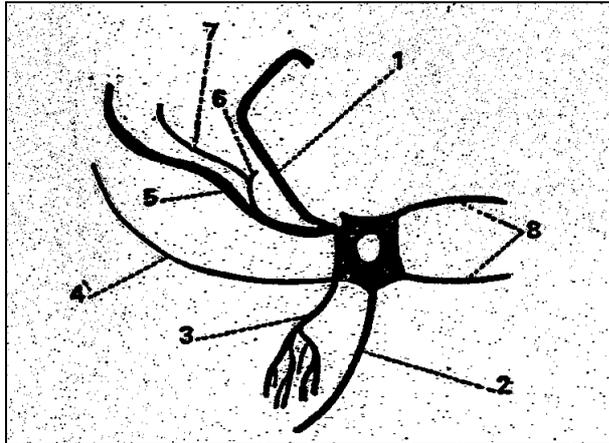
1.4.2.4- Les communications veineuses inter-caverneuses

Les sinus caverneux communiquent par des veines inter-caverneuses antérieures, postérieures et inférieures qui circulent dans la paroi dure-mérienne de la loge pituitaire (2).



Veines dépendant du territoire carotidien externe et sens du courant. D'après Théron J. Les affluents du plexus caverneux. Neurochirurgie, 1972, 18, n°7, 623-638.

1. sinus caverneux,
2. veine ophtalmique supérieure,
3. veine ophtalmique inférieure,
4. veines méningées moyennes,
5. anastomose des veines méningées moyennes et des veines émissaires sphénoïdales au niveau des trous ovales et petit rond,
6. plexus ptérygoïdien,
7. sinus nétreux inférieur.



Principales veines s'abouchant dans le sinus caverneux. Topographie de leur point d'entrée : vue schématique sur une incidence de face. D'après Théron J. Les affluents du plexus caverneux. Neurochirurgie, 1972, 18, n°7, 623-638.

1. veine ophtalmique supérieure,
2. sinus pétreux inférieur,
3. veines émissaires sphénoïdales s'anastomosant avec des plexus ptérygoïdiens,
4. veines méningées moyennes,
5. veine sylvienne superficielle,
6. veine uncinée,
7. veines sylviennes profondes pouvant dans certains cas rejoindre la veine

1.4.3- Les groupes veineux intra-caverneux

La classification utilisée est établie sur les données de l'angioscanner, elle a été proposée par Bonneville en 1988 (13).

Les veines latérosellaires sont classées en cinq groupes. Elles sont presque toujours asymétriques en taille et en localisation, à la différence des nerfs crâniens intra-caverneux :

- les veines de la paroi latérale du sinus caverneux ; ce sont les plus variables en nombre, en taille, et dans leur localisation. Elles sont observées dans plus de 95% des cas. En coupes coronales, elles délimitent partiellement la paroi latérale du sinus caverneux,
- le groupe inféro-latéral : en coupes coronales, il est visible sous la carotide interne entre le nerf abducens et le nerf ophtalmique de Willis qui apparaissent en négatif,
- la veine de la gouttière carotidienne : elle est située entre la carotide interne intra-caverneuse et la gouttière carotidienne. Elle est toujours présente excepté lorsqu'il n'y a pas d'espace entre la carotide interne et la gouttière carotidienne, ce qui représente un tiers des cas,
- la veine interne : elle peut être visible sous la forme d'une grosse veine ou de plusieurs petites veines entre la carotide interne intra-caverneuse et l'hypophyse dans environ 50% des cas,

- le plexus péri-carotidien : l'opacification de ce plexus est retardée par rapport à celle des autres veines et est souvent incomplète.

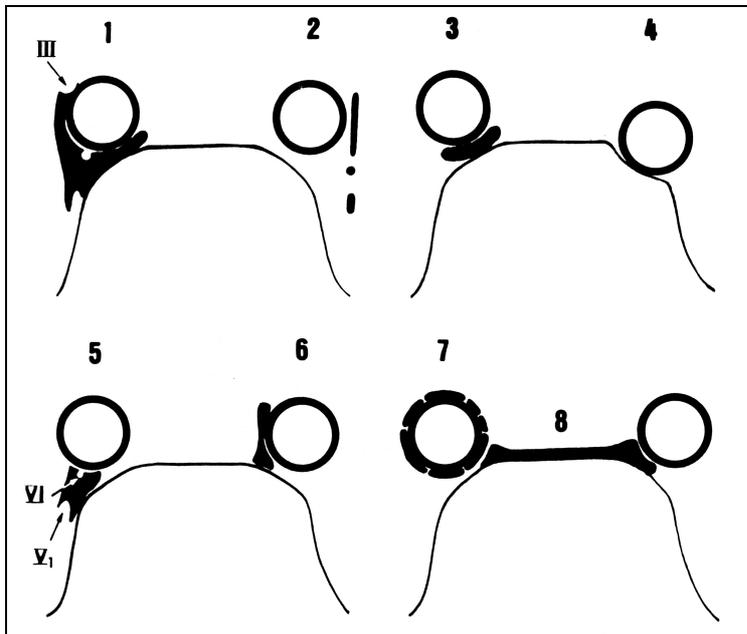


Schéma représentant les différents types de veines extradurales latérosellaires (d'après Bonneville JF, Cattin F, Dietemann JL. Le sinus caverneux en 1988, scanner et IRM. SFR, cours de perfectionnement post-universitaire, 8 au 10 novembre 1988) :

1. « vrai » sinus caverneux,
2. veines de la paroi latérale du sinus caverneux,
3. veine de la gouttière carotidienne située entre la carotide interne intracaverneuse et le sphénoïde,
4. absence de veine de la gouttière carotidienne quand la carotide interne est en contact étroit avec le sphénoïde,
5. groupe inféro-latéral délimitant le VI et le V1,
6. veine interne située entre la carotide interne intra-caverneuse et l'hypophyse,
7. plexus péricarotidien,
8. sinus intercaverneux inférieur.

1.4.4- Les efférences veineuses

1.4.4.1- Le drainage postérieur

1.4.4.1.1- Le sinus pétreux inférieur

Le sinus pétreux inférieur est un tronc veineux de gros calibre naissant de l'angle postéro-interne du plexus caverneux. Il se dirige en bas, en dedans et en arrière dans la suture pétro-occipitale pour rejoindre le foramen jugulaire. (2,11)

1.4.4.1.2- Le sinus pétreux supérieur

Le sinus pétreux supérieur est beaucoup plus grêle, il émerge du plexus caverneux en dehors du sinus pétreux inférieur et se dirige le long du bord d'insertion de la tente du cervelet sur l'arête postérieure du rocher pour rejoindre la portion sigmoïde du sinus latéral (2,11).

1.4.4.1.3- Le plexus veineux basilaire

Il s'agit d'un réseau veineux sur le clivus en relation avec les veines du canal vertébral par l'intermédiaire du plexus marginal du foramen magnum. Ce plexus veineux basilaire constitue une anastomose inter-caverneuse postérieure.

1.4.4.1.4- Le sinus pétreux occipital d'English et le plexus péri-carotidien de Rektorziik

Ils sont plus grêles et émergent en dehors et en avant du sinus pétreux inférieur. Ils constituent un véritable manchon anastomotique veineux autour de la carotide interne. Ces anastomoses se poursuivent jusqu'à la sortie du canal carotidien sur toute la longueur de l'apex pétreux (11).

1.4.4.2- Le drainage inférieur

Le drainage inférieur est constitué par des veines émissaires qui naissent de la partie inférieure du plexus caverneux et qui traversent les orifices de l'étage moyen de la base du crâne pour rejoindre le plexus ptérygoïdien. Ces veines correspondent aux veines du trou grand rond, du trou ovale et du trou déchiré antérieur et à la veine du trou de Vésalius. On note qu'en pratique radiologique seules les veines du trou grand rond et du trou ovale peuvent être distinguées (11).

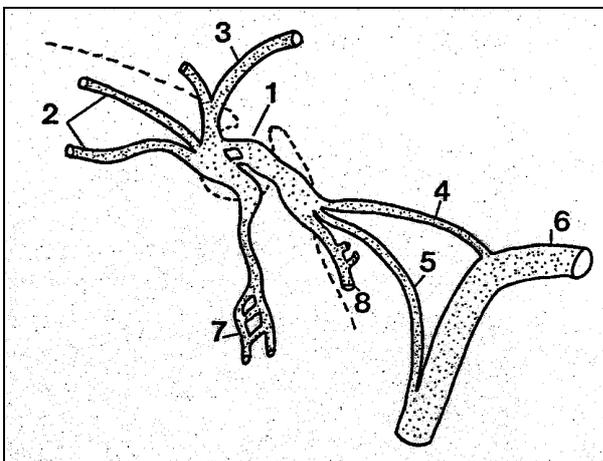
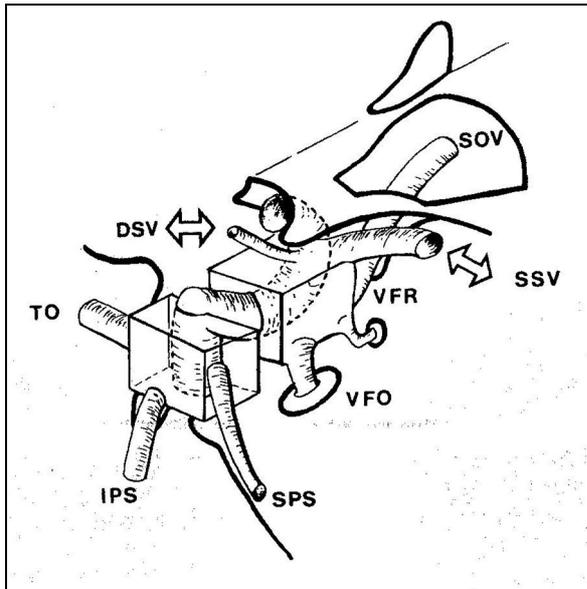


Schéma d'après Mertens P.
Anatomie chirurgicale de la
loge caverneuse.
Neurochirurgie, 1995, 41, n°3,
152-158.

Schéma des afférences et des drainages veineux de la loge caverneuse (vue latérale gauche).
Les plexus veineux de la loge caverneuse reçoivent des afférences des veines ophtalmiques (2) et du sinus sphéno-pariétal (3) et se drainent : - dans le sinus pétreux supérieur (4) vers le sinus latéral (6) - dans le sinus pétreux inférieur (5) vers le sinus sigmoïde, - à travers le foramen ovale et le foramen déchiré vers les plexus ptérygoïdiens (7) - et vers le plexus basilaire (8) en connexion avec le sinus marginal entourant le foramen magnum.
(Selle turcique (1)).



Le drainage veineux de la base du crâne vue par le dessus et de côté. Le sinus caverneux est présenté avec ses affluences et ses voies de drainage.

SOV : veine ophtalmique supérieure,
 SSV : veine sylvienne superficielle,
 DSV : veine sylvienne profonde,
 VFO : veine du foramen ovale,
 SPS : sinus pétreux supérieur,
 IPS : sinus pétreux inférieur,
 TOS : sinus occipital transverse,
 VFR : veine du foramen rotundum.

D'après Lasjaunias P, Berenstein A, Ter Brugge K.G. Surgical neuro-angiography. 1. Clinical vascular anatomy and variations, p 389.

1.4.5- Les fonctions veineuses de la loge caverneuse

1.4.5.1- Une fonction anastomotique

Le plexus caverneux réalise des anastomoses entre différents territoires qui sont:

- le drainage veineux des téguments de la région frontale, de l'orbite et d'une partie des muqueuses des fosses nasales par l'intermédiaire des veines ophtalmiques,
- les plexus veineux profond de la face (les plexus ptérygoïdiens) par l'intermédiaire des veines émissaires,
- le sinus latéral et la veine jugulaire interne par l'intermédiaire du drainage postérieur.

Ces larges communications laissent penser que des inversions de courants circulatoires peuvent se produire dans certains processus pathologiques.

1.4.5.2- Une fonction de drainage

La loge caverneuse peut drainer :

- par l'intermédiaire de la veine cérébrale moyenne superficielle la face externe de la partie postérieure du lobe frontal et de la partie antérieure du lobe temporal,
- par l'intermédiaire de la veine uncinée, elle draine la face interne de la partie antérieure du lobe temporal,

- par l'intermédiaire de la veine cérébrale moyenne profonde elle draine le cortex insulaire, les noyaux gris antérieurs et le cortex de la face inférieure du lobe frontal.

On note que ces trois vaisseaux (les veines cérébrales moyennes superficielle et profonde et la veine uncinée) s'abouchent tous les trois dans la loge caverneuse dans la moitié des cas seulement.

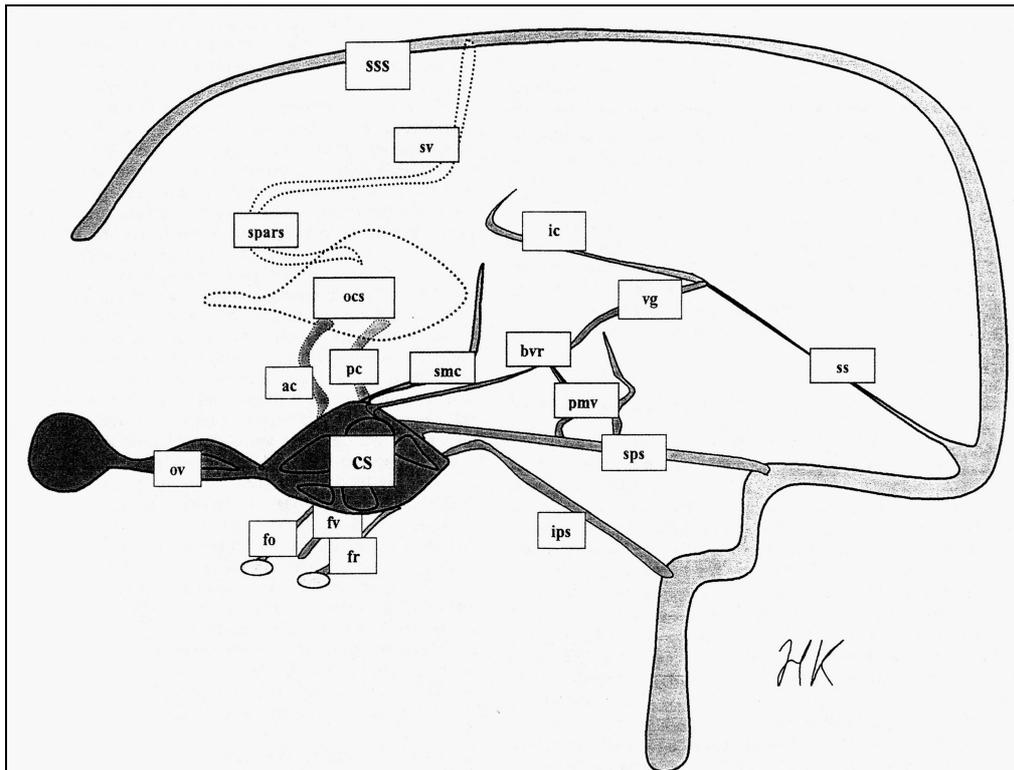


Diagramme représentant le drainage veineux vers et à partir de la loge caverneuse.

Ac = sinus coronaire antérieur (entre les sinus caverneux), bvr = veine basale de Rosenthal, cs = sinus caverneux, fo = veine du foramen ovale (vers les plexus ptérygoïdien), fr = veine du foramen rotundum (vers les plexus ptérygoïdien), fv = veine du foramen venosum (veine de Vesalius), ic = veine cérébrale interne, ips = sinus pétreux inférieur, ocs = sinus caverneux controlatéral, ov = veine ophtalmique, pc = sinus coronaire postérieur (entre les sinus caverneux), pmv = veines ponto-mésencéphaliques, smc = veine cérébrale moyenne superficielle, spafs = sinus sphéno-pariétal, sps = sinus pétreux supérieur, ss = sinus droit, sss = sinus sagittal supérieur, sv = veine sylvienne, vg = veine de Galien.

D'après Stiebel-Kalish H, Setton A, Nimii Y, Kalish Y, Hartman J, Bar-On RH, Berenstein A, Kupersmith MJ. Cavernous sinus dural arteriovenous malformations. Patterns of venous drainage are related to clinical signs and symptoms. *Ophthalmology*, 2002, 109 : 1685-1691.

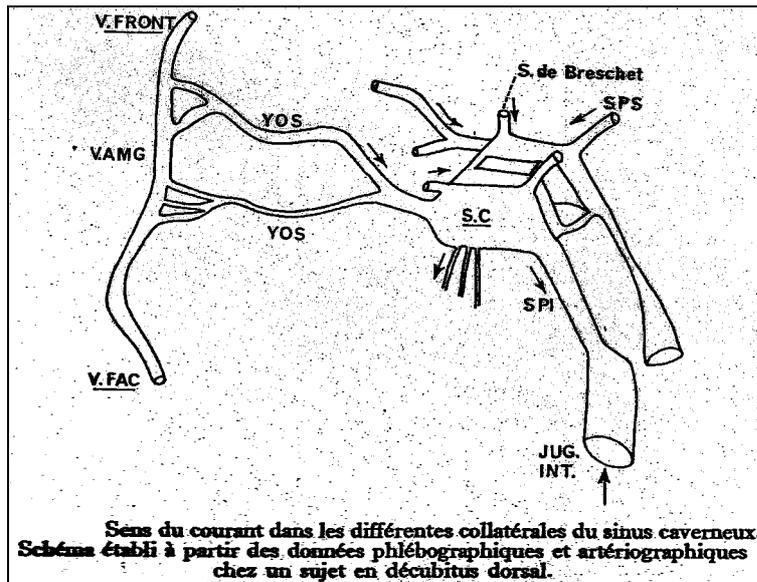


Schéma d'après Rabischong P, Clay G, Vignaud J, Paleirac R. Approche hémodynamique de la signification fonctionnelle du sinus caverneux. Neurochirurgie, 1972, 18, n°7, 613-622.

1.5- Anatomie artérielle

Dans ce chapitre, seront essentiellement décrites les branches intra-caverneuses de la carotide interne et les collatérales de la carotide externe en insistant sur les branches méningées.

1.5.1- rappels embryologiques sur le système carotidien

Les artères crânio-maxillo-faciales sont de 3 types :

- celles destinées au système nerveux central qui naissent de l'artère carotide interne,
- celles destinées au système nerveux crânio-céphalique périphérique (les nerfs crâniens) qui naissent initialement de la carotide interne et sont ultérieurement prises en charge par la carotide externe,
- celles destinées aux muscles, aux muqueuses et aux structures cutanées qui naissent de la carotide externe (14).

1.5.1.1- Embryologie et segmentation embryologique de la carotide interne

Précocement dans le développement, il existe de chaque côté une aorte ventrale et une aorte dorsale réunies par des ponts artériels nommés arcs aortiques, numérotés de un à quatre selon l'axe crânio-caudal. Les autres structures embryonnaires présentes à ce stade sont l'artère maxillaire primitive, l'artère ophtalmique dorsale, l'artère ophtalmique ventrale, l'artère cérébrale antérieure et le système neural longitudinal.

L'artère ophtalmique ventrale, l'aorte ventrale et la portion ventrale des 2 premiers arcs aortiques vont régresser puis surviennent de nombreux et complexes phénomènes d'annexion et de régression pour aboutir à la disposition adulte de la carotide interne.

Finalement, les différents segments de la carotide interne dans sa disposition classique correspondent aux structures embryonnaires suivantes :

- le 3^{ème} arc aortique (segment1),
- l'aorte dorsale entre le 2^{ème} et le 3^{ème} arc aortique (segment2),
- l'aorte dorsale entre le 1^{er} et le 2^{ème} arc aortique (segment3),
- l'aorte dorsale entre le 1^{er} arc aortique et l'artère maxillaire primitive (segment4),
- l'aorte dorsale entre l'artère maxillaire primitive et l'artère ophtalmique dorsale (segment 5),
- l'aorte dorsale entre l'artère ophtalmique dorsale et l'origine de l'artère ophtalmique (segment 6),
- le 7^{ème} ou segment terminal de la carotide interne est située entre l'artère ophtalmique et l'origine de l'artère communicante postérieure.

En aval, il n'y a plus de segment appartenant à la carotide interne.

L'apparente continuité morphologique de la carotide interne cache donc des différences significatives entre ses segments embryologiques. Les limites entre les segments embryologiques sont marquées par la présence de vaisseaux embryonnaires qui peuvent persister complètement ou partiellement chez l'adulte et être alors visibles physiologiquement en angiographie. Chacun de ces segments peut être altéré sélectivement avec préservation de segments adjacents. En cas d'agénésie segmentaire, chaque vaisseau embryonnaire représente une voie de revascularisation potentielle pour la carotide interne distale (14).

Ci-dessous sont décrits les vaisseaux embryonnaires et les segments qu'ils délimitent :

- l'artère hyoïdienne et sa branche stapédienne entre les segments 2 et 3. L'artère hyoïdienne est un reliquat dorsal du second arc aortique et naît de l'aorte dorsale, du futur segment pétreux de la carotide interne. Elle donne précocement au cours du développement sa branche stapédienne destinée à la future cavité tympanique (14).

- l'artère mandibulaire, reliquat dorsal du 1^{er} arc aortique, marque la limite entre les segments 3 et 4 (14),
- l'artère trigémينية et l'artère maxillaire primitive limitent les segments 4 et 5. L'artère trigémينية appartient au groupe des anastomoses carotido-basilaires. Elle naît de l'artère basilaire entre les artères cérébelleuses antéro-supérieure et antéro-inférieure, elle suit le nerf trigéminal avec lequel elle pénètre dans le sinus caverneux puis s'anastomose avec la portion verticale du siphon carotidien. L'artère maxillaire primitive est présente précocement régresse rapidement et incomplètement. Originaire de la face médiale de la portion verticale du siphon, elle peut naître d'un tronc commun avec l'artère trigémينية. Un de ses reliquats est l'artère hypophysaire postéro-inférieure. L'artère trigémينية et l'artère maxillaire primitive limitent les segments 4 et 5 (14),
- à un stade précoce du développement, deux artères vascularisent la région orbitaire, ce sont les artères ophtalmiques ventrale et dorsale. L'artère ophtalmique ventrale naît de l'artère cérébrale antérieure et atteint l'orbite via le canal optique. L'artère ophtalmique dorsale naît de la portion horizontale du siphon et atteint l'orbite via la fissure orbitaire supérieure. Ultérieurement, deux anastomoses sont formées, l'une dans l'orbite entre les artères ophtalmiques ventrale et dorsale et l'autre près du canal optique entre la carotide interne et l'artère ophtalmique ventrale. La portion proximale de l'artère ophtalmique ventrale va régresser ; elle va alors naître du segment supra-caverneux du siphon carotidien et prendre le nom d'artère ophtalmique primitive. L'artère ophtalmique dorsale va régresser au niveau de la fissure orbitaire supérieure ; ses reliquats proximaux sont le tronc inféro-latéral et la branche antéro-médiale naissant de la portion horizontale du siphon ; son reliquat distal intra-orbitaire est l'artère récurrente ophtalmique profonde. L'artère ophtalmique dorsale limite les segments 5 et 6. L'artère ophtalmique ventrale marque la fin du segment 6 (14).

1.5.1.2- Embryologie de la carotide externe

Les artères de l'aire maxillo-faciale peuvent être divisées en deux groupes :

- celles destinées à la crête neurale qui sont constituées d'artères branchiales ou d'arcs aortiques : à un stade précoce du développement il s'agit de bas en haut

de l'artère pro-atlante, de l'artère hypoglosse et de l'artère hyoïdienne avec sa branche stapédienne, bien qu'elles soient de différentes natures du fait de l'anatomie particulière de l'aorte dorsale en amont du 3^{ème} arc aortique ; elles vont constituer en majeure partie la carotide externe,

- celles destinées au plancher de la bouche à visée digestive qui sont des branches dérivées de l'aorte ventrale et de l'artère pharyngienne ventrale. L'artère pharyngienne ventrale est constituée par les divers vestiges ventraux du 1^{er} et 2^{ème} arc aortique ainsi que de l'aorte ventrale au dessus du 3^{ème} arc aortique. En amont du 3^{ème} arc aortique, l'aorte ventrale constitue la carotide commune qui se divise en artère pharyngienne ventrale et en carotide interne.

Cette embryologie complexe fait intervenir comme pour la carotide interne de nombreux phénomènes d'annexion et de régression pour aboutir au système carotidien externe adulte. Comme pour la carotide interne, des variantes dans cette mécanique embryologique rendent compte de nombreuses variations entre les individus et chez un même individu d'un côté à l'autre (14).

1.5.1.3- Les anastomoses carotido-vertébrales

Le système vertébro-basilaire ne concerne pas directement la loge caverneuse et ne sera donc pas décrit. En revanche, des anastomoses carotido-vertébrales embryologiques peuvent persister et être visibles lors de bilans angiographiques.

Précocement dans l'embryogenèse, 3 systèmes artériels longitudinaux existent de façon bilatérale :

- 2 systèmes ventraux correspondant à l'aorte ventrale et à l'aorte dorsale,
- un système dorsal situé sur la ligne médiane en avant du tube neural et qui correspondant aux artères neurales longitudinales qui sont paires et vont persister pour participer à la vascularisation de la moelle épinière.

Après la régression de l'aorte dorsale en aval du 3^{ème} arc aortique, pour chaque métamère cervical supérieur existe une artère qui accompagne le segment neurologique correspondant pour établir une anastomose dorso-ventrale : ainsi sont constituées la seconde artère segmentaire (artère pro-atlante type II), la première artère segmentaire (artère pro-atlante type I) et l'artère hypoglosse. Plus haut, on retrouve l'artère trigémée (14).

Au cours du développement du système vertébro-basilaire, différentes variantes peuvent survenir avec en particulier des artères embryonnaires qui peuvent persister plus ou moins complètement.

1.5.1.3.1- L'artère pro-atlante type I

Elle naît de l'origine de la carotide interne cervicale, se dirige en arrière et passe dans l'espace occipito-cervical pour pénétrer dans le canal vertébral et vasculariser le métamère C1.

Comme pour l'artère pro-atlante type II, la régression de la portion proximale favorise son annexion distale par l'artère intersegmentaire (l'artère vertébrale à ce niveau) et l'on peut noter que l'artère vertébrale n'est plus à cet étage une artère intersegmentaire mais plutôt un reliquat distal de l'artère pro-atlante I. Le reliquat proximal de cette 1^{ère} artère segmentaire constitue s'il persiste l'artère occipitale avec la constitution d'une anastomose vertébro-occipitale C1. Il s'agit alors d'une anastomose entre la carotide interne et le système vertébro-basilaire, l'artère occipitale naissant de la carotide interne.

Comme précédemment, de nombreuses variantes, sont décrites (14).

1.5.1.3.2- L'artère pro-atlante type II

Elle naît de la portion proximale de la future carotide externe, se dirige vers l'arrière, passe dans l'espace intervertébral C1-C2 puis dans le canal vertébral et vascularise le métamère C2. Cette artère embryonnaire régresse pour donner l'anastomose occipito-vertébrale C2 (entre l'artère occipitale et l'artère vertébrale). Quand elle persiste, cette artère s'anastomose avec l'artère vertébrale controlatérale pour former le tronc basilaire, il existe alors une anastomose entre la carotide externe et le système vertébro-basilaire (14). Il existe de nombreuses variantes.

1.5.1.3.3- L'artère hypoglosse

L'artère hypoglosse embryonnaire naît de l'origine de la carotide interne cervicale, rejoint le trajet de la 12^{ème} paire crânienne et entre dans la fosse postérieure par le canal hypoglosse. Elle s'anastomose avec l'artère vertébrale controlatérale en avant du tronc cérébral. L'artère vertébrale homolatérale est souvent hypoplasique. L'artère hypoglosse peut rejoindre le tronc basilaire si elle prend en charge le territoire de l'artère cérébelleuse antéro-inférieure et dans cette situation l'artère vertébrale homolatérale peut-être présente (14).

1.5.1.4- Variantes de vascularisation artérielle parasellaire

La phylogenèse de la loge caverneuse est complexe et les données embryologiques sont essentielles pour comprendre les variations observées en pratique neuroradiologique. Il est possible de dégager 3 grands types de vascularisation parasellaires :

- l'apport de la carotide interne peut dominer ; ses branches vont alors vasculariser le cerveau et des branches plus petites vont vasculariser les structures parasellaires en association avec le système carotidien externe. C'est ce qui est observé chez l'homme (14).
- la contribution peut-être équilibrée entre des branches de l'artère maxillaire interne et une petite carotide interne. C'est la situation observée chez certaines espèces animales, en particulier le chien (14),
- exceptionnellement chez l'homme l'apport carotidien externe domine, c'est le rete-mirabile.

Les variantes sont finalement très nombreuses, voici les plus fréquentes :

- agénésie de la carotide interne cervicale, pétreuse et caverneuse : les vaisseaux normalement issus de la carotide interne naissent alors d'un plexus artériel situé à coté de la selle turcique et nommé rete-mirabile. Ce plexus est alimenté par des branches de la carotide externe et en particulier par celles de l'artère maxillaire interne. Cette disposition est exceptionnellement visible chez l'homme (14),
- agénésie de la carotide interne cervicale et pétreuse compensée par le système vertébro-basilaire via l'artère trigémينية (14),
- agénésie de la carotide interne cervicale avec revascularisation par l'artère hyoïdienne via l'artère pharyngienne ascendante (14),
- agénésie du segment proximal intra-caverneux de la carotide interne avec revascularisation par l'artère maxillaire primitive naissant du siphon controlatéral et croisant la selle turcique (14),

1.5.2- La carotide interne

1.5.2.1- Branches pré-pétreuses et pétreuses

L'artère carotide interne fait suite à l'artère carotide commune dont elle suit la direction verticale ; elle pénètre dans le crâne par le foramen carotidien situé juste en avant du

foramen jugulaire. Elle chemine ensuite au sein du canal carotidien dans le rocher. Cette partie correspond au segment intra-pétreux de la carotide interne. Cette portion intra-pétreuse vascularise par de fins rameaux les parois du canal carotidien et donne une branche importante, l'artère carotido-tympanique qui vascularise la paroi de la cavité tympanique et est anastomosée avec l'artère tympanique de l'artère méningée moyenne et avec l'artère labyrinthique du tronc basilaire.

1.5.2.2- Branches intra-caverneuses

Après avoir traversé le canal pétreux, elle devient intra-caverneuse en passant le foramen lacerum, orifice situé à la partie postérieure du plancher de la loge caverneuse (4). Ce segment intra-caverneux présente deux coudes : le premier à convexité postéro-supérieure et le deuxième à convexité antéro-inférieure. C'est en raison de ces courbures que Egas Moniz a désigné ce segment sous le terme de siphon carotidien en 1927.

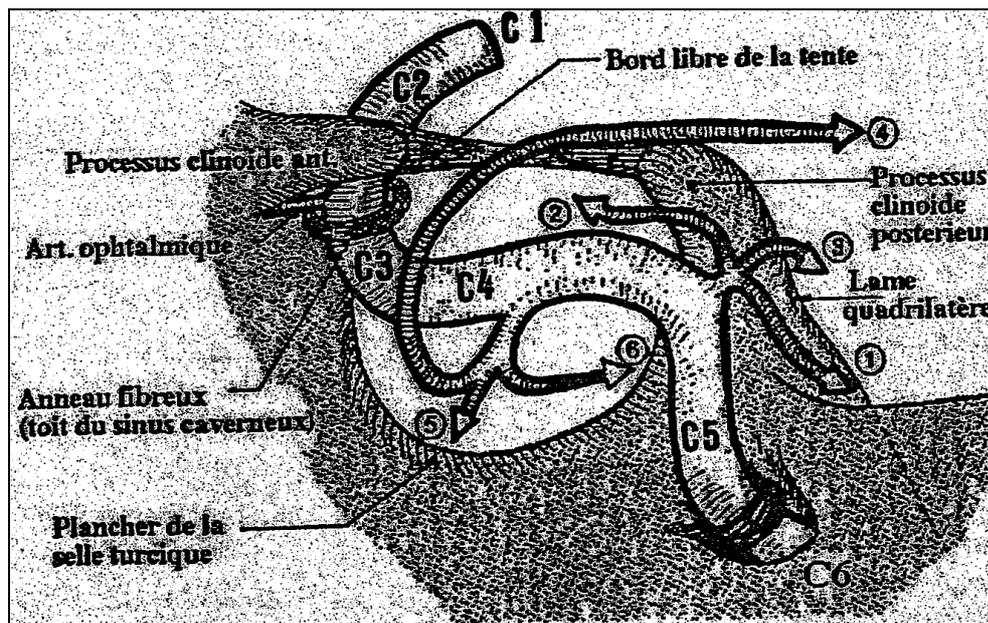


Schéma d'après Mertens P. Anatomie chirurgicale de la loge caverneuse. Neurochirurgie, 1995, 41, n°3.

Carotide intra-caverneuse et ses branches collatérales :

Tronc postéro-supérieur (ménigo-hypophysaire) :

1. artère basale de la tente
2. artère hypophysaire inférieure
3. artère méningée dorsale

Tronc inféro-latéral :

1. artère du bord libre de la tente
2. artères pour les parois de la loge caverneuse et les nerfs intra-caverneux
3. artère pour le ganglion trigéminal

1.5.2.2.1- L'artère hypophysaire postéro-inférieure

L'artère hypophysaire postéro-inférieure naît du segment C5 soit de façon indépendante soit du tronc méningo-hypophysaire nommé également tronc postéro-supérieur ou tronc postéro-interne (4). Elle est un reliquat de l'artère maxillaire primitive (14).

Elle se dirige médialement vers le bas, contourne le bord latéral du clivus pour vasculariser le lobe postérieur de l'hypophyse et s'anastomose avec son homologue opposé. Elle donne de fines branches pour la dure-mère du diaphragme sellaire, de la clinoïde postérieure et de la loge caverneuse (15).

Dans plus d'un tiers des cas, elle donne une branche nommée artère clivale médiale qui se dirige vers le processus clinoïde postérieur où elle s'anastomose avec la branche hypoglossique de l'artère pharyngienne ascendante (4).

1.5.2.2.2- L'artère clivale latérale

L'artère clivale latérale (ou méningée dorsale ou dorsale du clivus) naît du segment C5 soit de façon indépendante soit du tronc méningo-hypophysaire (4). Elle se dirige en arrière, en bas et en dedans dans la loge caverneuse puis contourne la face postérieure du clivus et descend vers la dure-mère du clivus à laquelle elle fournit de très nombreuses collatérales (15).

Elle se divise en deux branches, une médiale qui accompagne le nerf VI dans le canal de Dorello et une latérale qui suit le bord antéro-supérieur du rocher. La branche médiale s'anastomose avec la branche jugulaire de l'artère pharyngienne ascendante. La branche latérale longe le nerf trijumeau. Elle donne des rameaux artériels à ce nerf et à la face ventrale du ganglion de Gasser. Puis avec les rameaux pétreux et pétro-squameux de l'artère méningée moyenne, elle constitue une arcade artérielle vascularisant la base de la tente du cervelet (4).

1.5.2.2.3- L'artère tentorielle basale

L'artère tentorielle basale naît du segment C5 soit de façon indépendante, soit du tronc méningo-hypophysaire ou de l'artère clivale latérale. Elle participe à l'arcade pétreuse de la tente du cervelet, arcade qui suit le sinus pétreux supérieur.

1.5.2.2.4- L'artère récurrente du foramen lacerum

L'artère récurrente du foramen lacerum naît du segment C5 soit de façon indépendante soit du tronc méningo-hypophysaire. Elle vascularise le plexus nerveux autonome péricarotidien et se termine en vaso-vasorum. Elle s'anastomose avec la branche carotidienne de l'artère pharyngienne ascendante dans le canal carotidien. Elle s'anastomose également à la surface inférieure du ganglion trigéminal avec la branche postérieure du tronc inféro-latéral et avec la branche caverneuse de l'artère méningée moyenne (14).

1.5.2.2.5- L'artère latérale du ganglion trigéminal

L'artère latérale du ganglion trigéminal naît le plus souvent du segment C5. Elle se dirige latéralement et au dessus de la citerne de la loge trigéminal et vascularise la région superficielle du ganglion trigéminal et de la dure-mère adjacente (4).

1.5.2.2.6- L'artère tentorielle marginale

L'artère tentorielle marginale ou du bord libre de la tente naît du tronc méningo-hypophysaire de C5 ou du tronc inféro-latéral de C4. Elle vascularise le tiers antéro-supérieur de la tente.

1.5.2.2.7- Les artères capsulaires

Les artères capsulaires sont de très fines artères que Mac Connel a divisées en artères capsulaires inférieures et supérieures. Il en existe une à trois qui naissent de la face médiale de C4 et qui se dirigent médialement pour s'anastomoser avec les artères capsulaires controlatérales. Elles vascularisent les parois de la loge hypophysaire.

1.5.2.2.8- Le tronc inféro-latéral

Le tronc inféro-latéral ou TIL naît du segment C4 en avant du tronc méningo-hypophysaire et sur la face externe de la carotide interne. Il se dirige en avant et en bas puis, dans sa forme complète, il se divise en quatre branches :

- une branche supérieure ou tentorielle pour le toit du sinus caverneux, la troisième et la quatrième paire crânienne. Elle participe fréquemment à la constitution de l'artère tentorielle marginale,
- une branche antéro-médiale qui suit le bord supérieur du nerf VI, traverse la fissure orbitaire supérieure et donne des rameaux artériels pour les nerfs qui y cheminent avant de se terminer en artère ophtalmique récurrente,

- une branche antéro-latérale qui gagne le foramen rotundum,
- une branche postérieure qui se divise en un rameau antérieur pour le foramen ovale (V3) et un rameau postérieur qui passe sous le ganglion trigéminal qu'il vascularise avant de s'anastomoser avec l'artère méningée moyenne au niveau du foramen spinosum (4).

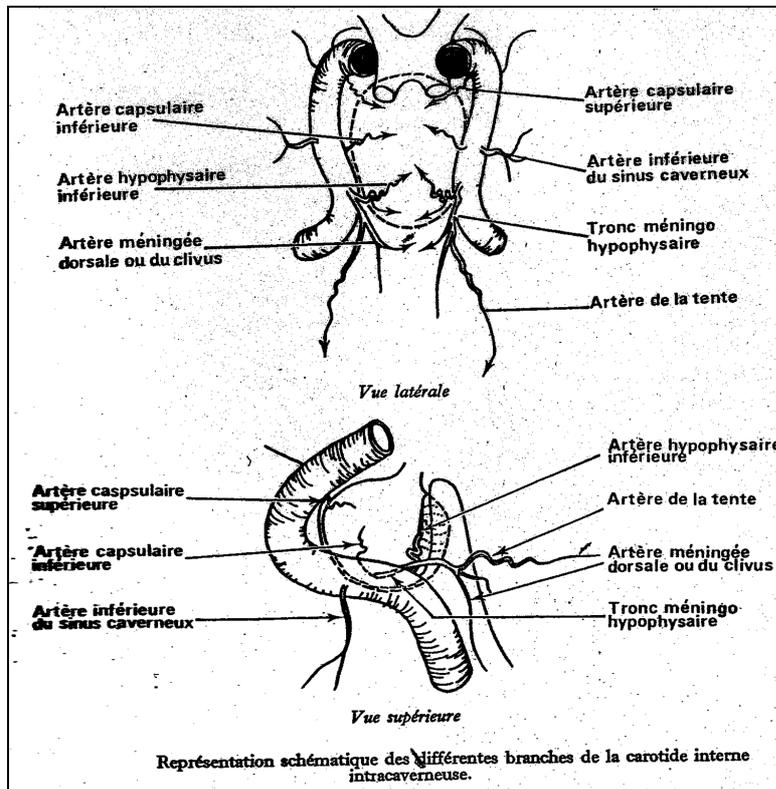


Schéma d'après Manelfe G, Tremoulet M, Roulleau J. Etude artériographique des branches intra-caverneuses de la carotide interne. Neurochirurgie, 1972, 18, n°7, 581-598.

Un équilibre hémodynamique s'établit au sein du territoire vascularisé par le tronc inféro-latéral entre les branches intracrâniennes de l'artère maxillaire interne et les branches de la carotide interne (14) :

- lorsque la carotide interne est dominante, elle donne naissance en son segment C4 à un tronc inféro-latéral proéminent qui donne des branches pour vasculariser ses 4 territoires ; ses branches vont ensuite s'anastomoser avec celles de l'artère maxillaire interne pour réaliser un équilibre hémodynamique avec l'artère maxillaire interne,
- lorsque l'artère maxillaire interne est dominante, l'artère méningée accessoire pénètre dans la fosse cérébrale moyenne via le foramen de Vesalius ou via le foramen ovale ; elle donne 4 branches identiques à celles appartenant au tronc inféro-latéral pour vasculariser la totalité de la région. Cette variante est

présente dans 20% des cas environ ; il n'y a pas d'anastomose avec la carotide interne intra-caverneuse et le tronc inféro-latéral n'est pas visible,

- dans la situation intermédiaire, la région est vascularisée à la fois par la carotide interne et l'artère maxillaire interne. L'artère méningée accessoire pénètre dans la cavité crânienne via le foramen ovale pour vasculariser les territoires antéro-latéral et postérieur alors que le tronc inféro-latéral vascularise les territoires supérieur et antéro-médial (14).

1.5.2.3- Branches extra-caverneuses

1.5.2.3.1- L'artère ophtalmique

L'artère ophtalmique est la première collatérale de l'artère carotide interne à sa sortie de la loge caverneuse. Elle naît du segment C2 puis gagne la face inférieure du nerf optique vers l'avant et le dedans en se dirigeant vers le canal optique pour vasculariser les structures orbitaires. Elle se termine par l'artère nasale qui s'anastomose avec la branche angulaire de l'artère faciale.

Son origine peut présenter des variantes, en particulier elle peut naître de l'artère méningée moyenne par l'intermédiaire d'une anastomose entre la branche récurrente de l'artère lacrymale et la branche orbitaire de l'artère méningée moyenne (16).

Dans son parcours, l'artère ophtalmique abandonne un grand nombre de collatérales intra-orbitaires, oculaires et extra-orbitaires : l'artère lacrymale, l'artère sus-orbitaire, les artères ethmoïdales et l'artère récurrente ophtalmique profonde. Cette dernière est remarquable car elle participe à la vascularisation durale de la loge caverneuse. Elle naît du segment intra-orbitaire de l'artère ophtalmique, a un trajet postérieur et rejoint la loge caverneuse en traversant la fente sphénoïdale (16).

1.5.2.3.2- l'artère communicante postérieure

L'artère communicante postérieure naît du segment supraclinoidien de la carotide interne, se dirige en arrière pour s'anastomoser avec la partie proximale de l'artère cérébrale postérieure correspondante. Cette artère présente des variations considérables allant d'un aspect hypoplasique jusqu'à un diamètre au contraire très grand. Il peut exister une double voire même une triple communicante postérieure.

1.5.2.3.3- L'artère choroïdienne antérieure

L'artère choroïdienne antérieure est un repère angiographique important car elle est toujours opacifiée. Elle naît habituellement de la face postérieure de la carotide interne, deux à quatre millimètres au dessus de l'artère communicante postérieure. Mais elle peut naître aussi de la portion horizontale de l'artère sylvienne voire même de l'artère communicante postérieure. Elle décrit initialement une courbe à concavité externe légèrement ascendante puis elle pénètre dans la corne temporale. Elle va suivre successivement le bord interne du plexus choroïde de la corne temporale, du carrefour et du corps ventriculaire puis s'anastomose avec l'artère choroïdienne postéro-latérale. Elle présente plusieurs collatérales difficilement discernables en angiographie.

1.5.2.3.4- Les branches terminales

Il s'agit de l'artère cérébrale antérieure et de l'artère cérébrale moyenne. Elles ne seront pas développées ici.

1.5.2.4- La segmentation de la carotide interne

La segmentation de la carotide interne peut-être abordée sous différents angles :

- la segmentation anatomique,
- la segmentation angiographique,
- la segmentation embryologique a déjà été abordée précédemment.

1.5.2.4.1- La segmentation anatomique

Il est possible de segmenter la carotide interne en fonction de ses rapports anatomiques :

- segment cervical
- segment initial ascendant intra-pétreux
- segment horizontal distal intra-pétreux
- segment ascendant dans le foramen lacerum et à travers le sinus caverneux
- segment horizontal du siphon carotidien
- segment clinoïdien.

1.5.2.4.2- La segmentation angiographique

Fisher, en 1938, a proposé une segmentation angiographique de la carotide interne. Cette classification considère la carotide interne comme une entité tubulaire unique et prend

essentiellement en compte des considérations techniques (accès chirurgical, manipulation endovasculaire) (14). Fisher décrit sept segments dont trois sont intra-caverneux : C3, C4 et C5 (16) :

- le segment C1 est la portion supra-clinoïdienne de la carotide interne,
- le segment C2 commence après que la carotide interne ait quitté la loge caverneuse au niveau d'un anneau dure-mérien situé en dedans du processus clinoïde antérieur et se termine à la face inférieure du processus clinoïde antérieur (4),
- le segment C3 est la portion verticale située entre le deuxième coude et la face médiale du processus clinoïde antérieur (2,4),
- le segment C4 est la portion horizontale comprise entre les deux coudes,
- le segment C5 est ascendant, il correspond à la partie située entre le foramen lacerum et le premier coude et se dirige vers le processus clinoïdien postérieur.

1.5.3- La carotide externe

1.5.3.1- Naissance de la carotide externe

La carotide externe naît de l'artère carotide primitive à hauteur de la quatrième vertèbre cervicale mais il existe des variantes. La bifurcation carotidienne peut ainsi se situer entre la première vertèbre cervicale et la deuxième vertèbre dorsale. Rarement, la carotide externe peut naître directement de l'artère sous-clavière, il n'existe alors pas de carotide primitive. L'artère carotide externe est destinée au cuir chevelu, à la face et aux enveloppes méningées.

La carotide externe avant de se diviser au niveau de loge parotidienne en ses deux branches terminales qui sont l'artère maxillaire interne et l'artère temporale superficielle, donne six collatérales.

1.5.3.2- Les collatérales de la carotide externe

1.5.3.2.1- L'artère thyroïdienne supérieure

L'artère thyroïdienne supérieure est la première branche collatérale de la carotide externe. Elle naît à sa face antérieure à un centimètre environ au-dessus de la bifurcation carotidienne. Mais elle peut naître aussi de la carotide primitive. Elle donne principalement deux branches à la glande thyroïdienne.

1.5.3.2.2- L'artère pharyngienne ascendante

L'artère pharyngienne ascendante est l'artère des muscles du pharynx. Elle est la plus grêle des collatérales de l'artère carotide externe. Elle naît habituellement au niveau de la face postérieure ou interne de la portion proximale de la carotide externe, le plus souvent à hauteur de l'artère linguale ou au-dessus, rarement au-dessous. Elle peut également naître de la portion proximale de l'artère occipitale, de l'artère linguale, de la carotide interne, de la face supérieure de la bifurcation carotidienne ou d'un tronc commun avec l'artère palatine ascendante se détachant au-dessus de l'artère faciale.

Elle a un trajet ascendant jusqu'à la base du crâne. Elle vascularise le pharynx, le voile du palais et parfois la cavité tympanique. L'artère pharyngienne ascendante présente une branche neuro-méningée qu'il est important de décrire. Cette artère donne naissance à une branche hypoglosse et à une branche jugulaire :

- la branche hypoglosse pénètre dans le crâne par le foramen hypoglosse, elle vascularise la douzième paire crânienne mais également les méninges de la fosse postérieure où elle est en équilibre avec d'autres artères de la région. Elle donne médialement une branche descendante qui va s'anastomoser avec l'artère vertébrale et une branche ascendante qui s'anastomose avec l'artère clivale médiale au niveau du dorsum sellae.
- la branche jugulaire pénètre dans le crâne par le foramen jugulaire où elle vascularise les nerfs crâniens IX, X et XI. Elle se divise ensuite en 2 branches, une branches médiale qui suit le sinus pétreux inférieur pour vasculariser le nerf VI et qui s'anastomose avec la branche médiale de l'artère clivale latérale et une branche latérale qui se dirige de façon rétrograde vers le sinus sigmoïde où son flux est en équilibre avec celui des autres artères vascularisant les méninges de la région. La branche jugulaire en aval du foramen jugulaire participe essentiellement à la vascularisation de la partie inférieure de l'angle ponto-cérébelleux (14).

1.5.3.2.3- L'artère linguale

L'artère linguale, artère principale de la langue, est la deuxième collatérale antérieure de la carotide externe. Elle peut avoir une origine commune avec l'artère faciale (trunc linguo-facial) ou avec l'artère thyroïdienne supérieure.

1.5.3.2.4- L'artère faciale

L'artère faciale est la troisième branche de la carotide externe. Elle est volumineuse, sinueuse et essentiellement destinée à la face.

Elle naît quelques millimètres au-dessus de l'artère linguale mais peut naître d'un tronc commun avec l'artère linguale ou avec l'artère thyroïdienne supérieure. Elle décrit initialement une courbe à concavité inférieure au sommet de laquelle elle donne l'artère palatine ascendante ; suit une portion descendante où se détachent les artères massétérides et l'artère principale de la glande sous-mandibulaire puis elle donne l'artère sous-mentale sur son trajet horizontal au bord inférieur de la mandibule.

L'artère faciale présente ensuite un trajet ascendant où elle donne ses collatérales superficielles aux lèvres inférieure et supérieure puis elle se termine par deux branches, l'artère de l'aile du nez et l'artère angulaire. Bien que l'artère de l'aile du nez soit plus volumineuse et plus constante que l'artère angulaire, c'est cette dernière qui est considérée par les anatomistes comme la branche terminale de l'artère faciale.

L'artère faciale présente de nombreuses anastomoses avec l'artère faciale controlatérale à tous ses niveaux. L'artère angulaire s'anastomose avec l'artère ophtalmique ce qui peut permettre une vascularisation du siphon carotidien et de ses branches en cas de thrombose de l'origine de la carotide interne.

1.5.3.2.5- L'artère occipitale

L'artère occipitale naît de la face postérieure de l'artère carotide externe à hauteur ou juste au dessus de l'origine de l'artère faciale isolément ou d'un tronc commun avec l'artère pharyngienne ascendante. Elle peut aussi naître du segment cervical de l'artère carotide interne voire du système vertébral (14).

Elle a une distribution cutanée, musculaire et neuro-méningée. Ses branches musculaires sont destinées à la région cervicale supérieure où elles s'anastomosent avec les artères vertébrales, auriculaire postérieure et cervicale. Ses branches cutanées sont destinées au scalp. Elle donne deux branches méningées pour les méninges de la fosse postérieure :

- l'artère de la faux du cervelet qui est l'extension infratentorielle de la faux du cerveau,

- la branche mastoïdienne naît de la portion horizontale de l'artère occipitale, elle entre dans la cavité crânienne par le foramen de la veine émissaire transmastoïdienne pour se situer en arrière du sinus sigmoïde où elle se divise en 3 groupes de branches :
 - un groupe descendant vers le foramen jugulaire, en équilibre hémodynamique avec la branche jugulaire de l'artère pharyngienne ascendante. Ce groupe vascularise l'os et la dure-mère de la partie inférieure de l'angle ponto-cérébelleux,
 - un groupe ascendant vers la partie postéro-supérieure de l'angle ponto-cérébelleux, s'anastomosant avec une branche de l'artère cérébelleuse antéro-inférieure,
 - un groupe postéro-médial pour la dure-mère de la fosse cérébelleuse (14).

1.5.3.2.6- L'artère auriculaire postérieure

C'est une collatérale très fine qui naît de la face postérieure de la carotide externe soit au-dessus de l'artère occipitale soit d'un tronc commun avec cette dernière. Elle est destinée au pavillon de l'oreille, au cuir chevelu rétro-auriculaire, au muscle auriculaire postérieur et à la parotide.

1.5.3.2.7- L'artère temporale superficielle

L'artère temporale superficielle est la branche terminale superficielle de la carotide externe. Elle naît dans la parotide en arrière du condyle de la mandibule. Elle est destinée à la vascularisation de la moitié supérieure de la partie latérale de la face et aux deux tiers du cuir chevelu.

1.5.3.2.8- L'artère maxillaire interne

L'artère maxillaire interne est la branche terminale profonde de la carotide externe. Elle naît dans la parotide en arrière du condyle de la mandibule et s'étend du col du condyle mandibulaire au sommet de la fosse ptérygo-maxillaire.

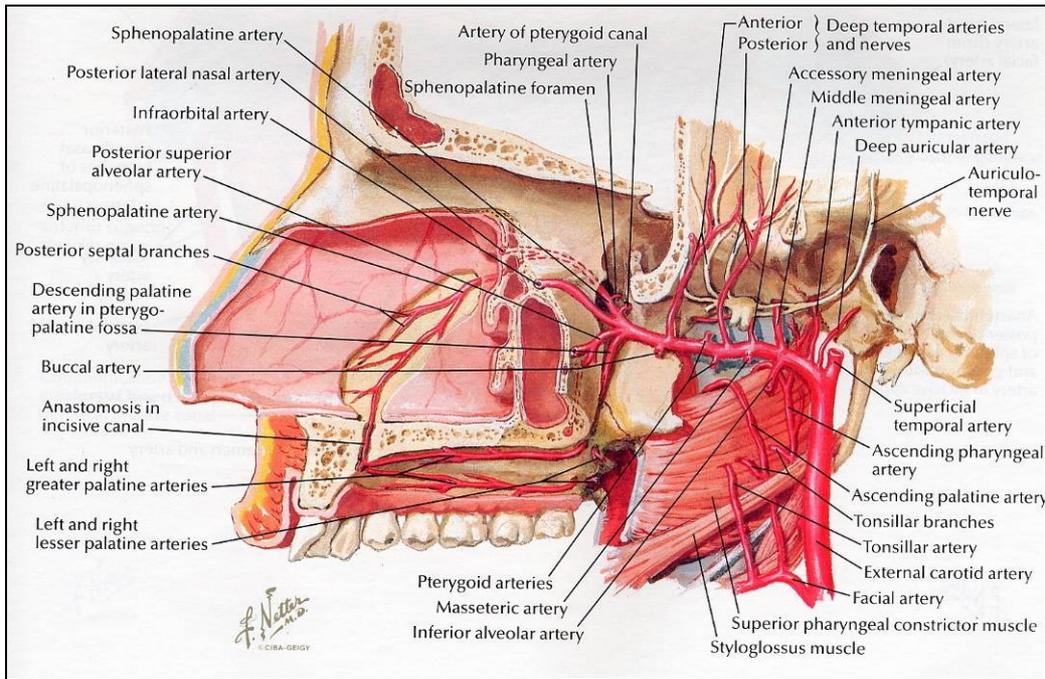
Initialement, l'artère maxillaire interne se dirige vers l'avant de façon quasi horizontale, ce qui correspond à la portion intra-parotidienne. De ce segment naissent trois collatérales dont deux à destinée méningée :

- l'artère tympanique qui se dirige en haut et en arrière vers la caisse du tympan,
- l'artère méningée moyenne qui est la branche la plus volumineuse de cette artère. Elle est initialement extra-crânienne et se dirige vers le trou petit rond qu'elle traverse pour gagner le plancher de la fosse temporale et devenir endocrânienne. On note qu'au niveau du trou petit rond, elle présente un changement de direction vers l'avant à l'origine d'une angulation caractéristique. Elle s'incurve ensuite vers le haut et se divise au niveau de la fosse temporale en deux branches :
 - la branche antérieure qui est la plus volumineuse. Elle monte le long de la suture coronale pour atteindre la région bregmatique et donner ses branches terminales. Elle donne une branche moyenne qui est variable, de territoire intermédiaire entre celui des branches antérieure et postérieure. Elle s'anastomose par ses branches terminales avec les branches terminales de l'artère correspondante controlatérale,
 - la branche postérieure se dirige vers l'arrière sur l'écaille temporale puis occipitale et se divise en deux branches. Elle vascularise la dure-mère de la convexité temporale et occipitale sus et sous-tentorielle. Elle s'anastomose avec la branche postérieure controlatérale.

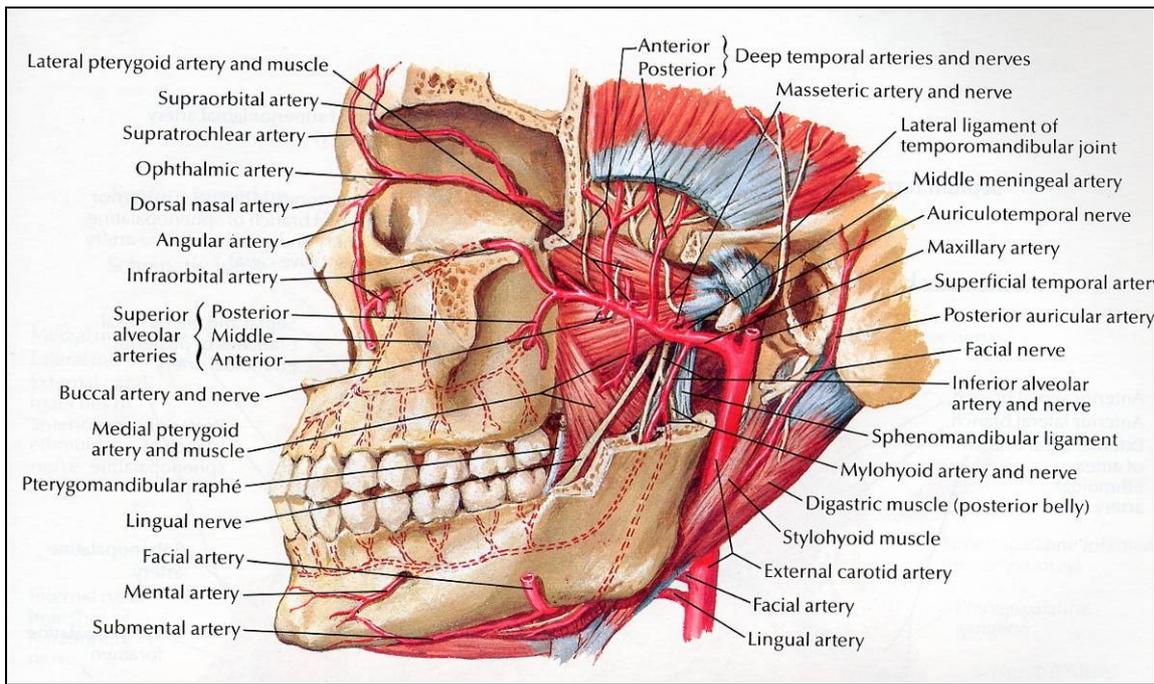
Des variations sont à connaître : l'artère méningée moyenne ou l'une de ses branches peut naître directement de l'artère ophtalmique ou de l'artère ethmoïdale antérieure voire rarement du segment intracrânien de la carotide interne,

- l'artère petite méningée ou méningée accessoire qui naît soit du segment extracrânien de l'artère méningée moyenne soit du segment horizontal de l'artère maxillaire interne. Elle se dirige vers le haut et le dedans, traverse le foramen ovale et vascularise la dure-mère de la paroi latérale du sinus caverneux, de la fossette du ganglion de Gasser et de la fosse temporale.

Ensuite, l'artère maxillaire interne a un trajet antéro-supérieur ; de cette portion naissent des branches essentiellement destinées aux muscles masticateurs et buccinateurs qui sont les artères temporales profondes, les artères massétérides et ptérygoïdennes, l'artère dentaire inférieure, buccale et sphéno-palatine.



Carotide externe et ses branches. Vue de profil. D'après Netter.



Carotide externe et ses branches. Vue de profil. D'après Netter.

1.6- La vascularisation méningée de la fosse cérébrale moyenne

La vascularisation méningée de la fosse cérébrale moyenne provient des branches méningées de la carotide interne et externe. Il est possible de dégager plusieurs territoires artériels : la loge caverneuse, le clivus, la partie antérieure de la tente du cervelet, la tente de l'hypophyse, le plancher hypophysaire et la fosse temporale.

Chacun de ses territoires présente une vascularisation mixte, à la fois de la carotide interne et de la carotide externe et il existe des variantes anatomiques (17).

1.6.1- La loge caverneuse

La face antérieure de la loge caverneuse reçoit l'artère récurrente ophtalmique profonde qui est une branche de l'artère ophtalmique dans son fragment intra-orbitaire et qui rejoint la loge caverneuse par la fissure orbitaire.

La face latérale de la loge caverneuse reçoit l'artère petite méningée qui naît soit de l'artère maxillaire interne soit de l'artère méningée moyenne dans sa portion exocrânienne et qui rejoint la loge caverneuse par le foramen ovale ou par le foramen de Vésalius.

La face médiale de cette loge reçoit des rameaux issus du tronc inféro-latéral, branche de la carotide interne intra-caverneuse dans sa portion C4.

La face postérieure reçoit le rameau caverneux de l'artère méningée moyenne juste après que celle-ci ait traversé le foramen spinosum pour devenir intracrânienne.

La face inférieure de la loge caverneuse reçoit l'artère du foramen rotundum qui est une branche de la partie toute terminale de l'artère maxillaire interne et qui est satellite du nerf maxillaire supérieur, elle rejoint la loge en passant par le trou grand rond.

Toutes ces branches sont anastomosées entre-elles mais leur calibre est variable. Ainsi l'un des pédicules peut apparaître comme le pédicule méningé unique de cette région, en notant que pour P. Lasjaunias, cet aspect de pédicule unique n'a jamais été observé pour l'artère du foramen rotundum (17). De ces branches naissent des collatérales qui vascularisent le contenu de la loge, les méninges de la fente sphénoïdale, de la clinoïde antérieure et de la partie de la fosse temporale adjacente à la loge caverneuse.

1.6.2- Le clivus

La vascularisation méningée du clivus dépend de trois collatérales postérieures de la carotide interne intra-caverneuse : l'artère médiane du clivus, l'artère latérale du clivus et l'artère du ganglion de Gasser. Ces branches peuvent naître d'un tronc unique ou d'artères séparées.

Même si ces trois branches naissent de la carotide interne, il existe des anastomoses avec des collatérales de la carotide externe. En effet, ces trois branches sont anastomosées avec des collatérales de l'artère pharyngienne ascendante (rameau hypoglosse ou rameau jugulaire) et avec des collatérales de l'artère méningée moyenne (rameau pétreux). Il existe également des anastomoses avec des collatérales du siphon carotidien controlatéral.

1.6.3- La tente du cervelet : bord libre et insertion antérieure

Le bord d'insertion de la tente du cervelet ou grande circonférence est vascularisé par des branches de la carotide interne et externe :

- l'artère latérale du clivus née de la carotide interne intra-caverneuse dans son segment C5.
- les rameaux pétreux de l'artère méningée moyenne.
- le tronc pétro-squameux de l'artère méningée moyenne.

Ces trois branches constituent l'arche artérielle du sinus pétreux supérieur. Pour P. Lasjaunias, on peut considérer qu'il existe schématiquement une artère bordant la tente au niveau de l'extrémité antérieure de son bord libre (17). Cette artère constante voit son origine varier vers l'avant : elle peut naître en effet de l'artère méningée moyenne, de l'artère lacrymale (branche de l'artère ophtalmique), de l'artère ophtalmique intra-orbitaire, du tronc inféro-latéral (issu du siphon carotidien), de l'artère petite méningée ou du groupe postérieur des collatérales de la carotide interne.

1.6.4- La loge hypophysaire

La loge hypophysaire est vascularisée par des collatérales de l'artère du bord libre de la tente du cervelet ou par des branches supérieures du tronc inféro-latéral lorsque l'artère du bord libre naît du groupe postérieur des collatérales de la carotide interne intra-caverneuse. Elle reçoit également des branches des segments C1 et C2 de la carotide interne et probablement de la communicante postérieure (17).

Le plancher de la loge hypophysaire est vascularisé par les artères capsulaires issues de la portion C4 de la carotide interne intra-caverneuse.

1.6.5- La fosse temporale

La fosse temporale et la fente sphénoïdale sont vascularisées par des branches de l'artère méningée moyenne, par des branches du tronc pétreux-squameux de l'artère méningée moyenne et par des rameaux antérieurs du tronc inféro-latéral.

Chapitre 2 - Les fistules durales de la loge caverneuse

2.1- Définition du terme général « fistule durale »

Le terme général de fistule durale fait référence à une communication anormale ou « shunt » artério-veineux au niveau de la paroi dure-mérienne d'un sinus veineux. Le sinus parent est souvent rétréci ou thrombosé. L'apport artériel provient pour les fistules durales intra-crâniennes de branches durales issues des carotides internes et/ou externes. Le drainage veineux peut emprunter le sinus dural lui-même ou d'autres veines durales voire des veines leptoméningées (18).

Le terme malformation artério-veineuse durale, également utilisé, peut sous-entendre qu'il s'agit d'une anomalie congénitale, il apparaît pourtant que dans la majorité des cas la fistule durale est acquise. Ainsi, bien que les deux termes soient encore employés, de nombreux auteurs préfèrent utiliser le terme de fistule artério-veineuse durale (19).

Les fistules durales se distinguent des malformations artério-veineuses cérébrales qui sont alimentées par des artères à destination cérébrale, elles se distinguent également des angiomes cortico-méningés dont l'alimentation artérielle est mixte, à la fois méningée et cérébrale (20).

2.2- Epidémiologie des fistules durales :

Les fistules durales, toutes localisations confondues, représentent 10% à 15% de toutes les malformations vasculaires intracrâniennes (19, 21) et correspondent à environ 6% des malformations artério-veineuses supra-tentorielles et 35% des malformations artério-veineuses infra-tentorielles (22). Il s'agit d'une pathologie rare (19) ; les localisations les plus fréquentes concernent les sinus transverse et sigmoïde, suivie par le sinus caverneux, l'étage antérieur de la base du crâne et la tente du cervelet (22, 23).

Dans une méta-analyse sur 258 cas publiés il est retrouvé 26% des fistules au niveau de la loge caverneuse, 25% en regard des sinus transverse et sigmoïde, 26% au niveau de la tente du cervelet, 11% sur la convexité et le sinus sagittal supérieur, 9% sur la fosse cérébrale antérieure et 4% sur la fosse cérébrale moyenne en dehors de la loge caverneuse (19).

Les fistules durales de la loge caverneuse sont une pathologie acquise et surviennent le plus souvent chez des femmes ménopausées, elle peuvent concerner des patientes plus jeunes et sont alors souvent associées à la grossesse ; elles sont parfois attribuées à un antécédent de traumatisme ou de chirurgie. Elles représentent la plupart des fistules carotido-caverneuses spontanées et le shunt est habituellement à flux lent (24).

2.3- Présentation clinique des fistules durales de la loge caverneuse

Contrairement aux fistules carotido-caverneuses directes (type A de Barrow), la symptomatologie des fistules durales de la loge caverneuse débute le plus souvent de façon insidieuse et est en rapport avec une contamination du système veineux caverneux à basse pression par le système artériel à haute pression. La plupart des patients n'ont pas de bruit ou d'exophtalmie pulsatile évocateurs de lésion vasculaire, le diagnostic peut alors prendre plusieurs mois (24).

Le tableau clinique associe des signes variables en relation avec les voies de drainage veineuses utilisées par la fistule : souffle en cas de drainage postérieur, manifestations oculaires et orbitaires en cas de drainage antérieur, hémorragie intracrânienne en cas de drainage rétrograde leptoméningé. Ces symptômes peuvent être homolatéraux, bilatéraux ou controlatéraux en raison de voies de communication entre les deux loges caverneuses. Un accident hémorragique peut exceptionnellement être en rapport avec une rupture d'une paroi de la loge caverneuse en cas de fistule à haut débit (25).

2.3.1- signes orbitaires

Les fistules durales de la loge caverneuse peuvent être à l'origine de signes cliniques parfois caractéristiques en particulier au niveau orbitaire (26) :

- exophtalmie pulsatile ou non,
- congestion orbitaire et chémosis conjonctival,
- souffle orbitaire et palpation d'un « thrill » orbitaire, fortement évocateur de lésion vasculaire mais pouvant également être secondaire à une tumeur orbitaire hypervascularisée (27),
- diplopie dont l'origine peut être un dysfonctionnement musculaire orbitaire ou une atteinte d'un nerf oculomoteur (en particulier la IIIème ou la IVème paire crânienne (19)),

- élévation de la pression intra-oculaire avec possible hémorragie rétinienne et œdème rétinien,
- baisse d'acuité visuelle voire perte de la vision par neuropathie optique, glaucome secondaire ou par hémorragie choroïdienne.

Les petites baisses d'acuité visuelle, conséquence de l'hypoxie oculaire induite par les fistules durales, sont souvent réversibles si un traitement rapide est institué. Au contraire si la perte de vision est importante, au point que la perception lumineuse soit abolie, alors l'atteinte est souvent irréversible même si la fistule est rapidement traitée. La diminution d'acuité visuelle peut être rapide et complète en quelques heures.

Tous les patients doivent être informés de la nécessité d'une surveillance régulière de leur vision et qu'une perte d'acuité visuelle est une indication de traitement urgent. Avant que la perte de vision ne soit attribuée à une atteinte vasculaire ischémique, un bilan ophtalmologique doit exclure d'autres causes comprenant les hémorragies rétinienne, l'œdème papillaire, le glaucome, la cataracte et l'œdème cornéen (28).

2.3.2- Signes extra-orbitaires

En cas de drainage veineux postérieur ou rétrograde leptoméningé des signes cliniques extra-orbitaires peuvent représenter le mode de manifestation des fistules :

- acouphènes pulsatiles,
- céphalées,
- parfois survient un accident vasculaire cérébral, hémorragique ou par infarctus veineux, à l'origine de symptômes divers selon sa localisation.

En étudiant rétrospectivement 36 cas de fistuleurale de la loge caverneuse, Lasjaunias et al (29) retrouvent chez 42% des patients un bruit orbitaire, chez 28% un déficit visuel, chez 83% une exophtalmie, chez 3% un symptôme neurologique focal d'origine centrale et chez 44% un déficit neurologique périphérique. Dans cette étude aucun patient n'a présenté un accident hémorragique.

2.3.3- Le syndrome d'aggravation paradoxal

Sergott et al (30) ont décrit un syndrome d'aggravation paradoxal des fistules durales de la loge caverneuse avant la résolution spontanée. Les auteurs ont rapporté les cas de 3 patientes ayant présenté une nette aggravation de leurs symptômes neuro-ophtalmologiques (hypertonie oculaire dans tous les cas, exophtalmie dans 2 cas, diplopie dans 2 cas et baisse d'acuité visuelle dans 2 cas). Seule une patiente a été traitée de façon invasive mais sans guérison angiographique ou clinique initialement. Une thrombose complète et spontanée de la veine ophtalmique supérieure (VOS) a été mise en évidence chez les 3 patientes en artériographie et chez 2 patientes en IRM. La résolution des symptômes a été complète dans les 3 cas.

Alors que le plus souvent l'aggravation des signes ophtalmologiques est attribuée à une augmentation du flux dans la VOS, les auteurs soulignent que cette aggravation peut également être en rapport avec une thrombose de la VOS et alors représenter un possible critère prédictif de résolution spontanée.

Les auteurs (30) proposent une explication physiopathologique : la thrombose de la VOS sans qu'aucune veine collatérale n'ait eu le temps de se développer aboutit à une élévation de la pression veineuse avec congestion orbitaire, alors que la thrombose progresse vers la loge caverneuse des veines collatérales se développent jusqu'à guérison des signes orbitaires, la thrombose de la loge caverneuse aboutit à la guérison de la fistule. Les auteurs proposent, en cas d'imagerie évocatrice de fistule dure de la VOS d'utiliser l'IRM pour évaluer la VOS, en cas de thrombose de la VOS l'aggravation des signes peut être prédictif de guérison et en l'absence de signes de gravité le patient pourra être surveillé ; au contraire si l'IRM met en évidence un flux à haut débit dans la VOS sans thrombose une artériographie est nécessaire pour discuter d'une embolisation.

2.4- Physiopathologie des fistules durales

La physiopathologie des fistules durales reste encore incomplètement comprise. Initialement les fistules durales étaient considérées comme congénitales, notamment du fait de la découverte concomitante d'autres lésions comme des anévrysmes ou des malformations artério-veineuses cérébrales (19). Néanmoins dans la littérature il est généralement accepté

que ces lésions sont des lésions acquises, hypothèse appuyée par les cas de plusieurs patients ayant un antécédent de bilan angiographique normal puis ayant présenté une fistule durale (31) ; Lasjaunias et Bereinstein considèrent même que les fistules durales du nourrisson se formeraient en réponse à une obstruction veineuse pendant la vie intra-utérine. Deux mécanismes sont évoqués dans la pathogenèse des fistules durales : l'ouverture de microshunts préexistants dans la paroi dure-mérienne et la création angiogénique de ces microshunts (19).

L'élément initiateur du développement d'une fistule durale semble être une modification du gradient de pression artério-veineux dans la dure-mère et tout élément induisant une hypertension veineuse, par un phénomène thrombotique ou non, pourrait favoriser une telle pathologie. La thrombose du sinus dural peut être l'initiatrice de l'hypertension veineuse et engager un cercle vicieux conduisant à la formation de la fistule durale. Cependant la fistule durale, en artérialisant le sinus dural, provoque des lésions intimes et induit par elle-même une hyperplasie intinale et une sténose qui peut favoriser une thrombose (32). Donc bien que les fistules durales et les thromboses veineuses soient fréquemment associées, la physiopathologie et la chronologie entre ces deux éléments restent imprécises (33). Enfin l'association de certaines fistules durales avec la grossesse et la ménopause suggère l'implication de facteurs hormonaux source d'une activité angiogénique accrue à l'origine du shunt (19).

2.4.1- Données anatomopathologiques

Sur le plan macroscopique chaque artère dont le but est de vasculariser le cerveau ou la moelle donne naissance à une branche méningée lorsqu'elle pénètre la dure-mère. Ces artères pénètrent systématiquement la dure-mère à travers un sinus veineux ou bien sont entourées par un plexus veineux. Par exemple les artères carotides internes pénètrent la dure-mère à travers le sinus caverneux, les artères vertébrales à travers le sinus marginal et les artères radiculaires au niveau médullaire sont entourées par le plexus veineux épidual. Les relations intimes entre les branches méningées et les sinus veineux sont ainsi des opportunités anatomiques pour le développement des fistules durales. Indépendamment du type de la fistule durale et de sa localisation, les shunts surviennent sur les points de traversée de la dure-mère par les branches méningées : à ce niveau les artères méningées qui circulent en dehors des feuillets durs se rapprochent des veines méningées qui circulent entre les feuillets durs. La dure-mère a un riche réseau d'anastomoses artérielles, ce qui explique pourquoi

les malformations apparemment vascularisées uniquement par des branches de la carotide externe peuvent rapidement recruter des branches de la carotide interne après embolisation (34).

Sur le plan microscopique, les études anatomopathologiques retrouvent un épaissement de la dure-mère et une prolifération vasculaire intense dans la paroi et autour de la paroi du sinus concerné. Parfois une masse de tissu fibreux contenant de nombreux espaces vasculaires irréguliers est retrouvée dans la lumière du sinus (19).

Les données récentes considèrent que le shunt artério-veineux est initialement situé dans la paroi du sinus et que secondairement se crée une communication entre le versant veineux de la prolifération vasculaire durale et la lumière du sinus (19).

2.4.2- Hypothèses pathogéniques

2.4.2.1- Influence de la thrombose veineuse

2.4.2.1.1- Reperméabilisation de vaisseaux dure-mériens physiologiques

Djindjian et Merland ont postulé, en observant que la grande majorité des patients de leur étude ne présentait aucun symptôme avant la survenue d'un élément déclenchant médical, chirurgical, traumatique ou obstétrical, que de tels contextes pouvaient conduire à une thrombose veineuse à l'origine d'une fistule durale. Selon leur hypothèse, la fistule correspondrait à une ouverture pathologique de shunts artério-veineux physiologiques préexistants dans la paroi durale en réponse à une thrombophlébite (35).

Pour Chaudhary et al, la thrombose, ou la thrombophlébite du sinus dural ou des veines de drainage, apparaissent être fréquemment associées à ces lésions et pourraient être à leur origine en induisant une croissance du lit artériel normalement présent dans la paroi durale. Cette hypothèse est appuyée par les cas de quatre patients ayant développé une fistule durale après un traumatisme crânien en faveur d'une origine acquise. Les cas développés chez l'enfant pourraient s'expliquer par une thrombose de sinus dural post-traumatique lors de la naissance (compression des os du crâne) (35).

2.4.2.1.2- Hypothèse inflammatoire

Houser et al ont rapporté les cas de deux patients ayant développé une fistule durale après une thrombose veineuse (35), et ont retrouvé 80% de sinus duraux thrombosés chez les

patients porteurs d'une fistule durale (32). Ils ont soulevé, ainsi que Sundt et Piepgras, une hypothèse angiogénique inflammatoire de formation des fistules durales selon laquelle la thrombose du sinus dural et l'organisation du thrombus provoquent une inflammation et un processus de recanalisation stimulant la formation de néo-vaisseaux. Cette angiogénèse conduirait à une communication entre le réseau vasculaire de la paroi durale et la lumière du sinus dural (32).

2.4.2.1.3- Trouble de l'hémostase

Dans leur étude, Kraus et al ont retrouvé une surreprésentation de résistance à la protéine C activée chez les patients porteurs d'une fistule durale comparativement aux patients témoins, ceci étant toujours en faveur d'un rôle initiateur de la thrombose veineuse dans la genèse des fistules durales (19).

2.4.2.2- *Influence de l'hypertension veineuse*

2.4.2.2.1- L'hypertension veineuse, élément initiateur

Des cas de fistules durales développées lors de compression tumorale directe d'un sinus ou dues au sacrifice chirurgical d'un sinus suggèrent que plus que la thrombose, c'est l'hypertension veineuse qui conduirait à la formation des fistules durales.

Terada et al, en induisant artificiellement une hypertension veineuse chez des rats, ont retrouvé la formation de plusieurs malformations artério-veineuses dont l'une située sur un sinus dural (19). Ils ont émis l'hypothèse que l'exposition chronique à l'hypertension veineuse pourrait dilater les artéριοles durales et induire une perte de leur contrôle sphinctérien, ces vaisseaux sans régulation se conduiraient alors comme des shunts artério-veineux (32).

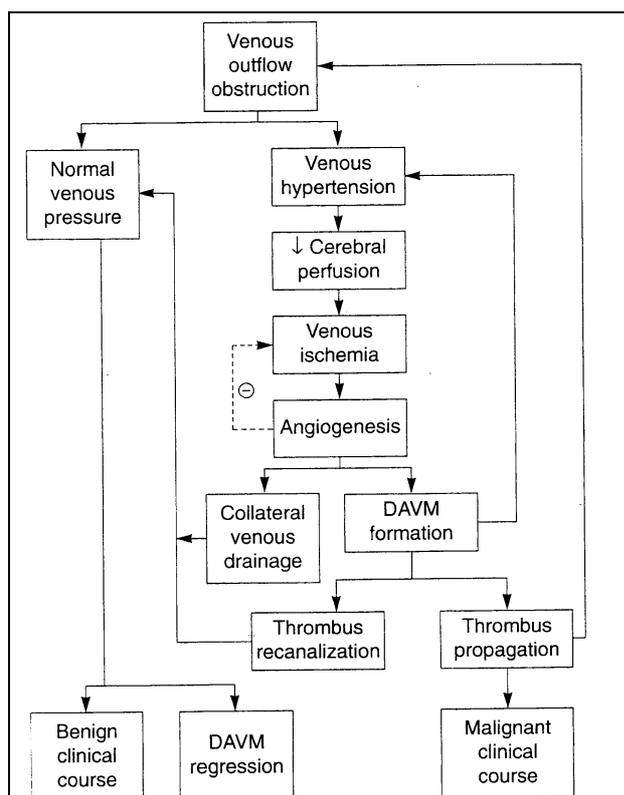
2.4.2.2.2- Hypothèse ischémique

Lawton et al (32) ont étudié des rats porteurs d'une thrombose veineuse induite et pour une partie seulement d'une hypertension veineuse (anastomose chirurgicale entre carotide commune et veine jugulaire externe). Ils ont ensuite prélevé de la dure-mère qu'ils ont greffée sur des cornées de lapin afin de mesurer l'activité angiogénique dure-mérienne. Leur étude a permis de retrouver une relation significative entre hypertension veineuse et activité angiogénique et entre formation de fistule durale et activité angiogénique. Cette étude soulève une hypothèse angiogénique ischémique de formation des fistules durales selon laquelle

l'ischémie induite par l'hypertension veineuse aboutit à la production de facteurs angiogéniques par le tissu cérébral, ces facteurs stimulent la création de néo-vaisseaux dans la paroi du sinus dural à l'origine du shunt. Une fois le shunt installé, l'artérialisation du sinus accroît l'hypertension veineuse mais également l'obstacle au drainage veineux, plusieurs études ayant montré que le flux artériel turbulent dans un sinus dural provoque des lésions intimes et favorise ainsi un épaissement de sa paroi et une thrombose luminale.

Il s'agit donc d'un cercle vicieux concourant à une majoration de la fistule. Cette hypothèse compare donc les fistules durales à d'autres pathologies où existe une angiogénèse inadaptée comme la rétinopathie diabétique ou l'hémangiome capillaire. L'hypothèse angiogénique ischémique permet d'expliquer, contrairement à l'hypothèse angiogénique inflammatoire, comment des fistules durales peuvent se constituer loin de la thrombose durale.

De plus lors de l'étude de Lawton, la comparaison des pressions veineuses avant et après induction de la thrombose veineuse n'a pas retrouvé de différences significatives dans le groupe de rats chez qui il n'avait pas été provoqué chirurgicalement d'hypertension veineuse. Pour Lawton ceci montre que dans la plupart des thromboses veineuses il ne se développe pas d'hypertension veineuse grâce à des voies collatérales de drainage, ce n'est que lorsque ces dernières sont insuffisantes et que la pression veineuse s'élève que la création d'une fistule durale peut être favorisée (32).



Algorithme représentant l'hypothèse pathogénique selon laquelle l'ischémie induite par l'hypertension veineuse stimule une angiogénèse qui si elle est aberrante peut conduire à une fistule artério-veineuse. D'après Lawton MT, Jacobowitz R, Spetzler RF. Redefined role of angiogenesis in the pathogenesis of dural arteriovenous malformations. Journal of neurosurgery, 1997, 87 : 267-274.

2.4.2.3- Influence hormonale :

2.4.2.3- Influence hormonale

Les fistules durales de la loge caverneuse surviennent surtout à la ménopause ; l'influence des changements hormonaux reste incomprise malgré plusieurs études. Kurata et al ont évoqué la participation d'une baisse brutale du taux d'œstrogène comme facteur favorisant, cependant Terada et al en étudiant chez des rats l'influence d'une ovariectomie avec et sans oestrogène-thérapie n'ont pas retrouvé un taux anormal de fistuleurale (19).

2.4.3- Physiopathologie des signes cliniques

2.4.3.1- Symptômes d'origine artérielle

Il a été proposé que le phénomène de vol artériel puisse intervenir dans les manifestations neurologiques centrales. Néanmoins les fistules durales de la loge caverneuse étant le plus souvent à bas débit, les afférences artérielles peuvent continuer à alimenter de façon suffisante les structures orbitaires et les nerfs crâniens ; les symptômes observés sont donc rarement en relation avec un vol artériel (26).

Cependant les artères méningées interviennent dans la vascularisation des nerfs crâniens. Dans une étude rétrospective de Lasjaunias (29), sur 191 fistules durales dont 36 localisées à la loge caverneuse, un cas de paralysie faciale était causé par un vol artériel du à une artère méningée alimentant une fistuleurale de la fosse crânienne moyenne. De même les atteintes de nerfs crâniens produites ou résolues par des interventions endo-vasculaires au niveau de la base du crâne sont en faveur d'une participation du vol artériel dans certains symptômes. Pour Lasjaunias (29), les atteintes des nerfs crâniens dans les fistules durales de la loge caverneuse peuvent être dues au mécanisme de vol artériel et/ou à la pathologie veineuse occlusive ; pour les autres localisations fistuleuses, l'hypothèse physiopathologique la plus satisfaisante expliquant ces atteintes est le mécanisme de vol artériel.

Pour Davies et al (36), bien que le vol artériel puisse produire une ischémie responsable d'une atteinte d'un nerf crânien, le rôle du système veineux est déterminant dans la nature et la localisation des manifestations neurologiques focales ou diffuses par le biais du drainage veineux rétrograde, de la pathologie thrombotique, de l'ischémie ou de l'effet de masse.

2.4.3.2- *Symptômes liés au shunt*

Les acouphènes pulsatiles semblent en partie liés au shunt, mais ce symptôme n'est courant que pour certaines localisations de fistule durale. Il apparaît que les acouphènes ne sont perçus que si le drainage de la fistule concerne un sinus dural en contact direct avec la pyramide pétreuse, l'intensité des acouphènes est alors proportionnelle à l'importance du flux dans le shunt (29).

2.4.3.3- *Symptômes d'origine veineux*

Stiebel-Kalish et al (26) ont réalisé, à partir de 85 fistules durales de la loge caverneuse, une étude statistique cherchant à évaluer la valeur prédictive de 4 types de drainage veineux sur les signes cliniques :

- la présence d'un drainage vers la portion antérieure du sinus caverneux et la veine ophtalmique est statistiquement corrélé avec la congestion orbitaire, l'élévation de la pression intraoculaire (et le glaucome secondaire) et la neuropathie optique,
- le drainage vers le sinus pétreux inférieur est statistiquement corrélé aux parésies de la troisième paire crânienne,
- le drainage vers le sinus pétreux supérieur est statistiquement prédictif de signes neurologiques centraux. Les 11 patients présentant ce type de drainage présentaient également un drainage rétrograde cortical,
- la thrombose de la veine ophtalmique est significativement corrélée aux chambres antérieures de petite taille et aux effusions choroïdiennes.

2.4.3.3.1- Haut débit et engorgement veineux

Chez le nouveau-né et le nourrisson les lésions fistuleuses à haut débit peuvent conduire à des défaillances cardiaques voire au décès. Ces lésions produisent souvent un effet de masse intracrânienne dû à la constitution de lacs veineux. Elles peuvent également être source d'une hypertension intracrânienne, d'une hydrocéphalie communicante et d'une macrocéphalie secondaire.

Ces effets semblent liés à une élévation de pression chronique dans le sinus sagittal supérieur et des manifestations équivalentes ont déjà été observées dans la population adulte avec œdème papillaire et baisse d'acuité visuelle secondaire. Deux facteurs ont été proposés pour expliquer ces symptômes : la gêne chronique à l'absorption du liquide cérébrospinal par

les granulations arachnoïdiennes du sinus sagittal supérieur secondairement à l'hypertension veineuse, et la répétition d'épisodes minimes d'hémorragie sous-arachnoïdienne avec réaction méningée secondaire ; le premier mécanisme est le plus fréquent, le deuxième dépend spécifiquement du drainage intra-dural (29).

Bien que le terme d'hypertension veineuse ne soit théoriquement utilisable que lorsque des mesures de pression veineuse sont effectuées, il existe des signes angiographiques d'hypertension veineuse bien établis. Ces signes découlent de l'aspect du drainage veineux de la fistule durale avec remplissage rétrograde des veines leptoméningées, voire du système veineux profond, et de l'étude du temps de circulation cérébrale qui est allongé avec une visualisation anormale des veines cérébrales (33).

Plus rarement il peut exister une hypertension veineuse sans drainage rétrograde leptoméningé, probablement due à l'existence d'un drainage veineux antérograde insuffisant. Cette insuffisance peut être causée par une sténose d'un sinus dural par lequel une fistule à flux modéré se draine, mais également par une fistule à haut débit pour laquelle un sinus dural normal voire élargi ne suffit pas à assurer un drainage antérograde suffisant (33).

2.4.3.3.2- Thrombose veineuse

Une thrombose secondaire du sinus sigmoïde en limitant le drainage veineux peut induire une majoration de la pression intracrânienne. Néanmoins il est à noter que dans l'étude de Lasjaunias (29), concernant les fistules de la loge caverneuse, bien que des thromboses partielles du sinus caverneux aient été très fréquemment observées, il n'a pas été rapporté d'hypertension intracrânienne. En fait la thrombose du sinus caverneux ne crée pas d'obstacle au drainage veineux crâniotransverse d'une fistule durale comme peut le faire une thrombose du sinus sigmoïde en aval d'une fistule durale du sinus transverse. En revanche la thrombose veineuse, en particulier pour les fistules dures de la loge caverneuse, peut modifier le mode de drainage veineux et ainsi influencer sur l'évolution et les symptômes cliniques. Par exemple en cas de thrombose du sinus pétreux inférieur le drainage qui était alors essentiellement postérieur peut être redirigé vers la veine ophtalmique supérieure, la symptomatologie peut ainsi passer d'acouphènes pulsatiles à des signes oculaires (31).

La thrombose peut cependant également être un mode de guérison spontanée, vraisemblablement lorsqu'elle survient au sein du shunt et non pas sur les voies de drainage en aval (29).

2.4.3.3.3- Ischémie veineuse

Les symptômes neurologiques centraux ne sont observés que pour les fistules durales avec drainage veineux cortical, les signes retrouvés dépendant des veines concernées (aphasie, déficit moteur, accident vasculaire cérébral, crise convulsive...). Il semble que ce soit la congestion veineuse passive en rapport avec le reflux veineux rétrograde qui soit en cause (29).

2.4.3.3.4- Effet de masse veineux

Il a été suggéré que le système nerveux central puisse être mécaniquement comprimé par le drainage veineux d'une malformation artério-veineuse. Bien qu'il soit concevable qu'un volumineux lac veineux puisse produire un effet de masse, il apparaît peu vraisemblable qu'une veine de drainage d'une fistuleurale puisse exercer une telle compression.

En revanche une origine mécanique peut être à l'origine de pseudo-paralysies de nerfs oculomoteurs dans les fistules durales de la loge caverneuse à drainage veineux orbitaire ; en effet l'exophtalmie et la tension des muscles oculomoteurs peuvent gêner les mouvements oculaires et engendrer une diplopie (29).

2.4.3.3.5- Rupture veineuse

Certaines localisations de fistuleurale comme la fosse crânienne antérieure et la tente du cervelet se drainent de façon quasi constante vers des veines corticales et sont ainsi fréquemment associées à des saignements incluant des hémorragies sous-arachnoïdiennes, des hématomes sous-duraux et même des hématomes intra-cérébraux. Ceci n'est cependant pas fréquent pour les fistules durales de la loge caverneuse qui ne présentent que rarement un drainage veineux rétrograde cortical (29).

2.5- Histoire naturelle : une évolution imprévisible

Les fistules durales de la loge caverneuse mettent rarement en jeu le pronostic vital et présentent un taux élevé de résolution spontanée évalué entre 17% et 50% dans la littérature

(24), l'attitude initiale se limite donc le plus souvent à la surveillance. Ce taux de résolution spontanée semble plus important lorsqu'il n'existe pas de drainage rétrograde leptoméningé (lésion Borden 1) ; en effet Davies et al (37) retrouvent chez 62% de leurs patients présentant ce type de lésion une résolution spontanée des symptômes.

Ce taux de résolution spontanée élevé (en particulier après compression carotido-jugulaire, angiographie, trajet par avion ...) suggère que dans de nombreux cas une légère modification de l'hémodynamique de la lésion est suffisante pour initier sa fermeture ; ceci pourrait expliquer pourquoi l'embolisation isolée des branches nourricières issues des carotides externes conduit souvent à une guérison complète même lorsque l'apport artériel n'est pas exclusivement carotidien externe (38).

Cependant si une fistule durale ne présentant pas de drainage veineux lepto-méningé apparaît d'emblée comme rassurante et ne nécessite pas de traitement invasif, il faut s'assurer qu'elle n'est pas susceptible de se transformer en une lésion de plus haut grade car l'histoire naturelle des fistules durales est très variable et les données sur ce point sont limitées : les études disponibles permettent de faire un lien entre anatomie lésionnelle et présentation mais pas entre anatomie lésionnelle et évolution après la présentation.

2.5.1- Critères prédictifs

2.5.1.1- Le mode de drainage veineux

Awad et al (18), dans leur revue de la littérature, apparaissent être les premiers à avoir utilisé le terme de « drainage veineux rétrograde leptoméningé », en effet le terme « drainage veineux cortical », bien qu'utilisé précédemment par la majorité des auteurs, transmet l'idée fautive que seul le recrutement de veines drainant le cortex des hémisphères cérébraux ou du cervelet est important, pourtant chez de nombreux patients présentant une hémorragie cérébrale ou un déficit neurologique non hémorragique aucun drainage veineux cortical n'est visible et les accidents cérébraux siègent au sein du territoire de veines leptoméningées drainant des structures non corticales (39) ; de même le terme « drainage veineux sous arachnoïdien » utilisé par Borden et al, bien que précisant l'importance égale des veines

drainant le cortex et des veines drainant les régions non corticales du système nerveux central ne précise pas la topographie leptoméningée des veines (33).

L'atteinte de veines traversant les espaces leptoméningés et drainant le cerveau (ou la moelle épinière), et non la dure-mère, est l'élément principal de ce concept de « drainage veineux leptoméningé ». Le flux antérograde dans ces vaisseaux est normalement dirigé du parenchyme cérébral vers un sinus veineux dural. Quand le nidus d'une fistule durale intracrânienne utilise une veine leptoméningée comme veine de drainage (Borden type II ou III) le flux est inversé et ceci peut conduire à une hypertension veineuse, à une ischémie et/ou à une hémorragie (39).

Davies et al ont étudié l'histoire naturelle et la prise en charge des fistules durales intracrâniennes (36, 37) toutes localisations confondues sur une série de 55 lésions Borden I (dont 23 fistules durales de la loge caverneuse) et 46 lésions Borden II et III (dont 7 lésions de la loge caverneuse Borden II, aucune Borden III). Il s'agit de patients diagnostiqués entre 1984 et 1995, suivis jusqu'en 1997, avec une étude prospective à partir de 1991 :

- les résultats révèlent que toutes les fistules Borden I à l'exception d'un patient (mais avec un bilan angiographique initial non typique de Borden I), qu'elles aient été traitées (par voie artérielle) ou non, n'ont présenté aucun signe d'agressivité clinique (hémorragie cérébrale, déficit neurologique non hémorragique ou décès) lors du suivi,
- parmi les lésions Borden II et III, 14 patients ont survécu à la présentation initiale et ont refusé le traitement (traitement qui était systématiquement proposé devant l'agressivité potentielle de ces lésions); ils représentent donc une source d'information sur l'évolution des lésions Borden II et III non traitées. Il a été observé, après la présentation, un taux d'hémorragie intra-cérébrale par lésion de 19,2% par an, un taux de déficit neurologique non hémorragique de 10,9% par an et un taux de décès de 19,3% par an. Pour Davies et al (36) la persistance du drainage veineux leptoméningé rétrograde explique ces complications,
- il est possible de tirer encore plus d'informations des 4 patients chez qui le traitement n'a pas permis d'éliminer le drainage veineux leptoméningé rétrograde malgré d'importants changements sur les shunt et les apports artériels. Tous ces patients ont

présenté une évolution péjorative avec 2 déficits neurologiques non hémorragiques et 2 hémorragies cérébrales (conduisant à un décès). A l'inverse, parmi les 3 patients pour lesquels les lésions n'ont pas pu être oblitérées mais chez qui le drainage veineux leptoméningé a été éliminé, aucun n'a présenté une évolution péjorative,

- en considérant tous les patients pour qui le drainage veineux leptoméningé rétrograde a persisté du fait d'un échec ou d'une absence de traitement, l'incidence de décès, d'hémorragie intra-cérébrale ou de déficit neurologique non hémorragique par lésion a été calculée à 27% par an (36).

Awad et al (18) ont étudié les facteurs prédisposant à une évolution péjorative des fistules durales toutes localisations confondues sur 17 de leurs patients ainsi que sur une méta-analyse comprenant 360 fistules durales. Les localisations ainsi que les aspects angiographiques des 100 cas présentant une évolution péjorative ont été comparés à ceux des 277 cas « bénins » :

- si la plus faible proportion de complications s'observe avec les fistules durales de la loge caverneuse (ainsi qu'avec les fistules durales des sinus transverse et sigmoïde), aucune localisation ne protège d'une évolution agressive (définie comme une hémorragie ou un déficit neurologique focal progressif autre que l'ophtalmoplégie) car toutes les localisations sont susceptibles de présenter un drainage veineux leptoméningé rétrograde,
- des relations statistiquement significatives ont été observées entre la présentation clinique péjorative et plusieurs critères angiographiques (18) : drainage veineux rétrograde leptoméningé, présence de structures veineuses variqueuses ou anévrysmales, drainage vers la veine de Galien.
- La présence d'un apport artériel controlatéral ou d'un shunt à haut débit n'est pas associée à une évolution neurologique péjorative même si ces éléments influent sur la morbidité et la complexité d'un éventuel traitement et sur certains symptômes comme les acouphènes pulsatiles, les douleurs et l'ophtalmoplégie. En présence d'un obstacle au drainage veineux ils peuvent également favoriser un œdème papillaire.

2.5.1.2- Signification des thromboses partielles

Les thromboses partielles dans les fistules durales de la loge caverneuse représentent des éléments rassurants pour Liu et al (40), en effet dans la majorité des cas survient dans les semaines qui suivent une thrombose de la fistule. Chez 24 de leurs patients une aggravation des symptômes a précédé de quelques semaines la guérison clinique.

Ce phénomène, associé à des céphalées, semble lié aux phénomènes inflammatoires dus à la thrombose au sein du sinus caverneux qui est hautement innervé. L'élévation de la pression veineuse suivant le processus thrombotique dans la veine ophtalmique supérieure pourrait également intervenir dans ce phénomène. L'effet anti-inflammatoire des stéroïdes peut réduire l'irritation due à la thrombose aiguë. De même l'aspirine outre son effet antalgique peut par son action anti-agrégant plaquettaire ralentir la vitesse de la thrombose, éviter la thrombose définitive de la veine ophtalmique supérieure et soulager la douleur rétro-bulbaire (40).

2.5.2- Mécanismes d'aggravation

Cognard et al (41) ont étudié 7 cas de fistuleurale (sinus transverse et sinus sigmoïde) ayant présenté une aggravation du type de drainage veineux lors de la surveillance et ont dégagé 3 mécanismes d'aggravation : la sténose ou la thrombose des veines de drainage dans 4 cas, l'augmentation du flux artériel dans 2 cas et l'apparition d'une nouvelle fistule ou l'augmentation de taille de la fistule initiale dans 2 cas.

2.5.2.1- Sténose ou thrombose des veines de drainage

Si le rôle de la thrombophlébite dans la pathogenèse des fistules durales est actuellement mal déterminé, les données sur le rôle thrombogène ou sténosant de la fistule restent imprécises :

- Piton et al ont suggéré que les différents modes de drainage veineux pourraient correspondre à des stades évolutifs de la pathologie ; ils considèrent que la distension des vaisseaux fistuleux contenus dans les parois veineuses réduisent progressivement la lumière des veines de drainage, pouvant conduire à une obstruction complète et modifier le drainage de la fistule avec un flux redirigé vers le sinus controlatéral ou vers une veine corticale (41),

- Nishima et al ont postulé que la sténose de la lumière du sinus serait principalement due à un épaissement intimal et au développement d'un réseau vasculaire anormal dans sa paroi. Lalwani et al considèrent que les fistules durales sont des pathologies dynamiques qui peuvent évoluer de façon variable entre une atteinte veineuse restrictive minimale et une atteinte majeure du drainage veineux (41),
- pour Cognard et al (41), hormis la propre responsabilité de la fistule dans l'épaississement de la paroi du sinus, il apparaît que le flux artériel à haut débit peut créer des lésions dans la paroi du sinus à distance du shunt lui-même. Une occlusion en amont du shunt pourrait s'expliquer par une compétition entre le drainage cérébral normal et le drainage de la fistule entraînant une stagnation veineuse. Néanmoins si on accepte dans la littérature l'hypothèse selon laquelle l'hémodynamique des fistules durales pourrait être modifiée par une sténose ou une occlusion veineuse, elle n'a jamais été observée angiographiquement ; en conséquence il est actuellement difficile de considérer que la progression d'un stade au suivant est l'évolution naturelle des fistules durales,
- Cognard et al (41) posent également la question du rôle de la réduction du flux artériel dans la pathologie sténotique et thrombotique veineuse. En effet un flux artériel à haut débit peut permettre de maintenir une pression suffisante dans le sinus évitant la constitution de la thrombose, mais une embolisation insuffisante de la fistule sans oblitération complète peut, en diminuant la pression artérielle, favoriser une thrombose veineuse et une aggravation du type de drainage veineux,
- finalement Cognard et al (41) considèrent qu'au moment du diagnostic le drainage veineux de la fistuleurale doit être soigneusement étudié et que la présence d'une sténose d'une veine de drainage doit être considérée comme un facteur de risque d'aggravation de la fistule.

2.5.2.2- Augmentation du flux artériel

Dans 2 cas de l'étude de Cognard et al (41), il a été observé une aggravation du drainage veineux alors qu'aucune modification des veines préalablement examinées n'avait été décelée, indiquant que l'augmentation du flux artériel est ici responsable de l'aggravation,

d'autant plus que les données sonographiques ont retrouvé dans ces 2 cas une augmentation des débits artériels.

2.5.2.3- Apparition d'une nouvelle fistule ou augmentation du volume de la lésion initiale

Dans 2 cas de l'étude de Cognard et al (41) il a été observé le développement de nouvelles fistules. Il est difficile de préciser si le mécanisme à l'origine de la première fistule est responsable de l'apparition des autres ou bien si ce sont les modifications hémodynamiques induites par la première fistule qui sont responsables de la création de nouveaux shunts. Barnwell et al ont rapporté 7 cas de fistules durales multiples et ont postulé qu'un état d'hypercoagulabilité susceptible de produire des thromboses multiples pourrait conduire à la création de plusieurs fistules. Ils ont également proposé que l'altération du drainage veineux d'un sinus dural principal par une fistule pourrait conduire à l'apparition d'une seconde fistule.

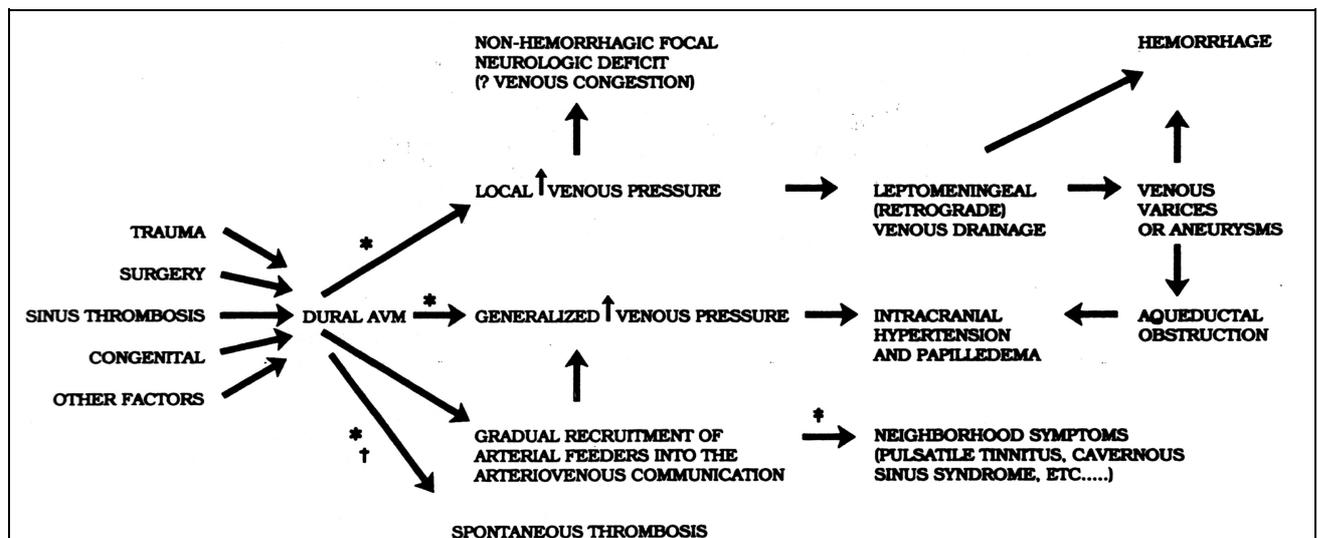


Diagramme d'après Awad IA, Little JR, Akrawi WP, Ahl J. Intracranial dural arteriovenous malformations : factors predisposing to an aggressive neurological course. J Neurosurg 1990, 72 : 839-850.

Représentation des différents stades évolutifs dans l'histoire naturelle des fistules durales avec les conséquences physiopathologiques et cliniques propres à chaque stades.

Etoile = probablement accentué par l'obstruction de la thrombose du sinus.

Croix = éventuellement déclenché par l'extension de la thrombose du sinus.

Croix barrée = symptômes en relation avec le flux, une congestion locale artérielle ou veineuse.

2.6- Imagerie :

L'intérêt des radiographies standard dans le diagnostic des fistules durales de la loge caverneuse est évidemment limité. Les techniques d'imagerie en coupe (tomodensitométrie et imagerie par résonance magnétique nucléaire) sans et avec injection de produit de contraste permettent d'objectiver les conséquences de la fistuleurale et d'approcher une caractérisation partielle des anomalies vasculaires ; néanmoins pour une localisation précise du shunt et une caractérisation de l'angioarchitecture de la lésion, l'examen angiographique reste le bilan de référence (19).

2.6.1- Tomodensitométrie

2.6.1.1- Signes encéphaliques

Le scanner sans injection de produit de contraste permet de retrouver un éventuel retentissement de la fistule sur le parenchyme cérébral et les espaces méningés : hydrocéphalie, atrophie corticale, hémorragie (sous-arachnoïdienne, sous-durale, intra-parenchymateuse ou intra-ventriculaire) (19).

En cas de drainage rétrograde leptoméningé des structures vasculaires serpiginieuses prenant le contraste peuvent être visibles, ces veines sont parfois variqueuses et alors potentiellement source d'effet de masse sur les structures avoisinantes (19).

2.6.1.2- Signes orbitaires

Une dilatation et un aspect sinueux des veines ophtalmiques, en particulier de la veine ophtalmique supérieure sont fréquents. Cet aspect peut être homolatéral, bilatéral voire controlatéral du fait des voies de communication entre les deux loges caverneuses. Ces veines apparaîtront comme des structures serpiginieuses rehaussées par l'injection d'iode. La dilatation des veines ophtalmiques est absente en cas de drainage veineux antérograde vers les sinus pétreux (19, 25).

Les diagnostics différentiels à évoquer devant une dilatation des veines ophtalmiques (25) en dehors des fistules carotido-caverneuses traumatiques ou dures sont :

- pseudotumeur orbitaire,
- masse de l'apex orbitaire,
- hyperthyroïdie,
- cellulite orbitaire,
- thrombose de la loge caverneuse,
- varice orbitaire,
- anomalie du drainage intracrânien.

L'hyperpression veineuse en cas de drainage veineux antérieur est responsable d'une exophtalmie, d'un œdème et d'une congestion des parties molles intra-orbitaires, en particulier des muscles extra-oculaires (25).

2.6.1.3- Anomalies de la loge caverneuse

La loge caverneuse peut être élargie avec une paroi latérale convexe en dehors (25), après injection la loge s'opacifie. Cet aspect n'est pas spécifique et s'observe en cas d'anévrysme de l'artère carotide interne, de dolicho-méga artère carotide interne, d'adénome hypophysaire, de métastase ou de tumeur primitive de la région (25).

En cas de thrombose du sinus caverneux, avant injection il est possible d'observer un aspect spontanément hyperdense du sinus (19) ; sur les coupes après injection de produit de contraste il existe un défaut d'opacification ou une opacification hétérogène de la loge caverneuse en rapport avec des hypodensités multiples thrombotiques. Il est important de distinguer les hypodensités liées à la thrombose de celles liées aux nerfs crâniens, aux éléments graisseux et conjonctifs normalement présents dans les loges caverneuses et dont la

disposition est habituellement antérieure et symétrique. La thrombose est source d'hypodensités unilatérales, asymétriques avec des signes associés : élargissement de la loge caverneuse avec bombement de la paroi latérale, prise de contraste des parois de la loge traduisant les réseaux veineux de suppléance, exophtalmie et œdème péri-orbitaire, dilatation des veines ophtalmiques dont l'opacification peut être incomplète du fait d'une extension de la thrombose (25).

Il faut cependant retenir que la différenciation entre fistule durale de la loge caverneuse et fistule directe carotido-caverneuse n'est pas possible sur l'examen tomodensitométrique et que le bilan angiographique reste incontournable (19).

2.6.2- IRM

Comme en tomodensitométrie, le shunt de la fistule durale n'est généralement pas visible en IRM, cette lésion localisée dans la dure-mère étant difficilement décelable sur les examens en coupe. Cependant la présence de veines de drainages dilatées sans nidus de malformation artério-veineuse visible est évocatrice du diagnostic. Dans les fistules durales avec drainage veineux antérograde l'IRM peut être strictement normale (19). L'ARM dynamique, technique récente, est prometteuse bien qu'encore insuffisante pour permettre un bilan complet de la fistule.

2.6.2.1- Protocole d'exploration

L'examen IRM de la loge caverneuse s'intègre dans l'exploration du reste de l'encéphale qui doit être étudié dans sa globalité. Plus spécifiquement des acquisitions centrées sur la loge caverneuse doivent être réalisées en haute résolution (coupe fine de 1 à 3 mm d'épaisseur en matrice 512) avec acquisitions dans les 3 plans (axial, coronal et sagittal) en T1 avant et après injection de gadolinium. Il est utile de saturer la graisse sur les séquences T1 injectées axiales et coronales afin de mieux apprécier l'atteinte de la loge caverneuse et du contenu intra orbitaire, ceci particulièrement si le diagnostic de fistule n'est pas cliniquement évident et que se pose la question d'une lésion tumorale (42).

Les suspicions de fistules nécessitent une angio-IRM complémentaire, la technique de l'angio-IRM étant modulée selon la lésion suspectée. Une exploration en temps de vol (TOF) évalue les sténoses et les obstructions du siphon et les fistules carotido-caverneuses post traumatiques. Une angio-IRM veineuse, soit en contraste de phase avec étude des flux lents, soit en T1 ultrarapide après injection de gadolinium, est appropriée pour les recherches de thrombophlébite et de fistule durale de la loge caverneuse. Il faut noter que l'évaluation du plexus veineux de la loge caverneuse est moins précise en IRM qu'en scanographie dynamique (42).

2.6.2.2- Sémiologie en IRM standard

2.6.2.2.1- Signes encéphaliques

L'IRM peut retrouver des signes indirects encéphaliques dus au retentissement ou à une complication de la fistule durale :

- une hydrocéphalie, une atrophie corticale peuvent être visibles,
- il existe parfois, en cas de drainage veineux rétrograde lepto-méningé, un effet de masse en rapport avec des structures veineuses élargies (19),
- les larges veines de drainage, intra-orbitaires ou intracrâniennes, ainsi que le sinus caverneux, peuvent apparaître en vide de flux ou « flow void » sur les séquences spin-echo. Ce phénomène est en rapport avec une artérialisation de ces éléments et survient en cas de fistule à haut débit (19, 25). A l'inverse il peut exister un hypersignal secondaire à un ralentissement du flux,
- l'ischémie veineuse se présente sous la forme de plages d'hypersignal en pondération T2 qui ne correspondent pas à un territoire artériel. Ces plages peuvent se rehausser après injection de gadolinium indiquant une rupture de la barrière hémato-encéphalique,
- les hémorragies (sous-arachnoïdiennes, sous-durales ou intra-parenchymateuses) sont facilement détectées en IRM. Les hémorragies intra-parenchymateuses sont fréquemment associées aux infarctus veineux,
- il a été décrit une augmentation de volume de l'hypophyse dans le cadre d'une fistule durale de la loge caverneuse qui pourrait témoigner d'une congestion hypophysaire d'origine veineuse (25). Rucker et al (43) ont décrit un rehaussement diffus de la dure-

mère dans le cadre d'une fistule durale de la loge caverneuse rapporté à une congestion des veines dures.

2.6.2.2.2- Signes orbitaires

L'IRM peut mettre en évidence les conséquences orbitaires de la fistule durale lorsqu'il existe un drainage veineux antérieur :

- exophtalmie,
- épaissement et infiltration des parties molles de l'orbite,
- épaissement des muscles extra-oculaires,
- élargissement des veines ophtalmiques (25).

2.6.2.2.3- Anomalies du sinus caverneux

Une thrombose du sinus dural peut être évoquée devant un élargissement de la loge caverneuse, une dilatation des veines ophtalmiques, l'absence de vide de signal du sinus concerné en séquence spin-echo, un rehaussement de la zone non thrombosée du sinus et des parois après injection, un défaut de rehaussement en angio-IRM comparativement au côté controlatéral perméable. Cependant l'évaluation précise de la maladie thrombotique en IRM peut s'avérer difficile en raison de la présence des plexus veineux et du caractère turbulents du flux veineux, l'intérêt de l'IRM n'apparaît donc pas supérieure à la scanographie après injection de produit de contraste. L'extension de la thrombose aux autres sinus intracrâniens ainsi que les ramollissements veineux sont en revanche mieux évalués en IRM (19, 25, 42).

Hirabuki et al (44) ont étudié 4 fistules dures de la loge caverneuse avec symptômes oculaires en séquence spin-echo coronale, ils ont dans tous les cas observé une diminution du signal du sinus caverneux du côté de la fistule. Naturellement ces signes IRM dépendent de la technique utilisée, un temps d'écho long et un TR court accentuent le signal des flux lents et améliorent le contraste entre le sinus caverneux normal à flux lent en hypersignal et le sinus caverneux pathologique artérialisé en vide de signal. Pour Hirabuki et al (44), devant des anomalies orbitaires, la présence de ce vide de signal au sein de la loge caverneuse permet d'exclure certains diagnostics différentiels ; ainsi devant des anomalies orbitaires évocatrices et un vide de signal de la loge caverneuse, les diagnostics différentiels des fistules dures de la loge caverneuse sont essentiellement représentés par les fistules directes carotido-

caverneuses, les malformations artério-veineuses piales avec drainage vers le sinus caverneux et les anévrysmes artériels dans le sinus caverneux, le bilan angiographique est ensuite nécessaire pour préciser le diagnostic.

2.6.2.3- L'angiographie par résonance magnétique (ARM)

2.6.2.3.1- Le contraste de phase (PC) et le temps de vol (TOF)

L'angio-IRM améliore la détermination du site du shunt et permet un certain degré de visualisation des apports artériels et des voies de drainage veineuses (19), cependant son apport diagnostique est supérieure lorsque la fistule est à haut débit ce qui concerne essentiellement les fistules directes et peu les fistules dures (25).

L'ARM par temps de vol ou TOF (pour time of flight) repose sur les différences de magnétisation entre les tissus stationnaires (protons immobiles) et les protons du sang circulant (protons mobiles) dont le signal est maximal grâce aux phénomènes d'entrée de coupe. L'acquisition peut se faire en 2D ou en 3D. L'ensemble des auteurs s'accordent pour souligner la sensibilité du TOF aux phénomènes de saturation lors de flux lents ou lors de turbulences dans les sténoses serrées, ils insistent sur l'importance de l'interprétation couplée des reconstructions angiographiques grâce au logiciel MIP (maximum intensity projection) et des coupes d'acquisition natives (partitions natives). Les séquences TOF 3D sont peu sensibles aux flux lents et le phénomène d'entrée de coupe peut ne pas persister dans le système veineux (45), les séquences 2D sont plus sensibles aux flux lents et ne sont utilisées que pour la pathologie veineuse cérébrale (46).

L'ARM en contraste de phase (PC) utilise le principe de déphasage des protons circulants induits par des gradients bipolaires de polarité inverse. Son principal intérêt réside dans la sélectivité de la vitesse circulatoire étudiée et sa faible sensibilité au phénomène de saturation. Cette technique permet d'étudier la direction et la vitesse des flux mais n'est pas sélective des flux artériels ou veineux. Les inconvénients de cette technique tiennent à la

longueur des acquisitions 3D, elle est peu utilisée en pratique courante dans la pathologie artérielle cérébrale mais beaucoup plus dans la pathologie veineuse en acquisition 2D (46).

Cellerini et al (21) ont étudié 13 fistules dures dont 3 localisées à la loge caverneuse, dans 2 de ces 3 cas une angio-MR en contraste de phase 2D avec codage antéro-postérieur du flux a été réalisée dans un plan axial comprenant les veines ophtalmiques supérieures ; dans ces 2 cas il a été retrouvé une inversion de flux dans la veine ophtalmique supérieure du côté de la fistule, ces patients présentaient cliniquement une exophtalmie.

Pour Cellerini et al (21) l'IRM en contraste de phase, comparativement à l'angio-MR TOF, permet une meilleure suppression des tissus stationnaires et une meilleure différenciation entre sang stagnant et sang circulant ; elle est également moins sensible aux effets de saturation ce qui permet une meilleure visualisation du flux veineux et donc des anomalies des veines corticales et des sinus durs. En revanche l'acquisition en IRM de contraste est plus longue qu'en séquence TOF et implique des temps d'écho plus courts ce qui peut conduire à des pertes de signal par déphasage.

2.6.2.3.2- L'ARM avec injection de produit de contraste (ARM-gadolinium)

Cette méthode est basée sur la réduction du temps de relaxation T1 des protons intravasculaires engendrée par le bolus de gadolinium. Après l'injection de gadolinium le raccourcissement du temps de relaxation T1 du sang circulant est tel qu'il n'est pas saturé par l'utilisation d'un temps de répétition et d'un temps d'écho très courts. L'hypersignal vasculaire est en rapport avec un phénomène de remplissage vasculaire et non d'entrée de coupe ou de déphasage des protons, cette technique s'affranchit donc des phénomènes de saturation du TOF (46).

L'ARM-gadolinium possède une bonne résolution spatiale mais sa résolution temporelle reste insuffisante pour l'analyse de l'hémodynamique circulatoire ou la détection d'un shunt dans le cadre d'une fistule dure (46).

2.6.2.3.3- L'angio-MR dynamique

L'ARM dynamique est basée sur une séquence d'écho de gradient modifiée combinée à une technique de soustraction pour accentuer le contraste entre les vaisseaux et les tissus environnants. Couvrant l'ensemble de la circulation cérébrale dans un plan coronal avec une résolution spatiale de 1mm², cette technique a démontré son efficacité pour la détection des fistules durales en montrant un remplissage des sinus duraux à la phase artérielle précoce. La direction du drainage veineux est visible ce qui confère une importance pronostique en permettant la distinction des fistules à drainage antérograde de celles à drainage rétrograde (47).

Parmi les techniques d'angiographie non invasives, l'ARM dynamique 2D est considérée comme la plus prometteuse pour visualiser l'hémodynamique cérébrale avec une haute résolution temporelle, le temps d'acquisition de l'image pouvant être inférieur à la seconde. En effet les autres techniques comme l'angio-MR TOF, l'ARM-gadolinium et l'angio-scanner volumique possèdent une bonne résolution spatiale mais restent insuffisantes en terme de résolution temporelle (45). De même l'ARM dynamique 3D, bien que sa résolution spatiale soit supérieure à l'ARM dynamique 2D reste insuffisante en terme de résolution temporelle avec des temps d'acquisition d'image estimée entre 3 et 5 secondes ; ces temps rendent difficiles la détection d'un remplissage veineux précoce ou la distinction entre des vaisseaux nourriciers et des voies de drainage (45). Cette rapidité d'acquisition en ARM dynamique 2D permet d'obtenir une étude en une minute ce qui évite les artéfacts cinétiques (47).

Le champ d'application de cette nouvelle technique est large et s'adresse tout particulièrement aux indications résiduelles de l'artériographie dans l'étude de l'hémodynamique circulatoire et la recherche d'un shunt artério-veineux, il s'agit du premier pas vers une substitution complète de l'artériographie diagnostique par l'ARM (46).

L'ARM dynamique 2D présentent actuellement des limites :

- le nombre de projection étudiée est limité, en effet l'acquisition d'un second plan nécessite une réinjection (47). En pratique seule un ou deux plans peuvent être obtenus (45) et le volume exploré reste limité à 5-10 cm (46),
- les petits vaisseaux peuvent ne pas être visibles en raison des phénomènes de volume partiel (45),
- il existe un phénomène de sommation des vaisseaux (45),
- la résolution spatiale est nettement inférieure à celle de l'artériographie conventionnelle (47) et ne permet pas encore l'analyse des artères afférentes (46).

2.6.4- Explorations ultrasonores

Devant une exophtalmie et une hyperhémie conjonctivale l'échographie est indiquée, l'examen se déroule sur un patient couché, paupières closes avec du gel stérile posé sur les paupières. L'examen transpalpébral utilise une sonde de 7,5 MHz linéaire électronique. Le diagnostic de fistule est évoqué devant une dilatation de la veine orbitaire supérieure (parfois de la veine orbitaire inférieure), structure arciforme à concavité interne située au-dessus du plan du nerf optique. Dans les fistules durales qui sont habituellement à bas débit la dilatation de la veine est modérée. L'échographie doppler couleur montre une inversion du flux dans les veines orbitaires dilatées, en doppler pulsé il existe une artérialisation se traduisant par un signal inversé dirigé vers la sonde avec un renforcement systolique au lieu du signal veineux normal continu et dirigé vers le sinus caverneux ; cette inversion est continue à la différence des inversions intermittentes constatées physiologiquement lors des cycles cardiaques et respiratoires. La mesure de la vitesse systolique maximale est discriminante pour différencier les fistules à bas débit (15 cm/s) des fistules carotido-caverneuses directes (50 cm/s). L'échographie en mode B peut également montrer un épaississement des muscles oculomoteurs et un œdème papillaire par stase veineuse (48).

Cependant si l'échographie doppler permet un diagnostic des fistules carotido-caverneuses à haut et à bas débit, elle ne donne pas d'informations sur la localisation du shunt et sur son angio-architecture (49). Cet examen peut également s'intégrer dans la surveillance après traitement des fistules durales de la loge caverneuse à drainage veineux antérieur (25).

2.6.5- Angiographie

Si les techniques d'imagerie non invasives permettent souvent, en confrontation avec l'histoire clinique, d'approcher le diagnostic de fistuleurale de la loge caverneuse, elles ne sont pas actuellement suffisantes pour un diagnostic étiologique de certitude et surtout ne permettent pas une évaluation précise de l'angioarchitecture de la lésion. En effet les informations fournies sur les pédicules nourriciers artériels (qui sont souvent de trop petit calibre pour la résolution spatiale des machines actuelles) ainsi que sur les voies de drainage veineuses sont insuffisantes pour définir la gravité de la lésion et la conduite thérapeutique.

Le bilan angiographique est donc indispensable et reste l'examen de référence. Il est un préliminaire obligatoire avant toute thérapeutique endo-vasculaire et doit être réservé à des équipes spécialisées en neuroradiologie interventionnelle (19, 50, 51). Son intérêt réside dans la très bonne résolution en contraste des clichés, la possibilité d'étude dynamique, la possibilité d'étude sélective et ultra-sélective ainsi que la possibilité de gestes de radiologie interventionnelle. Ses principaux inconvénients sont liés à son caractère invasif source potentielle de complications, en particulier chez le patient athéromateux, son caractère irradiant, la nécessité d'injecter du produit de contraste (25). Le taux de complication de l'artériographie cérébrale est estimé à 0,5% (45).

Ce bilan est le plus souvent réalisé selon la méthode de Seldinger avec ponction de l'artère fémorale et cathétérisme rétrograde vers les troncs artériels supra-aortiques. Il est actuellement pratiquement toujours digitalisé ce qui permet de réduire l'irradiation ainsi que la quantité de produit de contraste à injecter. Les acquisitions après injection sont soustraites à une acquisition avant injection ce qui permet une visualisation optimale des vaisseaux (25).

L'injection sélective de toutes les artères qui sont susceptibles d'alimenter la fistule est indispensable. Les fistules durales de la loge caverneuse sont potentiellement alimentées par les branches caverneuses du siphon de la carotide interne homolatérale ou controlatérale, par les branches distales de l'artère maxillaire interne homolatérale ou controlatérale, par les branches caverneuses de l'artère méningée moyenne homolatérale ou controlatérale et par la division antérieure de l'artère pharyngienne ascendante homolatérale ou controlatérale.

Il est ainsi possible de définir un protocole d'exploration angiographique théorique de ces fistules. Le bilan doit comprendre l'opacification de l'artère carotide interne homolatérale à la symptomatologie, de l'artère carotide externe homolatérale, de l'artère vertébrale dominante et au minimum de l'artère carotide primitive controlatérale (25). Pour Lucas et al (51) il est souhaitable de pratiquer de façon systématique une opacification sélective des artères carotide interne et externe controlatérales. En cas de décision d'embolisation artérielle les branches visées seront à explorer de façon supra-sélective. Il est important de réaliser des acquisitions longues pour toutes les séries afin d'observer le retour veineux de la lésion et le drainage veineux du parenchyme cérébral. Tous les sinus durs principaux doivent également être examinés à la recherche d'une pathologie occlusive et pour déterminer la direction du flux. Cependant, en raison de l'existence de nombreuses variantes anatomiques et de la nature dynamique de ces lésions, le neuroradiologue doit adapter son examen à chaque cas en fonction des conditions techniques et des particularités présentées par la lésion (19).

Finalement, le bilan angiographique doit permettre de répondre à ces questions (25) :

- existe-t-il une communication artério-veineuse et s'agit-il d'une brèche de l'artère carotide interne ou d'une fistuleurale ?
- quels sont les pédicules artériels nourriciers de la lésion ?
- quel est l'état de la portion du siphon situé en aval de la fistule ainsi que celui de la vascularisation cérébrale ?
- quelle est la valeur fonctionnelle du polygone de Willis ?
- quel est le type de drainage veineux de la lésion ?
- existe-t-il des lésions vasculaires associées : autre fistule, anévrisme, maladie de la paroi artérielle comme l'athérosclérose, l'angiodysplasie...

2.7- Classifications des fistules dures de la loge caverneuse

2.7.1- classification de Barrow (1985)

Cette classification distingue 4 formes de fistules, elle ne s'applique qu'aux fistules de la loge caverneuse :

- fistules de type A : elles concernent essentiellement l'adulte jeune de sexe masculin (25) ; il s'agit d'une communication directe entre l'artère carotide

interne et les plexus veineux de la loge caverneuse, il ne s'agit donc pas d'une fistule dure. Ces communications sont presque toujours à haut débit et sont habituellement d'origine traumatique lors de fracture de la base du crâne ou de traumatisme pénétrant (28). En l'absence de contexte traumatique il faut envisager la rupture d'un anévrisme intracaverneux ou l'existence d'une angiodyplasie (25),

- fistules de type B, C et D : il s'agit de fistules artério-veineuses durales alimentées par des branches méningées du siphon carotidien (type B, cette forme est la plus rare), de la carotide externe (type C) ou, cas le plus fréquent, par les deux systèmes (type D) (23, 25, 52). Elles surviennent essentiellement chez les femmes de plus de 50 ans avec fréquemment un contexte d'hypertension artérielle systémique.

2.7.2- classification de Djindjian (Djindjian et Merland 1978)

Il s'agit de la première classification établissant une corrélation entre le type de drainage veineux et les symptômes de présentation. Elle distingue 4 types de fistule dure selon le mode de drainage veineux. Elle s'applique à toutes les fistules durales. Djindjian et al considèrent que les fistules qui s'écoulent librement dans un sinus ne produisent que des symptômes bénins tandis que les fistules à drainage veineux cortical sont susceptibles de causer des troubles neurologiques importants et des hémorragies (53) :

- type 1 : la fistule se draine dans le sinus sur lequel elle est située avec un drainage antérograde et/ou rétrograde mais sans reflux dans les veines corticales,
- type 2 : le drainage veineux se fait dans le sinus dural mais avec un reflux veineux cortical,
- type 3 : le drainage se fait d'emblée dans une veine corticale puis secondairement, après un trajet plus ou moins long, dans un sinus dural,
- type 4 : le drainage veineux s'effectue dans un lac veineux dural puis dans des veines sous-arachnoïdiennes (19, 20).

2.7.3- Classification de Cognard (1995)

La classification de Cognard et al (53) est tirée d'une étude rétrospective sur 205 patients, il s'agit d'une classification de Djindjian modifiée par l'ajout de certaines précisions sur le type de drainage veineux. Le but est d'apporter des éléments prédictifs d'évolution

défavorable afin de justifier des thérapeutiques parfois agressives. Dans cette étude il n'a pas été observé de signes neurologiques de gravité avec les fistules durales de la loge caverneuse. Le risque ophtalmologique des fistules durales de la loge caverneuse, en relation avec le drainage vers le réseau veineux ophtalmique, n'a pas été pris en compte dans cette étude bien que ce risque puisse justifier à lui seul une intervention.

- type I : drainage veineux dans un sinus avec flux antérograde. Ces fistules ont présenté une évolution bénigne,
- type II : drainage veineux dans un sinus avec insuffisance du drainage antérograde et reflux rétrograde dans le sinus lui-même (type IIa), dans une veine corticale (type IIb) ou les deux (type IIa+b). L'insuffisance du drainage antérograde peut être secondaire à une sténose ou à une occlusion du sinus lorsque le flux est modéré ou lent, mais il peut également être présent dans un sinus perméable si le flux de la fistule est trop important pour le sinus. Dans ce type II le reflux dans un sinus dural a provoqué une hypertension intracrânienne dans 20% des cas et le reflux dans des veines corticales a été source d'hémorragie dans 10% des cas,
- type III : drainage direct dans une veine corticale sans ectasie veineuse. Dans 40% des cas ces fistules se sont présentées sur un mode hémorragique,
- type IV : drainage direct dans une veine corticale avec ectasie veineuse. L'ectasie veineuse est définie comme une veine corticale de plus de 5mm de diamètre et 3 fois plus large que la veine d'aval. La proportion d'hémorragie lors de la présentation s'élève ici à 65%,
- type V : drainage veineux péri-médullaire. Dans l'étude de Cognard la proportion de myélopathie induite par ces fistules a été de 50%.

2.7.4- Classification de Borden (1995)

Il s'agit d'une classification incorporant les deux précédentes dont l'intérêt est d'être simplifiée. Elle est résolument tournée vers des implications thérapeutiques déterminées par le type de drainage veineux. Cette classification concerne toutes les localisations de fistule dure (encéphalique et péri-médullaire) (34). Borden, s'appuyant sur 5 cas, montre comment sa classification peut être utilisée pour décider de la conduite thérapeutique. Il suggère également la valeur de sa classification pour prédire le potentiel évolutif des fistules durales :

- type I : il s'agit d'une ou plusieurs fistules survenant entre une artère méningée et un sinus veineux dural ou une veine méningée durale. Le flux dans la veine de drainage (sinus dural ou veine méningée) est dans la direction normale c'est-à-dire antérograde. Ces malformations sont souvent asymptomatiques mais peuvent se manifester par des acouphènes pulsatiles ou des déficits de nerfs crâniens. Elles ont classiquement une évolution bénigne,
- type II : il s'agit d'une ou plusieurs fistules se drainant dans un sinus dural avec un drainage veineux rétrograde vers des veines sous arachnoïdiennes qui sont donc artérialisées. Ces fistules sont souvent source d'une hypertension veineuse voire d'une hémorragie conduisant à des déficits neurologiques,
- type III : il s'agit d'une ou plusieurs fistules se drainant de façon rétrograde vers des veines sous arachnoïdiennes situées sur ou à côté du sinus dural. La fistule peut être directement située entre une artère méningée et une veine sous-arachnoïdienne ; dans d'autres cas la fistule est située entre une artère méningée et un segment du sinus dural qui est isolé du reste du sinus (sinus suspendu), enfin la fistule peut être située entre une artère méningée et une structure veineuse durale (qui peut être une veine ou un lac veineux) qui est comme précédemment isolée du drainage normal vers le sinus dural. Ces fistules se présentent par des hémorragies ou par des symptômes en rapport avec l'hypertension veineuse.

Borden a ajouté des sous-types visant à distinguer les fistules simples des fistules multiples sur une région donnée :

- sous-type a : fistule simple. Une fistule simple est une communication directe entre une artère méningée et une veine ou un sinus de drainage,
- sous-type b : fistules multiples. Il s'agit d'une structure complexe constituée par de multiples sites fistuleux durs alimentés par plusieurs artères méningées. Quand des fistules multiples se drainent dans une seule structure veineuse, elles sont considérées comme faisant partie d'une même malformation. Quand les fistules se drainent dans des veines sous-arachnoïdiennes distinctes, elles sont considérées comme des malformations distinctes les unes des autres. Dans certaines conditions comme l'hypertension veineuse globale, la distinction entre une malformation et plusieurs malformations distinctes peut être difficile et devenir arbitraire.

Chapitre 3- Matériel et Méthode

Cette étude a pour objectif d'évaluer l'efficacité du traitement endovasculaire artériel des fistules durales de la loge caverneuse.

Elle est rétrospective à partir des dossiers des patients, elle comprend 17 cas de fistuleurale de la loge caverneuse tous traités à l'Hôpital G. et R. Laënnec du CHU de Nantes dans le service de neuro-radiologie diagnostique et interventionnelle du Pr de Kersaint-Gilly entre avril 1990 et mars 2006.

3.1- Patients

Il s'agissait soit de patients adressés à visée diagnostique, soit de patients dont le diagnostic angiographique de fistuleurale de la loge caverneuse était déjà réalisé et dont la thérapeutique ne pouvait être réalisée que dans un centre de radiologie interventionnelle.

Les patients ont été exclus de l'étude si :

- la fistuleurale n'était pas localisée uniquement à la loge caverneuse,
- les dossiers ne comprenaient pas de renseignements suffisants pour l'étude.

L'étude comprend 17 patients :

- 16 femmes et 1 homme,
- l'âge moyen au début des symptômes était de 66 ans (avec des extrêmes de 31 à 79 ans).
- Seules 3 patientes avaient moins de 60 ans au moment des symptômes : respectivement 31 ans, 51 ans et 59 ans.

3.2- Données pré-thérapeutiques

Ces données correspondent :

- soit aux données précédant le premier traitement endovasculaire,
- soit aux données précédant le premier bilan diagnostique lorsque aucun traitement n'a été réalisé.

3.2.1- Modes de présentation clinique

PATIENT/AGE/ SEXE	SIGNES ORBITAIRES	SIGNES EXTRA- ORBITAIRES
1 / F / 63	Exophtalmie D P, hyperhémie D, chémosis D, diplopie, BAV D, souffle orbitaire D	PF D
2 / F / 31		Céphalée, acouphène pulsatile G, souffle péri-auriculaire G
3 / F / 68	Exophtalmie G P, hyperhémie G, chémosis G, diplopie, BAV G, hypertonie oculaire G	
4 / F / 72	Exophtalmie D, chémosis D, souffle orbitaire D	Céphalée
5 / F / 72	Exophtalmie G, hyperhémie G, chémosis G, diplopie, BAV G, hypertonie oculaire G, douleur orbitaire G	PF G
6 / F / 67	Exophtalmie bilatérale, hyperhémie D, diplopie	Céphalée, acouphène pulsatile D, névralgie trigéminal D
7 / M / 60	Exophtalmie bilatérale, hyperhémie D, diplopie	
8 / F / 51	Exophtalmie G, hyperhémie G, diplopie, hypertonie oculaire G	
9 / F / 79	Exophtalmie G, hyperhémie G, chémosis G	
10 / F / 70	Exophtalmie G P, hyperhémie G, souffle orbitaire G	Acouphène pulsatile D
11 / F / 70	Exophtalmie D P, hyperhémie D, chémosis D, diplopie	
12 / F / 78	Exophtalmie G, hyperhémie G, chémosis G, hypertonie oculaire G, douleur orbitaire G, ptosis G	
13 / F / 59	Exophtalmie G, hyperhémie G, diplopie, BAV G (ancienne), douleur orbitaire G	
14 / F / 67		Céphalée, acouphène pulsatile G
15 / F / 78	Exophtalmie G, hyperhémie G, chémosis G, BAV G	
16 / F / 67	Exophtalmie bilatérale, hyperhémie D, diplopie, hypertonie oculaire D	Céphalée
17 / F / 75	Exophtalmie Bilatérale, hyperhémie D, chémosis D, diplopie	Confusion

Abréviations :
M : masculin et F : féminin
D : droit et G : gauche
P : pulsatile
BAV : baisse d'acuité visuelle
PF : paralysie faciale

Sur les 17 patients :

- 8 patients (47 % de la série) ont présenté uniquement des signes orbitaires,
- 7 patients (41,2 % de la série) ont présenté des signes mixtes, orbitaires et extra-orbitaires (ORL ou neurologique),
- 2 patients (11,8 % de la série) ont présenté uniquement des signes extra-orbitaires.

3.2.1.1- Signes orbitaires

Sur les 15 patients ayant présenté des signes orbitaires, on note :

- 15 exophtalmies (88,2 % de la série) : 8 latéralisées à gauche, 3 latéralisées à droite et 4 bilatérales, 4 étaient pulsatiles,
- 14 hyperhémies conjonctivales (82,3 % de la série) : 8 latéralisées à gauche et 6 latéralisées à droite,
- 10 diplopies (58,8 % de la série),
- 9 chémosis (52,9 % de la série) : 5 latéralisées à gauche et 4 latéralisées à droite,
- 5 baisses d'acuité visuelle (29,4 % de la série) : 4 latéralisées à gauche et 1 latéralisée à droite (pour la patiente 13 il existe une baisse importante et ancienne de l'acuité visuelle gauche en raison d'un antécédent d'amblyopie sur strabisme, cependant la patiente s'est plaint d'une discrète diminution de son acuité visuelle gauche, cette baisse est donc comptabilisée),
- 5 hypertonie oculaires (29,4 % de la série) : 4 latéralisées à gauche et 1 latéralisée à droite,
- 3 douleurs orbitaires (17,6 % de la série) : toutes latéralisées à gauche,
- 3 souffles orbitaires,
- 1 ptosis gauche (5,9 % de la série).

3.2.1.2- Signes extra-orbitaires

Parmi les 9 patients ayant présenté des signes extra-orbitaires, on note :

- 5 céphalées (29,4 % de la série),
- 4 acouphènes pulsatiles (23,5 % de la série) : 2 latéralisés à gauche et 2 latéralisés à droite,
- 2 paralysies faciales (11,8 % de la série) : 1 droite et 1 gauche,
- 1 névralgie trigéminal droite (5,9 % de la série),
- 1 souffle péri-auriculaire gauche (5,9 % de la série),

- 1 confusion (5,9 % de la série) : contexte d'hématome cortical dans la région du carrefour gauche.

3.2.2- Imagerie en coupe

Avant l'artériographie 15 patients ont bénéficié d'une imagerie en coupe, seules 2 patientes (11,7 % de la série) n'ont pas eu de bilan d'imagerie préalable (patiente 10 et 14) :

- 5 ont eu un scanner et une IRM (29,4 % de la série),
- 7 uniquement une IRM (41,2 % de la série),
- 3 uniquement un scanner (17,6 % de la série).

Le délai moyen de la première imagerie en coupe par rapport au début des symptômes a été calculé à partir de 13 patients, les dates des IRM des patientes 1 et 11 n'étant pas précisées : délai de 26 semaines (extrêmes de 4 à 102 semaines).

3.2.2.1- Scanner

Sur les 8 scanners un seul a été considéré comme normal (patiente 2), les symptômes cliniques étaient cependant suffisamment typiques pour justifier une artériographie qui a retrouvé un drainage veineux uniquement postérieur. Sur les 8 scanners les anomalies observées ont été :

- dilatations de la veine ophtalmique supérieure (VOS) chez 6 patients (75 %) : 3 à gauche, 2 à droite et un cas de dilatation bilatérale,
- anomalies du sinus caverneux chez 4 patients (50 %) : 2 latéralisées à gauche (1 bombement du sinus caverneux et 1 artérialisation) et 2 anomalies bilatérales (bombement des sinus caverneux),
- épaissements des muscles orbitaires chez 2 patients (25 %) : 2 cas latéralisés à droite,
- exophtalmie chez 2 patients (25 %) : 1 à droite et 1 à gauche,
- présence de veines dilatées dans le cervelet chez 1 patiente (patiente 3) (12,5 %),
- hématome intra-parenchymateux chez 1 patiente (patiente 17) (12,5 %).

3.2.2.2- IRM

Sur les 12 IRM toutes étaient anormales sauf 1 (patiente 11), le bilan artériographique retrouvera chez cette patiente un drainage veineux uniquement postérieur. 5 patientes (patientes 5, 8, 9, 16 et 17) traitées dans le service soit 41,7 % ont bénéficié d'une angio-MR

dynamique (séquences de fistulographie), toutes ces angio-MR dynamiques ont retrouvé le shunt artério-veineux.

Sur les 12 IRM les anomalies observées ont été :

- dilatation de la VOS chez 10 patients (83,3 %) : 4 à gauche, 3 à droite et 3 bilatérale,
- anomalie du sinus caverneux chez 8 patients (66,7 %) : 5 artérialisations (2 à droite, 1 à gauche, 1 bilatérale et un cas d'artérialisation à droite avec comblement à gauche), 2 augmentations de volume (1 à gauche et 1 bilatérale), 1 cas de visibilité de structures vasculaires anormales au contact de la partie postérieure de la loge gauche,
- exophtalmie chez 6 patients (50 %) : 2 à droite, 2 à gauche et 2 bilatérales,
- épaissement musculaire orbitaire chez 5 patients (41,7 %) : 3 à gauche, 2 à droite,
- infiltration de la graisse orbitaire chez 1 patient (8,3 %),
- anomalie de signal du parenchyme cérébral dans 1 cas (8,3 %) (patiente 5) avec un œdème en regard des noyaux gris centraux gauches et un œdème latéro-protubéranciel gauche,
- hématome intra-parenchymateux dans 1 cas (8,3 %) (patiente 17).

Sur les 5 angio-MR dynamique les anomalies observées ont été :

- dans 4 cas (patients 5, 8, 9 et 17) une opacification précoce de la loge caverneuse porteuse de la fistule avec opacification de la loge caverneuse controlatérale dans 1 cas (patiente 17),
- dans 1 cas (patient 16) une opacification précoce de la loge caverneuse droite, controlatérale au siège du shunt en angiographie, l'angiographie retrouvera une fistule se drainant vers les 2 loges caverneuses et le centrage de la séquence dynamique avait été placé du côté droit en raison des signes cliniques,
- dans 4 cas opacification d'une partie des voies de drainage de la fistule (en fonction du centrage de la séquence) avec en particulier opacification de vaisseaux tortueux correspondant au drainage veineux leptoméningé pour la patiente 17.

3.2.3- Artériographie diagnostique

Patient	Artériographie Diagnostique				Classification de Barrow
	délais/SC en semaine	Localisation de la fistule	Afférences artérielles	Drainage veineux	
1	30	D	CID, CIG, PAD, MID	ANT D	D
2	4	G	CIG, MIG	POST D, POST G	D
3	106	G	CID, CIG, MID, MIG, AV(branchés clivales)	ANT D, ANT G, DLM	D
4	7	D	CID, CIG, PAD, MID, MIG	POST D, ANT D	D
5	27	G	CIG, CID, MIG	DLM	D
6	10	G	CID, CIG, PAD, MIG	ANT D, ANT G	D
7	39	G	CID, CIG, PAD, MID, MIG	POST D	D
8	4	G	CID, CIG, PAD, PAG	ANT D, ANT G	D
9	49	Guérison spontanée			
10	6	D et G	CID, CIG, PAD, MID, PAG, MIG	POST D, DLM	D
11		D	CID, CIG, MID	POST	D
12	9	G	CID, CIG, MIG	ANT G	D
13	15	G	CID, CIG, PAD, MID, Palat asc D, PAG, MIG, Palat asc G	ANT G	D
14	23	G	CID, CIG, MIG	POST D, POST G	D
15	32	D	CID	ANT G	B
16	20	G	CID, CIG, MID, MIG, AV(branchés clivales)	ANT D, ANT G, DLM	D
17	54	G	CID, CIG, MID, MIG	ANT D, DLM	D

Abréviations :

Afférences artérielles :

- CID et CIG : artères carotides internes droite et gauche,
- MID et MIG : artères maxillaires internes droite et gauche,
- AV : artères vertébrales,
- Palat asc D et G : palatine ascendante droite et gauche.

Les voies de drainage veineuse étaient définies comme :

- antérieures : pour les veines ophtalmiques supérieures (VOS),
- postérieures : pour les sinus pétreux supérieur (SPS) et inférieur (SPI),
- drainage leptoméningé (DLM) dès qu'un drainage rétrograde leptoméningé était visible.

Ces données proviennent des comptes-rendus d'artériographie initiale diagnostique (pour les patients adressés pour avis diagnostique) ou pré-thérapeutique (pour les patients dont le diagnostic est déjà connu).

Toutes ces angiographies comprennent au minimum un examen des deux carotides internes et des deux carotides externes et le plus souvent une exploration sélective des branches carotidiennes externes.

Tous les patients ont bénéficié d'une artériographie, le délai moyen de réalisation par rapport au début des symptômes a été calculé à partir des données de 16 patients (les données de la patiente 11 étant insuffisantes) : délai de 27 semaines (avec des extrêmes de 4 à 106 semaines).

3.2.3.1- Localisation

Il a été observé :

- 11 fistules de la loge caverneuse gauche (64,7 % de la série),
- 4 fistules de la loge caverneuse droite (23,5 de la série),
- 1 fistule bilatérale (5,9 % de la série),
- 1 cas de guérison spontanée (patiente 9) soit 5,9 % de la série : patiente ayant présenté des signes cliniques typiques et ayant bénéficié d'une IRM très évocatrice du diagnostic de fistule durale de la loge caverneuse. Une artériographie est réalisée alors qu'il n'existe plus de symptômes et se révèle normale.

3.2.3.2- Afférences artérielles et classification de Barrow

Les apports carotidiens internes étaient :

- bilatéraux dans 14 cas,
- unilatéraux dans 2 cas.

Les apports carotidiens externes étaient :

- bilatéraux dans 9 cas,
- unilatéraux dans 6 cas.

Au total, sur les 16 patients les afférences artérielles ont été :

- bilatérales dans 14 cas (87,5 % des cas),
- unilatérales dans 2 cas (patiente 2 et 15) (12,5 % des cas).

Selon la classification de Barrow :

- 15 fistules étaient de type D soit 93,75 %,
- 1 fistule était de type B (patiente 15) soit 6,25 %.

3.2.3.3- Drainages veineux

Le drainage de la fistule a été :

- uniquement antérieur dans 6 cas (4 drainages unilatéraux et 2 drainages bilatéraux),
- uniquement postérieur dans 4 cas (2 drainages unilatéraux et 2 bilatéraux),
- antérieur et postérieur dans 1 cas (patiente 4),
- antérieur et DLM dans 3 cas (patiente 3, 16 et 17),
- postérieur et DLM dans 1 cas (patiente 10),
- uniquement DLM dans 1 cas (patiente 5),
- 1 guérison spontanée (patiente 9).

10 patients ont présenté un drainage antérieur soit 62,5 % des 16 patients avec une fistule visible en angiographie, 6 patients ont présenté un drainage postérieur soit 37,5 % des patients et 5 patients ont présenté un drainage leptoméningé soit 31,25 % des patients.

3.3- Première séance d'embolisation

Au total 16 des 17 patients ont bénéficiés d'un traitement endovasculaire, la patiente 9 ayant guéri spontanément, cette patiente ne sera donc pas prise en compte dans les résultats post-thérapeutiques.

Patient	TTT Immédiat		1ère séance d'embolisation		
	Oui/non	Si non, délai en jours	Artériel/Veineux	Vx embolisés	Agent d'embolisation
1	O		A	MID, PAD	Particules
2	N	17	V	Sinus caverneux gauche	Coils
3	N	2	A	MID, MIG	Particules
4	O		A	MID, MIG	Particules
5	O		A	MID, MIG	Particules
6	O		A	MID, PAD, MIG	Particules
7	N	3	A	MID, PAD, MIG, PAG	Particules
8	O		A	MID, PAD, PAG	Particules
9					
10	N	5	A	MID, MIG	Dure-mère
11	N	8	A	MID	Particules
12	N	10	A	MID, MIG	Particules
13	N	8	A	MID, MIG	Dure-mère
14	O		A	MIG	Particules
15	O		A	MID, MIG	Particules
16	O		A	MID, MIG	Particules
17	O		A	MID, MIG	Particules

3.3.1- Voie endo-vasculaire utilisée

Les voies utilisées pour le traitement endo-vasculaire ont été :

- la voie artérielle : 15 cas soit 93,75 % des patients traités,
- la voie veineuse : 1 cas (patiente 2) soit 6,25 % des patients traités, il s'agit de la patiente la plus jeune de la série (31 ans), la fistule était à drainage postérieur entraînant des acouphènes invalidants. Le but était d'obtenir une guérison définitive, la voie utilisée a été le sinus pétreux inférieur.

3.3.2- Les agents d'embolisation

Les agents d'embolisation utilisés au cours de cette première séance d'embolisation ont été :

- les particules 150/250 microns : 13 cas,
- la dure-mère alcoolisée : 2 cas (patientes 10 et 13),
- les coils : 1 cas (patiente 2).

3.3.3- Artères embolisées

Parmi les embolisations artérielles des branches carotidiennes externes (15 cas) :

- dans 11 cas l'embolisation a concerné uniquement les branches de l'artère maxillaire interne :
 - bilatérale dans 9 cas,
 - unilatérale dans 2 cas (patientes 11 et 14),
- dans 4 cas l'embolisation a concerné les branches de l'artère maxillaire interne et de l'artère pharyngienne ascendante :
 - patiente 1 : embolisation unilatérale droite,
 - patiente 6 : embolisation de la pharyngienne ascendante droite et des 2 maxillaires internes,
 - patient 7 : embolisation des 2 maxillaires internes et des 2 pharyngiennes ascendantes,
 - patiente 8 : embolisation des 2 pharyngiennes ascendantes et de la maxillaire interne droite.

En terme de latéralité :

- dans 12 cas l'embolisation a été bilatérale,
- dans 3 cas l'embolisation a été unilatérale :
 - patiente 1 : les afférences artérielles étaient essentiellement droites,
 - patiente 11 : afférences controlatérales (gauches) jugées non significatives,
 - patiente 14 : afférences controlatérales (droites) jugées non significatives.

Au total cette embolisation par voie artérielle a concerné dans tous les cas les branches des artères maxillaires internes, le plus souvent de façon bilatérale (80 %) mais parfois de façon unilatérale (20 %) lorsque les apports controlatéraux étaient jugés non significatifs. Plus rarement des branches des artères pharyngiennes ascendantes ont également été embolisées (4 patients soit 27 % des voies artérielles) selon l'angio-architecture de la lésion.

3.3.4- Complications lors du geste

Une seule complication liée au geste a été observée pour la patiente 8 avec une thrombose transitoire de l'artère carotide externe gauche au dessus de la naissance de l'artère faciale vraisemblablement liée à une dissection lors d'un cathétérisme difficile, cependant

cette thrombose n'a pas eu de conséquence clinique et lors du contrôle angiographique 2 mois plus tard la carotide externe gauche était de nouveau perméable.

Dans les suites immédiates du geste il a été observé chez 2 patients une aggravation transitoire des signes cliniques :

- patiente 2 : apparition de douleurs dans le territoire du nerf ophtalmique de Willis gauche amendées en 24 heures ; par prudence la patiente a été laissée sous anticoagulants (fraxiparine) pendant 8 jours et sous antiagrégants (Aspegic) pendant 1 mois,
- patient 7 : recrudescence de l'exophtalmie inflammatoire de l'œil droit résolue en quelques jours, le patient a bénéficié d'une cure de corticothérapie à forte dose pendant les 3 jours qui ont suivis le geste et a été mis sous antiagrégants (Aspegic) pendant 1 mois.

Chapitre 4- Résultats

Chaque patient a eu un ou plusieurs contrôles (contrôle 1, contrôle 2...). Les informations cliniques disponibles dans le dossier patient et correspondant à la période du contrôle ont été étudiées. Le contrôle radiologique comprenait un bilan angiographique et parfois une imagerie en coupe. Au total pour chaque contrôle les données clinico-radiologiques ont été répertoriées sous la forme d'une échelle allant du meilleur au moins bon résultat. Chaque contrôle a été suivi ou non d'une nouvelle embolisation (contrôle 1 suivi d'une embolisation n°2...). Voici les items étudiés et la cotation utilisée pour rendre compte des résultats :

- délai du contrôle en semaines par rapport à l'embolisation précédente ou au contrôle précédent
- résultat clinique :
 - disparition des symptômes : guérison,
 - diminution des symptômes : amélioration,
 - absence d'amélioration clinique : stabilité,
 - augmentation des symptômes : aggravation,
- résultat TDM et/ou IRM :
 - disparition des anomalies radiologiques : guérison,
 - diminution des anomalies radiologiques : amélioration
 - absence d'amélioration radiologique : stabilité,
 - aggravation radiologique : aggravation,
- résultat angiographique :
 - disparition du shunt et des anomalies angiographiques : guérison,
 - diminution du shunt et des anomalies angiographiques : amélioration,
 - absence d'amélioration angiographique : stabilité,
 - aggravation angiographique : aggravation,
- Décision thérapeutique :
 - réussite thérapeutique avec exclusion de la fistule durale en angiographie et surveillance hors du service lorsqu'il persiste des anomalies cliniques : fin du traitement neuro-interventionnel,
 - lorsque des examens d'imagerie sont prévus afin d'évaluer l'évolution de la fistule : surveillance,

- lorsque les éléments du bilan sont assez rassurants pour se passer d'une imagerie : surveillance hors du service,
- nouveau traitement endo-vasculaire indiqué : embolisation.

4.1- Contrôle n°1

Patient	Contrôle 1				Décision thérapeutique
	Délai/embolisation (semaines)	Résultat clinique	Imagerie en coupe	Bilan angiographique	
1	8	stabilité	stabilité (IRM)	stabilité	embolisation
2	16	guérison		guérison	fin du TTT
3	98	aggravation		amélioration	embolisation
4	6	stabilité		amélioration	surveillance
5	36	amélioration	guérison (IRM)	guérison	fin du TTT
6	11	amélioration		guérison	fin du TTT
7	17	guérison		guérison	fin du TTT
8	9	amélioration		guérison	fin du TTT
10	13	guérison		guérison	fin du TTT
11	27	amélioration		stabilité	embolisation
12	18	aggravation			surveillance
13	8	amélioration		guérison	fin du TTT
14	44	amélioration			surveillance hors service
15	4	amélioration	amélioration (IRM)		surveillance
16	14	amélioration	stabilité (IRM)	amélioration	embolisation
17	21	guérison	guérison (IRM)	guérison	Fin du TTT

Le délai moyen de ce premier contrôle a été de 22 semaines (extrêmes de 4 et 98 semaines), si l'on exclut la patiente 3 pour laquelle le délai a été très long le délai moyen est recalculé à 17 semaines.

4.1.1- Résultats cliniques

La guérison a été obtenue pour 4 patients (patients 2, 7, 10 et 17) soit 25 % des patients traités.

L'amélioration clinique a été obtenue pour 8 patients (patients 5, 6, 8, 11, 13, 14, 15, 16) soit 50 % des patients traités :

- patiente 5 : amélioration importante avec uniquement persistance d'une discrète hyperhémie conjonctivale gauche,
- patiente 6 : amélioration importante avec persistance de discrets troubles de l'oculomotricité (atteinte partielle du III droit et du VI droit),
- patiente 8 : amélioration importante avec persistance de troubles de l'oculomotricité gauche (III gauche et VI gauche),
- patiente 11 : amélioration modérée avec disparition de la diplopie mais persistance de signes orbitaires droits (exophtalmie, chémosis, hyperhémie conjonctivale),
- patiente 13 : amélioration importante avec disparition de la gêne fonctionnelle et persistance de discrets signes orbitaires gauches (exophtalmie et hyperhémie conjonctivale),
- patiente 14 : diminution importante des acouphènes pulsatiles gauches qui ne gênent plus la vie quotidienne de la patiente,
- patiente 15 : amélioration importante avec uniquement persistance d'un discret chémosis gauche,
- patiente 16 : amélioration clinique très importante avec uniquement persistance d'une hyperhémie conjonctivale.

2 patientes (1 et 4) soit 12,5 % de la série n'ont eu aucune modification clinique significative.

2 patientes (3 et 12) soit 12,5 % de la série se sont aggravées cliniquement :

- patiente 3 : aggravation des signes cliniques ophtalmologiques (en particulier de l'exophtalmie),
- patiente 12 : la pression intra-oculaire de l'œil gauche restant très élevée une trabéculéctomie a été décidée, se compliquant d'un décollement choroïdien circulaire avec effondrement de l'acuité visuelle.

4.1.2- Résultats angiographiques

Au cours de ce premier contrôle la guérison angiographique a concerné 8 patients soit 50 % des patients traités :

- pour 4 patients la guérison clinique est obtenue (patients 2, 7, 10 et 17),

- pour 4 patients il est observé une amélioration clinique importante (patients 5, 6, 8 et 13).

3 patients (3, 4 et 16) ont vu leur fistule diminuer soit 18,75 % des patients traités :

- patiente 3 : disparition du retour veineux lepto-méningé mais augmentation du retour veineux vers la VOS gauche,
- patiente 4 : diminution globale de la fistule,
- patiente 16 : disparition du retour veineux lepto-méningé.

Aucune modification angiographique significative n'a été notée pour 2 patientes (patientes 1 et 11) soit 12,5 % des patients traités.

Aucun contrôle angiographique n'a été réalisé pour 3 patientes soit 18,75 % des patients traités :

- la patiente 12 en raison d'une pression intra-oculaire de l'œil gauche très élevée a bénéficié d'une intervention de trabéculéctomie qui s'est malheureusement compliquée d'un décollement choroïdien circulaire important avec acuité visuelle effondrée ; dans ce contexte bien qu'il persiste une hyperhémie conjonctivale importante il est décidé de ne pas pratiquer de contrôle angiographique,
- la patiente 14 dont la fistule ne présentait pas de signe angiographique de gravité et dont la gêne fonctionnelle est devenue mineure (minimes acouphènes de l'oreille gauche) ne sera plus contrôlée par imagerie dans le service, seule une surveillance clinique sera instituée hors du service,
- la patiente 15 qui s'est nettement améliorée tant au niveau clinique que sur le plan de l'imagerie (IRM) et chez qui la surveillance ne sera plus que non invasive hors élément intercurrent.

4.1.3- Décision thérapeutique

La fin du traitement neuro-interventionnel a été décidée pour les 8 patients avec guérison anatomique de la fistule sur le contrôle angiographique soit 50 % des patients traités (2, 5, 6, 7, 8, 10, 13 et 17).

La surveillance neuro-radiologique sans nouvelle embolisation concerne 3 patients (4, 12 et 15) soit 18,75 % des patients traités.

La surveillance hors du service a été décidée pour la patiente 14 chez qui la fistule présentait une angio-architecture rassurante et qui ne présentait plus de gêne fonctionnelle significative.

Une nouvelle embolisation a été décidée pour 4 patientes (1, 3, 11, 16) soit 25 % des patients traités.

4.2- Séance d'embolisation n°2

La patiente 3 a été perdue de vue après le premier contrôle et n'a donc pas eu de traitement endovasculaire. Au total 3 patients soit 18,75 % des patients traités ont eu une seconde séance d'embolisation :

Patient	2ème séance d'embolisation		
	Artériel/Veineux	Vx embolisés	Agent d'embolisation
1	A	MID, MIG	Particules
11	A	MIG	Particules
16	A	MID, MIG	Particules

Ces secondes séances d'embolisation ont été réalisées par voie artérielle dans tous les cas avec utilisation de particules, elles ont toutes été pratiquées dans les suites immédiates du contrôle angiographique préalable.

Ces embolisations ont concerné les artères maxillaires internes, elles ont été bilatérales sauf pour la patiente 11 (spasme important de l'artère maxillaire interne droite empêchant son embolisation) ; elles n'ont pas donné lieu à des complications au cours des séances et n'ont pas été suivies d'aggravation.

4.3- Contrôle n°2

Patient	contrôle 2				Décision thérapeutique
	Délai/contrôle 1 (semaines)	Résultat clinique	Imagerie en coupe	Bilan angiographique	
1	10	Amélioration	Amélioration (IRM)	Amélioration	Embolisation
4	18	Guérison des signes initiaux, apparition d'acouphènes pulsatiles gauches		Guérison de la FD loge caverneuse, apparition d'une FD du sinus transverse gauche	Fin du TTT pour la loge cav gauche, embolisation de la FD du sinus transverse
11	14	Stabilité		Stabilité	Embolisation
12	13	Amélioration			Surveillance hors service
15	54	Amélioration	Amélioration		Surveillance hors service
16	12	Aggravation		Aggravation	Embolisation

Le délai moyen de ce second contrôle a été de 20 semaines (extrêmes de 10 et 54 semaines).

4.3.1- Résultats cliniques

La guérison des signes initiaux a été obtenue pour la patiente 4, cependant sont survenus de nouveaux signes cliniques à type d'acouphènes pulsatiles gauches et d'un souffle péri-auriculaire gauche.

Une amélioration significative des signes cliniques a été obtenue pour 3 patientes :

- patiente 1 : amélioration importante avec uniquement persistance d'une discrète exophtalmie droite et d'une discrète hyperhémie conjonctivale droite,
- patiente 12 : amélioration importante des signes liés à la fistule avec uniquement persistance d'une discrète hyperhémie conjonctivale gauche mais on note une cécité gauche,
- patiente 15 : amélioration importante avec uniquement persistance d'une discrète hyperhémie conjonctivale gauche.

Aucune modification clinique significative n'a été notée pour la patiente 11.

Une aggravation des signes cliniques a été notée pour la patiente 16 : il s'agit d'une recrudescence des symptômes orbitaires bilatéraux avec exophtalmie et chémosis.

4.3.2- Résultats angiographiques

Les patientes 12 et 15 n'ont pas eu de bilan angiographique, ces patientes n'étant plus gênées sur le plan fonctionnel. Les contrôles angiographiques ont donc concerné 4 patientes avec :

- une guérison de la fistule pour la patiente 4 : il s'agit d'un cas exceptionnel, la fistule durale de la loge caverneuse a été guérie mais il est survenu une deuxième fistule durale au niveau du sinus transverse gauche,
- une amélioration pour la patiente 1 avec une réduction très importante des afférences artérielles,
- une stabilité pour la patiente 11,
- une aggravation pour la patiente 16 avec une fistule dont l'alimentation ne dépend dorénavant quasi exclusivement que des siphons carotidiens droit et gauche.

4.3.3- Décision thérapeutique

La patiente 4 sort par définition de cette étude avec une fistule de la loge caverneuse guérie, la fistule durale du sinus transverse a été par la suite traitée par voie artérielle avec embolisation particulière de l'artère pharyngienne ascendante gauche qui alimentait la fistule, le contrôle post-embolisation retrouvera une guérison clinique et angiographique.

La surveillance a été décidée pour 2 patientes :

- la patiente 12 sera surveillée hors du service, cette patiente n'étant plus gênée par son œil gauche (cécité gauche) et la situation étant quiescente avec uniquement la persistance d'une discrète hyperhémie conjonctivale,
- la patiente 15 qui ne présente plus qu'une discrète gêne orbitaire gauche ne sera également plus surveillée de façon invasive hors élément intercurrent.

Une troisième séance d'embolisation est décidée pour 3 patientes :

- patiente 1 : la patiente étant toujours gênée au niveau de son œil droit,
- patiente 11 : en raison de l'absence d'amélioration tant clinique qu'angiographique,
- patiente 16 : du fait de l'aggravation des signes orbitaires.

4.4- Séance d'embolisation n°3

Patiente	3ème séance d'embolisation		
	Artériel/veineux	Vx embolisés	Agent d'embolisation
1	A	MID, MIG	Particules
11	A	MID, MIG	Particules
16	V	Loge cav G	Coils

La voie a été artérielle dans 2 cas avec embolisation bilatérale des artères maxillaires internes. Pour la patiente 16 le bilan angiographique a retrouvé une fistule dont l'alimentation artérielle ne dépendait quasi exclusivement que des siphons carotidiens droit et gauche, une voie veineuse est alors privilégiée qui permet d'exclure la fistule lors du contrôle immédiat. A 12 heures de l'embolisation l'amélioration clinique est quasi complète avec une très nette régression de l'exophtalmie.

Aucune complication n'est survenue lors de ces séances d'embolisation. Pour la patiente 1, dans les suites immédiates de l'embolisation est survenue une aggravation de l'exophtalmie droite avec légère sensation de flou visuel ; un scanner a été réalisé et n'a pas montré de complications. Les symptômes se sont résolus spontanément en quelques jours et ont été rapportés à une thrombose de la fistule.

4.5- Contrôle n°3

Patient	contrôle 3				Décision thérapeutique
	Délai/contrôle 1 (semaines)	Résultat clinique	Imagerie en coupe	Bilan angiographique	
1	23	guérison	guérison (IRM)	guérison	fin du TTT
11	15	aggravation		amélioration	surveillance

Pour la patiente 1 il existe une disparition complète des signes cliniques et de la fistule en angiographie.

La patiente 11 présente une aggravation des signes orbitaires droits, cependant le contrôle angiographique retrouve une réduction du shunt avec des afférences artérielles ne

provenant plus que des siphons carotidiens et un retour veineux uniquement postérieur, cette discordance avec la clinique est mal comprise et un contrôle rapproché est décidé.

4.6- Contrôles ultérieurs

Ils ne concernent que la patiente 11 qui a bénéficié par la suite de 2 contrôles :

Patiente 11	Délai/contrôle précédent (semaines)	Résultat clinique	Imagerie en coupe	Bilan angiographique	Décision thérapeutique
contrôle 4	4	aggravation		guérison	surveillance
contrôle 5	14	amélioration			surveillance hors service

Lors du contrôle n°4, alors que les signes orbitaires droits se sont majorés le contrôle angiographique ne retrouve plus aucune fistule, la recrudescence des signes cliniques est alors rapportée à l'occlusion de la fistule.

Le contrôle n°5 permet d'objectiver une amélioration clinique importante avec uniquement la persistance d'une hyperhémie conjonctivale droite, la patiente sera surveillée désormais de façon non invasive.

Au total sur les 15 cas traités par voie artérielle :

- 9 réussites thérapeutiques en une seule séance (disparition de la fistule ou amélioration suffisante),
- 1 réussite thérapeutique en une séance mais avec développement d'une nouvelle fistule d'une autre localisation,
- seconde embolisation nécessaire dans 4 cas : une patiente ayant été perdue de vue 3 séances ont été réalisées avec échec dans tous les cas et nécessité d'une 3^{ème} embolisation (2 artérielles et 1 veineuse),
- 1 échec : décollement choroïdien.

Chapitre 5- Discussion

5.1- Discussion des résultats

5.1.1- Patients

L'âge moyen de cette série de 17 patients est de 66 ans ce qui correspond aux données de la littérature, cette pathologie touchant essentiellement la femme ménopausée (24). La proportion de femmes est particulièrement importante dans notre série représentant 94 % des patients. L'âge moyen de survenue de cette pathologie souligne l'importance de proposer le traitement le moins invasif possible tout en permettant une amélioration des symptômes.

5.1.2- Présentation clinique

Les signes cliniques orbitaires sont les plus fréquents, représentant 88,2 % des patients avec en particulier une exophtalmie clinique dans 100 % des cas ; ceci est en accord avec les données de la littérature, Lasjaunias et al (29) retrouvant dans 83 % des cas une exophtalmie sur une série de 36 fistules dures de la loge caverneuse.

L'importance du retentissement orbitaire est en corrélation avec le taux élevé de drainage veineux antérieur vers les veines ophtalmiques supérieures (25) retrouvé chez 62,5 % des patients en angiographie ; en effet il existe un lien statistiquement significatif entre la présence d'un drainage veineux antérieur et les signes de congestion orbitaire (26).

Les signes extra-orbitaires ont été présents chez 53 % des patients, des céphalées ont été notées dans 29,4 % des cas mais sont peu spécifiques, des acouphènes pulsatiles ont été retrouvés dans 23,5 % des cas et sont en relation avec le drainage veineux postérieur de la fistule vers les sinus pétreux (25) qui a été retrouvé dans 37,5 % des cas en angiographie.

5.1.3- Imagerie initiale

5.1.3.1- Imagerie en coupe

On note un délai moyen de réalisation de la première imagerie de 26 semaines par rapport au début des symptômes, délai particulièrement long qui montre le début fréquemment insidieux de cette pathologie (24).

Les signes les plus fréquemment retrouvés sont la dilatation de la VOS et les anomalies du sinus caverneux (élargissement et artérialisation).

Un seul scanner sur les 8 réalisés et une seule IRM sur les 12 réalisées ont été interprétés comme normal, dans tous les cas il s'agissait de fistule à drainage veineux uniquement postérieur et il est connu que les IRM peuvent être strictement normales lorsque le drainage veineux est uniquement antérograde (19).

Cinq patients ont bénéficié d'une angio-MR dynamique après injection de gadolinium au premier bilan diagnostique, dans 100 % des cas cet examen a mis en évidence la fistuleurale en retrouvant une opacification précoce de la loge caverneuse et des voies de drainage de la fistule. Il faut cependant noter la valeur localisatrice modérée de cet examen, en effet dans un cas (patiente 16) le centrage était à droite et il a été retrouvé une opacification précoce de la loge caverneuse droite alors que la fistule était à gauche, la loge droite étant opacifiée par les communications veineuses inter-caverneuses ; de même, la visibilité des voies de drainage de la fistule dépend du plan d'acquisition choisie, en effet le nombre d'acquisition est limité, toute nouvelle acquisition nécessitant une nouvelle injection (47).

5.1.3.2- Artériographie

On note une artériographie normale (patiente 9) sur les 17 bilans initiaux réalisés correspondant à une guérison spontanée. Les symptômes de cette patiente et l'IRM étaient très évocateurs de fistuleurale de la loge caverneuse et l'artériographie avait été réalisée alors que les symptômes avaient quasiment disparu ; on peut noter que l'artériographie avait été réalisée à 49 semaines du début des symptômes cliniques, ce qui est nettement supérieur à la moyenne du délai de réalisation des artériographies diagnostiques de cette série estimée à 27 semaines par rapport au début des signes cliniques. La notion de guérison spontanée des fistules durales de la loge caverneuse est bien connue dans la littérature et est évaluée entre 17 % et 50 % selon les séries (24) ; ce taux dans notre série est de 5,9 % et est donc en dessous de la moyenne, ce qu'on peut expliquer par la rareté de cette pathologie avec des séries courtes difficilement comparables.

Parmi les 16 patients avec une fistuleurale en artériographie 93,75 % étaient du type D de la classification de Barrow et 6,25 % du type B, en conformité avec les données de la littérature les fistules de type D étant les plus fréquentes (23, 25, 52) ; on note qu'aucune

fistule de notre série n'était du type C sans explication satisfaisante excepté le faible nombre de patients.

Chez 5 patientes soit 31,25 % de la série avec fistule dure en artériographie il a été retrouvé un drainage veineux rétrograde leptoméningé. Une de ces patientes a présenté un hématome cortical, cette donnée souligne l'importance pronostique de ce type de drainage avec un risque d'hémorragie ou de déficit neurologique non hémorragique élevé (36).

5.1.4- Traitement initial

Le traitement a été indiqué :

- soit en raison de la gêne fonctionnelle induite par la fistule, cette gêne suffit à poser l'indication d'un traitement endovasculaire lorsqu'elle altère la qualité de vie (37),
- soit du fait de symptômes justifiant un traitement urgent : baisse d'acuité visuelle retrouvée dans 29,4 % des cas et représentant une indication formelle à un traitement invasif (54), hématome cortical représentant également une indication formelle pour un traitement invasif (29),
- soit du fait de critères angiographiques : drainage veineux rétrograde leptoméningé retrouvé chez 5 patients.

La voie veineuse n'a été utilisée que pour une patiente lors de la première embolisation soit 6,25 % des cas ; il s'agissait de la patiente la plus jeune de la série (31 ans), cette patiente présentait des acouphènes pulsatiles invalidants et en raison de son jeune âge une guérison anatomique définitive de la fistule était souhaitée. En effet la voie veineuse bien que théoriquement plus risquée permet d'espérer un taux de guérison définitive plus important que la voie artérielle (51). La voie utilisée a été le sinus pétreux inférieur, il s'agit de la voie d'accès au sinus caverneux la plus fréquemment utilisée et la plus sûre (55).

La voie artérielle, plus simple, a été utilisée dans 93,75 % des cas. Les apports artériels étant bilatéraux dans 87,5 % des cas, la majorité des embolisations ont été bilatérales (80 % des embolisations artérielles), en notant que l'embolisation du côté le plus pathogène peut parfois suffire à occlure l'apport controlatéral (24). Ce traitement n'a donné lieu à aucune complication excepté une thrombose de la carotide externe gauche au dessus de la naissance de l'artère faciale ; cette thrombose a fait discuter une dissection en raison de difficultés lors du cathétérisme, cet épisode n'a pas eu de conséquence clinique et lors du contrôle l'artère

était de nouveau perméable. La moyenne d'âge des patientes traitées par voie artérielle était de 67,8 ans, ceci souligne l'intérêt d'un traitement qui ne soit pas trop invasif, visant plus à la réduction des symptômes qu'à la guérison anatomique lorsqu'il n'existe pas de drainage veineux leptoméningé (28).

La dure-mère alcoolisée a été utilisée à deux reprises lors des traitements les plus anciens de la série, il s'agit d'un agent d'embolisation qui n'est actuellement plus utilisé en raison des risques de transmission de prions (23). Tous les autres patients ont été traités en utilisant des particules, en effet cet agent d'embolisation est beaucoup moins risqué comparativement aux colles biologiques (56). Plusieurs publications concernant un nouvel agent d'embolisation nommé « onyx » ont été rapportées ; cet agent permettrait une efficacité équivalente voire supérieure aux colles biologiques avec une meilleure sécurité d'utilisation (57), l'onyx n'a pas été utilisé dans cette série, il représente un agent d'embolisation potentiel pour les fistules durales de la loge caverneuse et sera à évaluer.

Lors de la surveillance le traitement initial s'est avéré cliniquement efficace dans 75 % des cas (25 % de guérisons et 50 % d'améliorations significatives). L'efficacité s'est traduite en artériographie par un taux de guérison anatomique (disparition de la fistule) de 50 % et une diminution de la fistule dans 18,75 % des cas ; il faut noter que dans 18,75 % des cas aucun contrôle artériographique n'a été réalisé alors que les signes cliniques étaient diminués de façon importante, il est raisonnable de penser que le contrôle artériographique chez ces patients aurait retrouvé une fistule de plus petite taille et que la proportion de fistules de taille diminuée par ce premier traitement se rapproche de 37 %.

Si on isole les 15 patients traités par voie artérielle, la guérison anatomique (disparition de la fistule) a été obtenue à la suite du premier traitement dans 46,7 % des cas et une amélioration significative dans 20 % des cas. Un second traitement n'a été nécessaire que pour 4 patients soit 26,6 % des cas. Ces résultats sont proches de ceux rapportés dans la littérature avec dans la méta-analyse de Lucas et al (51) un taux de réussite de 62 % pour les traitements par voie artérielle. Une patiente (6,7 % des cas) a présenté un décollement choroïdien suite à une chirurgie réalisée pour hypertension oculaire importante, le traitement par voie artérielle n'avait pas permis de suffisamment faire baisser la pression intra-oculaire, ceci doit donc être considéré comme un échec thérapeutique même si lors de la surveillance les signes congestifs orbitaires ont régressé.

Deux notions sont intéressantes à souligner :

- parmi les patients traités par voie artérielle 5 présentaient un drainage leptoméningé, suite au premier traitement la guérison anatomique de la fistule a été obtenue dans 3 cas et le drainage leptoméningé a disparu pour ces 5 patients permettant de protéger contre le risque hémorragique (36),
- la voie artérielle a été utilisée pour la seule fistule de type B de la classification de Barrow, ce traitement a permis d'obtenir une guérison quasi-complète clinique et angiographique de la fistule. Ceci souligne que la modification de l'hémodynamique de la lésion, en embolisant les branches carotidiennes externes, peut suffire à initier la thrombose de la fistule même lorsqu'il n'existe que des apports carotidiens internes (38).

5.1.5- Traitements supplémentaires

Au décours du premier traitement, la guérison anatomique était obtenue dans 50 % des cas ; 2 patientes (14 et 15) ont été surveillées de façon non invasive en raison d'une amélioration quasi-complète des symptômes, une nouvelle séance d'embolisation a été jugée nécessaire pour 4 patients si l'on exclu :

- la patiente 4 ayant présenté lors de la surveillance une fistule durale du sinus transverse alors que la fistule durale localisée à la loge caverneuse avait disparu ; ce cas est exceptionnel, il représente un mode d'aggravation potentiel de toute fistule durale avec apparition d'une seconde fistule d'une autre localisation comme le soulignent Cognard et al (41).
- la patiente 12 qui a présenté un décollement choroïdien avec effondrement de l'acuité visuelle rendant toute amélioration fonctionnelle illusoire.

Une patiente ayant été perdue de vue, 3 patients ont eut une seconde séance d'embolisation par voie artérielle qui a été peu efficace lors de la surveillance clinique et angiographique :

- une amélioration significative mais insuffisante,
- une absence d'amélioration,
- une aggravation.

Pour ces 3 patients une troisième séance d'embolisation a été nécessaire avec dans 2 cas une voie artérielle et dans un cas une voie veineuse en empruntant le sinus pétreux inférieur.

Deux de ces trois patients font partie des trois patients qui n'ont initialement eu qu'une embolisation unilatérale en raison d'apports contralatéraux jugés non significatifs, ceci fait discuter l'intérêt de réaliser systématiquement une embolisation bilatérale.

Le traitement réalisé par voie veineuse a été réalisé dans un contexte d'aggravation clinique d'une fistule du type D de Barrow, l'angio-architecture de cette fistule s'est modifiée suite aux traitements par voie artérielle avec une alimentation ne dépendant ensuite presque exclusivement que des siphons carotidiens ; cette notion est connue dans la littérature comme une limite du traitement par voie artérielle qui peut conduire au recrutement des apports carotidiens internes nécessitant ensuite un traitement par voie veineuse (24).

Ces résultats soulignent la difficulté à obtenir une efficacité thérapeutique par voie artérielle lorsqu'une première tentative n'a pas permis d'obtenir la guérison clinique. Si la voie artérielle présente un risque théorique inférieur à la voie veineuse et est techniquement plus simple, elle suffit souvent à guérir ou diminuer de façon importante la gêne fonctionnelle chez ces patientes âgées, la voie veineuse peut se discuter en seconde intention lorsqu'un premier traitement par voie artérielle a été insuffisant.

5.2 – Revue de la littérature sur les thérapeutiques

5.2.1- Indications thérapeutiques

Il existe différentes alternatives thérapeutiques pour les fistules dures de la loge caverneuse : l'abstention thérapeutique, les traitements conservateurs, les traitements palliatifs, les procédures endo-vasculaires, la chirurgie, la radio-chirurgie ou des associations de ces thérapeutiques. L'indication thérapeutique dépend essentiellement de deux critères : les signes cliniques initiaux (neurologiques et ophtalmologiques) et le risque de complication de la fistule dure évalué selon son mode de drainage veineux.

Dans ce chapitre vont être discutés les différentes indications thérapeutiques sans rentrer dans les détails propres à chaque technique (matériaux d'embolisation, voies d'abord) qui sont développés dans les chapitres suivants.

5.2.1.1- Indications selon le mode de drainage veineux

5.2.1.1.1- Absence de drainage veineux leptoméningé

Davies et al (37) ont étudié 55 lésions Borden 1 dont 23 localisées à la loge caverneuse :

- en l'absence de traitement les symptômes ont guéri spontanément dans 81% des cas et sont restés stables dans 19% des cas,
- avec une embolisation palliative les symptômes ont disparu ou ont diminué dans 86% des cas,
- au total 98% des lésions sont restées bénignes.

De même dans deux séries comportant essentiellement des patients porteurs de lésions Borden 1 et / ou de lésions du sinus caverneux, l'embolisation des branches des carotides externes apparaît efficace avec un taux de guérison de 72% pour Picard et al et de 78% pour Halbach (36).

Les fistules de type I sont le plus souvent pauci symptomatiques et ont un taux élevé de thrombose spontanée (34) ; en raison de leur excellent pronostic l'abstention thérapeutique est le choix de première intention. Un traitement invasif n'est impératif que :

- dans les rares cas où la présentation clinique initiale ou son évolution sont péjoratives (hémorragie cérébrale, déficit neurologique non hémorragique, développement d'une hypertension intracrânienne) (37),
- lorsqu'il existe un retentissement ophtalmologique important : élévation de la pression intra-oculaire au dessus 20mmHg (54) et baisse d'acuité visuelle.

Cependant même en l'absence de critère de gravité le retentissement ophtalmologique (ophtalmoplégie, exophtalmie) mais également fonctionnel (par exemple des acouphènes pulsatiles invalidants) peuvent justifier une thérapeutique invasive palliative visant à diminuer ou à stopper les symptômes (37)

Comme il est important de préserver le drainage veineux cérébral assuré par le sinus, la voie trans-artérielle est privilégiée et permet dans la majorité des cas un traitement symptomatique avec un minimum de risque (37) ; en effet en l'absence de drainage rétrograde leptoméningé le but de l'embolisation n'est pas la guérison angiographique mais la diminution des signes cliniques, l'occlusion sub-totale étant souvent suffisante pour obtenir une amélioration clinique rapide avec une fréquente guérison clinique et angiographique lors de la surveillance (28).

- L'embolisation des carotides externes est efficace en raison d'une tendance à la thrombose spontanée lorsque le flux du shunt est réduit. L'utilisation de particules comme le PVA (polyvinyl alcohol) est moins risquée que l'utilisation des colles liquides (cyanoacrylates) mais le taux de reperméabilisation est plus important, la morbidité est essentiellement liée aux reflux de colle dans des anastomoses entre la carotide externe et la circulation artérielle antérieure et / ou postérieure, elle peut aussi être due à la pénétration de colle dans le sinus dural entraînant une aggravation du mode de drainage veineux (36).
- L'embolisation des carotides internes qui expose au risque d'accident ischémique (34) est une thérapeutique de seconde intention.

La voie veineuse ne se justifie pas sur ces lésions Borden 1 qui présentent une histoire naturelle favorable (37) excepté dans de rares cas et à la condition que le sinus ne participe plus au drainage veineux cérébral. De façon exceptionnelle l'occlusion de la loge caverneuse par voie chirurgicale directe est envisagée (34).

5.2.1.1.2- Présence d'un drainage leptoméningé

Dès qu'il existe un drainage rétrograde leptoméningé (lésion Borden 2 ou 3) le traitement invasif est impératif en raison du risque neurologique et la guérison angiographique devient l'objectif du traitement pour prévenir le risque de complication hémorragique (31). A fortiori en présence d'une hémorragie ou d'un déficit neurologique non hémorragique progressif le traitement invasif curatif est urgent ; en effet pour Borden et al (34) les fistules durales ayant saigné, quelles que soient leurs localisations, ont un taux élevé de resaignement précoce. Ce traitement peut être endovasculaire ou chirurgical et la technique dépend de l'angioarchitecture de la lésion (36).

Dans les fistules de type Borden 2, la voie veineuse peut être utilisée si le sinus ne participe plus fonctionnellement au drainage veineux cérébral en raison d'une inversion de flux, son but est d'occlure le sinus. En cas de traitement incomplet avec thrombose partielle du sinus le risque est de rediriger le flux vers les veines leptoméningées avec possibilité d'une ischémie veineuse (34) comme l'ont rapportés Davies et al (36) pour une fistule durale de la loge caverneuse avec passage du grade Borden 2 au grade Borden 3.

Les fistules de type Borden 3 qui se drainent directement dans une veine sous-arachnoïdienne ne sont pas accessibles par voie veineuse, le traitement nécessite alors un abord chirurgical (34).

Lorsque l'indication chirurgicale est retenue pour une lésion, la disconnection chirurgicale qui vise à exclure les veines leptoméningées drainant la fistule (en positionnant un clip sur ces veines dès leur sortie du shunt puis en les coagulant) apparaît comme la thérapeutique de choix (34) ; en effet les techniques d'excision chirurgicale complète des fistules durales se heurtent à de nombreuses complications et en particulier à des pertes sanguines parfois majeures.

Dans la série de Davies et al (36), comprenant 46 lésions Borden 2 ou 3 dont 7 lésions Borden 2 localisées à la loge caverneuse, l'exclusion chirurgicale des veines de drainage leptoméningées a permis de guérir toutes les lésions Borden 3 et de guérir ou de transformer en lésion Borden 1 toutes les fistules Borden 2, aucune complication n'est apparue.

Une embolisation transartérielle préopératoire peut faciliter ce geste chirurgical en diminuant les pertes sanguines survenant lors de l'exposition du shunt (36).

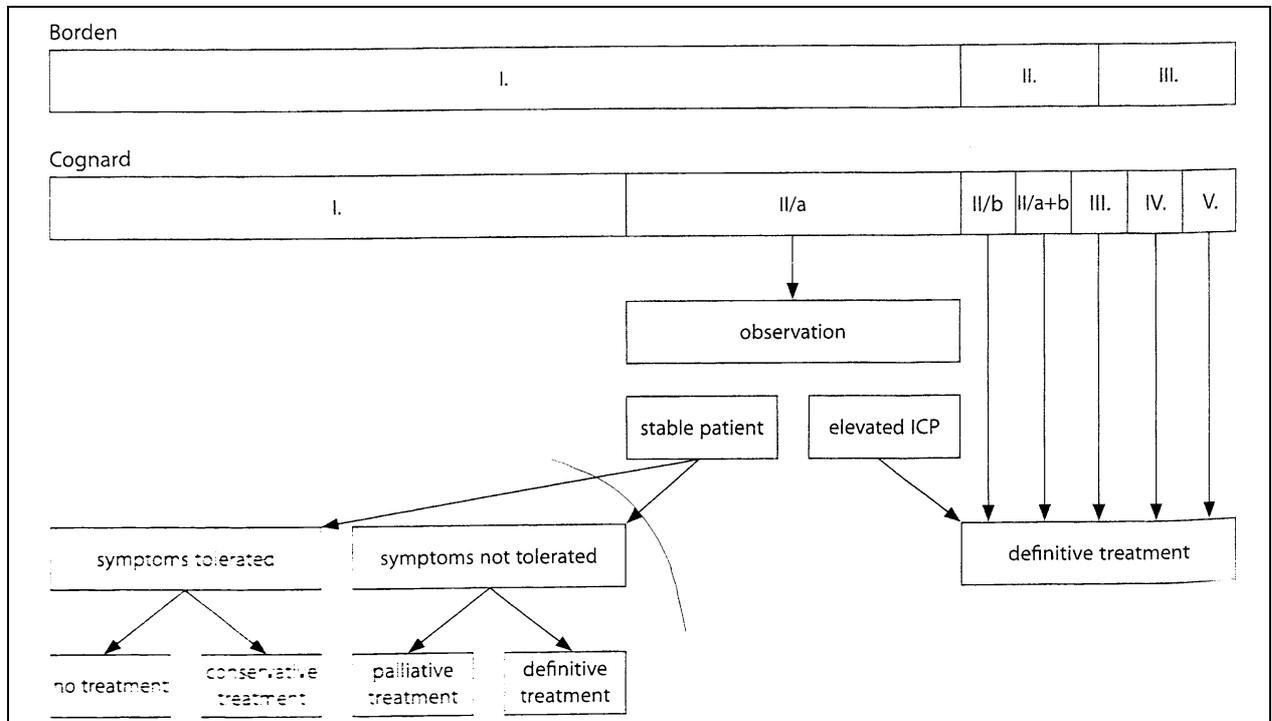


Diagramme indiquant les conduites thérapeutiques en fonction des classifications de Borden et de Cognard.
D'après Szikora I. Dural arteriovenous malformations.

5.2.1.2- Indications selon l'apport artériel

La classification de Barrow distingue 4 types de fistules carotido-caverneuses et permet une première approche des indications thérapeutiques.

5.2.1.2.1- Fistules Barrow A

Les fistules de type A sont des communications directes ne rentrant pas dans le cadre des fistules dures. Lorsque la brèche a un très faible débit le traitement endo-vasculaire peut être différé en l'absence de symptômes car ce type de fistule peut guérir spontanément (58), sinon le traitement par ballon largable est bien documenté et préconisé. Le ballon est positionné dans la fistule par voie artérielle ou veineuse (sinus pétreux inférieur ou veine ophtalmique supérieure) (40, 52).

5.2.1.2.2- Fistules Barrow B

Les fistules dures de la loge caverneuse alimentées par les artères carotides internes de façon exclusive (type B de Barrow) ou quasi-exclusive sont rares, trois alternatives thérapeutiques se discutent :

- le traitement conservateur,
- l'embolisation des apports naissants des siphons carotidiens,
- la voie veineuse.

Liu et al (40) ont suivi 55 patients présentant une fistule durale spontanée de la loge caverneuse, 23 de type Barrow B (apports carotidiens internes exclusifs) non traitées et 32 de type Barrow D devenues B après embolisation artérielle des branches carotidiennes externes avec des particules de PVA (polyvinyl alcohol) de petite taille (150-250 microns). Aucun de ces patients ne présentait initialement de drainage veineux cortical et tous ces patients étaient symptomatiques (chémosis, diplopie, acouphènes ou céphalée) sans signes cliniques d'agressivité.

Parmi ces 55 patients :

- le pourcentage de guérison clinique définie comme l'absence de tout symptôme pendant 6 mois a été de 70%,
- le pourcentage d'amélioration clinique définie comme la persistance d'un seul symptôme a été de 14,5%,
- le pourcentage de patients n'ayant pas eu d'amélioration a été de 7,3%,
- le pourcentage d'aggravation définie comme l'élévation de la pression intra-oculaire, l'apparition d'un nouveau symptôme ou l'aggravation d'un symptôme connu a été de 7,3%. Les quatre patients s'étant aggravés ont eu un traitement endovasculaire complémentaire ; dans un cas il persistait un apport carotidien externe qui a été embolisé, les trois autres patients présentaient un apport des siphons carotidiens et ont été traités pour deux d'entre eux par embolisation artérielle des branches des siphons (cyanoacrylates dans un cas et glucose hypertonique dans l'autre cas) et pour le quatrième par embolisation veineuse. Ces quatre patients ont présenté une évolution favorable.

Ces résultats (40) montrent la nature fréquemment bénigne de ces fistules de type Barrow B. Il n'a pas été mis en évidence de différence significative entre les deux groupes sur l'évolution clinique à long terme, en revanche le délai entre le diagnostic et la guérison complète a été significativement plus court dans le groupe des fistules type D devenu B que dans le groupe type B initial. Ceci indiquerait que l'embolisation avec des petites particules de PVA, en produisant une occlusion des afférences artérielles près de la fistule, pourrait être

suffisante dans de nombreux cas pour amorcer une thrombose progressive des fistules type B résiduelles.

Finalement il est possible de conclure :

- qu'il faut préconiser un traitement non invasif en première intention chez les patients porteurs d'une fistule type B de la classification de Barrow (que ce soit les types B initiaux ou les types D convertis en type B après traitement endovasculaire) en l'absence de signes d'agressivité tels le drainage veineux cortical, l'exophtalmie importante et l'élévation de la pression intra-oculaire (40).
- Les traitements invasifs comme l'embolisation transarterielle aux cyanoacrylates des apports carotidiens internes ou l'embolisation transveineuse ne doivent être envisagés que sur des fistules dures présentant des signes de gravité (40), le choix entre ces 2 thérapeutiques dépend des habitudes de l'équipe ; cependant dans plusieurs centres la voie veineuse est devenue le traitement de première intention des fistules dures de la loge caverneuse de type B (59), l'embolisation transarterielle des apports carotidiens internes exposant au risque de reflux vers les carotides internes.

5.2.1.2.3- Fistules Barrow C

Les fistules de type C (apport carotidien externe exclusif) font discuter plusieurs orientations thérapeutiques théoriques selon le retentissement clinique et fonctionnel ainsi que de l'angio-architecture de la lésion :

- l'abstention thérapeutique avec surveillance en l'absence de drainage rétrograde leptoméningé, de signes de gravité orbitaire et de gêne fonctionnelle limitant la qualité de vie,
- le traitement par voie endovasculaire artérielle en embolisant les branches carotidiennes externes (40, 52)
- le traitement par voie veineuse est exceptionnellement indiqué (40, 52).

L'embolisation des branches de la carotide externe a prouvé son efficacité dans le traitement des fistules de type C de la classification de Barrow (23) ; son taux de succès est

élevé (24) et elle doit être le traitement de première intention car il s'agit d'un geste peu risqué (59). Les agents d'embolisation à utiliser en première intention sont les particules (24) qui sont les plus faciles à manipuler.

Concernant l'embolisation des branches carotidiennes externes avec de la colle liquide :

- Liu et al (56) ont rapporté une série de 5 fistules durales de la loge caverneuse (3 types C et 2 type B), agressives ou récurrentes, avec dans 3 cas une embolisation particulière préalable des branches carotidiennes externes inefficace et dans 3 cas un refus de la voie veineuse. Ces fistules ont été traitées par embolisation à la colle liquide (NBCA) des afférences carotidiennes externes, le traitement s'est avéré efficace chez tous les patients avec guérison clinique et angiographique sans complication.
- L'embolisation des branches carotidiennes externes avec de la colle liquide (NBCA à basse concentration) doit être réservée aux cas qui ne peuvent être traités par une embolisation artérielle ou veineuse classique, elle peut être proposée dans les fistules durales de la loge caverneuse complexes lorsque la voie veineuse n'est pas acceptée par le patient et que l'utilisation de particules n'apparaît pas suffisante (56).
- Cette thérapeutique est en théorie contre-indiquée dans les fistules à haut débit rares dans cette localisation ; cependant ces auteurs suggèrent qu'elle puisse être proposée si le flux est à haut débit mais uniquement quand les afférences artérielles sont longues (56).

5.2.1.2.4- Fistules Barrow D

Les fistules durales alimentées à la fois par des branches carotidiennes internes et externes (type D de Barrow) sont les plus fréquentes des fistules durales de la loge caverneuse ; plusieurs orientations thérapeutiques sont théoriquement possibles :

- l'abstention thérapeutique avec surveillance en l'absence de drainage rétrograde leptoméningé, de signes de gravité orbitaire et de gêne fonctionnelle limitant la qualité de vie,
- le traitement par voie artérielle,
- le traitement par voie veineuse.

L'utilité de l'embolisation des afférences carotidiennes externes a été démontrée, en effet si l'embolisation est suffisamment distale le tarissement des autres apports (carotidiens internes) survient souvent spontanément (23). L'utilisation de particules représente le choix de première intention et peut suffire à réduire ou abolir les symptômes. Lorsque l'apport à la fistule est bilatéral, l'embolisation unilatérale du côté le plus pathogène peut suffire à occlure l'apport controlatéral (24).

Pour Halbach et al (59), l'embolisation des branches de la carotide externe est peu risquée, néanmoins cette embolisation doit être prudente :

- une injection excessive peut induire une occlusion des voies de drainage veineuses de la fistule et aggraver le tableau clinique,
- elle peut également conduire à un reflux de l'agent d'embolisation vers les carotides internes et provoquer un accident vasculaire cérébral (28),
- les branches carotidiennes externes étant parfois dangereuses à emboliser en raison d'anastomoses avec les carotides internes, la voie veineuse devient préférable (24).

De plus ces fistules peuvent être difficiles à traiter en raison de l'apport carotidien interne :

- une injection insuffisante avec uniquement occlusion des segments artériels proximaux risque de provoquer le recrutement et l'hypertrophie des branches issues des carotides internes (23, 24, 28). Cette contribution carotidienne interne hypertrophiée est ensuite difficile à traiter par voie artérielle avec le risque de reflux vers la circulation cérébrale. Cela conduit parfois à sacrifier la carotide interne par ballon d'occlusion après un test de tolérance (23).
- Halbach et al (60) soulignent l'intérêt d'occlure transitoirement les carotides internes pour accroître la perméabilité du nidus durant l'embolisation des carotides externes.

Lorsque la fistule persiste malgré l'embolisation des branches carotidiennes externes, que l'embolisation des carotides externes est dangereuse en raison d'anastomoses avec les

carotides internes ou que les apports carotidiens internes s'hypertrophient, les autres alternatives sont à discuter en fonction de l'angioarchitecture de la lésion:

- une embolisation des branches des siphons carotidiens avec le risque de reflux de l'agent d'embolisation vers les carotides internes,
- une embolisation par voie veineuse qui se discute lorsque la voie artérielle n'a pas permis d'abolir ou de réduire les symptômes et que l'apport carotidien interne devient prédominant (24),
- l'embolisation suivie d'une irradiation peut être une alternative efficace (52).

5.2.1.3- Statistique des choix thérapeutiques dans la littérature

De leur méta-analyse comprenant 258 fistules durales, dont 67 localisées au sinus caveux, Lucas et al (51) tirent plusieurs enseignements :

- les traitements pour les fistules durales de la loge caveuse ont prioritairement été endovasculaires avec un taux de réussite de 62% pour les approches trans-artérielles, de 78% pour les voies trans-veineuses et de 64% lorsque les deux voies étaient associées. Les comparaisons entre les différentes procédures d'embolisation en terme d'efficacité n'ont pas retrouvé de différence significative (51),
- les fistules de type B de la classification de Barrow peuvent être traitées par voies trans-artérielle ou trans-veineuse mais en raison du risque embolique certains auteurs privilégient la voie veineuse,
- les fistules de type C bénéficient d'un taux de guérison élevé avec les thérapeutiques trans-artérielles,
- les fistules de type D sont de traitement plus difficile en raison des apports carotidien interne et externe, l'abord chirurgical des veines de drainage peut être nécessaire même s'il est rarement utilisé en pratique (51),
- peu de cas de ligature chirurgicale des afférences artérielles ont été rapportés avec pour la majorité d'entre elles l'absence de guérison clinique et angiographique. Le taux de réussite thérapeutique des procédures endovasculaires a été significativement plus élevé que la ligature simple des afférences artérielles pour les fistules durales de la loge caveuse (51) ; aucune approche chirurgicale directe n'a été rapportée dans la littérature. Si pour certaines localisations fistuleuses des combinaisons de traitement offrent les meilleures chances de réussite, ce n'est pas le cas pour les fistules durales

de la loge caverneuse pour lesquelles la voie endovasculaire est suffisante et doit être la thérapeutique de première intention pour la plupart des auteurs quand un traitement est indiqué (51).

5.2.2- Traitement conservateur

Le traitement conservateur est proposé lorsqu'il n'existe pas de drainage veineux rétrograde lepto-meningé, c'est-à-dire les lésions classées Borden 1, éventualité fréquente dans les fistules dures de la loge caverneuses : 29 des 33 lésions de l'étude de Cognard et al (53). L'abstention avec surveillance et la compression carotido-jugulaire manuelle représentent l'essentiel de ces thérapeutiques non invasives. Les traitements symptomatiques locaux et généraux sont indispensables en cas d'atteinte orbitaire, mais d'indication ophtalmologique, ils seront peu détaillés.

5.2.2.1- L'abstention thérapeutique

L'abstention thérapeutique n'est envisageable qu'en l'absence :

- d'hémorragie ou de déficit neurologique non hémorragique progressif,
- de drainage rétrograde leptoméningé,
- d'élévation de la pression intra-oculaire au dessus 20mmHg (54),
- de baisse d'acuité visuelle,
- de signes fonctionnels altérant la qualité de vie.

Pour Cognard et al (41) ces patients doivent être informés que toute modification de leur symptôme, positive ou négative, est une indication à un nouveau bilan angiographique pour rechercher une aggravation de la lésion.

5.2.2.2- Compression vasculaire manuelle

5.2.2.2.1- Compression jugulo-carotidienne

Dans la littérature différents protocoles de compression carotido-jugulaire sont décrits. La compression carotido-jugulaire vise à favoriser la fermeture spontanée de la fistule en diminuant le flux artériel et en augmentant la pression veineuse (19).

Il existe des contre-indications spécifiques :

- la présence d'une athérosclérose carotidienne significative (40)
- la présence d'une susceptibilité à l'hypotension vaso-vagale au massage carotidien (24)
- la non compliance au traitement
- la présence d'un état d'hypercoagulabilité (54)

Bien qu'il s'agisse d'une procédure peu risquée hors contre-indications, la compression manuelle carotido-jugulaire expose néanmoins au risque d'hémorragie rétinienne par thrombose du sinus caverneux ou de la veine centrale de la rétine (61) et nécessite une surveillance rapprochée tant sur le plan de son efficacité que de sa tolérance.

La compression est effectuée sur l'artère carotide commune et la veine jugulaire commune homolatérales à la lésion (manœuvre de Matas) avec la main controlatérale (19). Elle doit être stoppée devant tout symptôme d'ischémie cérébrale (faiblesse musculaire, trouble sensitif, diminution d'acuité visuelle, trouble de conscience). L'utilisation de la main controlatérale se justifie par l'arrêt spontané de la compression en cas d'ischémie non perçue par le patient, en effet le déficit moteur concernant le membre supérieur controlatéral au territoire ischémié, la main cessera alors automatiquement de comprimer (40). Le patient est assis ou couché, les premières compressions sont réalisées sous contrôle d'un médecin à la recherche de signes d'ischémie, de bradycardie ou d'hypotension, elles durent 10 secondes et sont effectuées plusieurs fois par heure. Si la compression est bien tolérée la durée est allongée progressivement à un maximum de 30 secondes. Durant une compression efficace, les bruits ressentis par le patient sont diminués ou absents (40). Liu et al (40) proposent une compression de 15 à 30 secondes toutes les 5 minutes en augmentant progressivement la fréquence à une toutes les minutes.

Cette procédure dans l'étude de Halbach et al a été le plus souvent efficace au bout de 4 à 6 semaines et la thrombose de la fistule a parfois été contemporaine de douleurs rétro-orbitaires (40). Liu et al (40) proposent une durée de 3 mois pour juger du résultat.

Pour Davies et al (37) l'efficacité de ce traitement n'est pas évidente. En effet bien que Halbach et al dans une série de 45 fistules durales du sinus caverneux rapportent un taux de guérison de 33% avec la compression carotido-jugulaire, Davies et al retrouvent chez 62% de leurs patients présentant une fistuleurale de la loge caverneuse classée Borden 1 une résolution spontanée des symptômes. Ce taux élevé de résolution spontanée apparaît comme un biais important dans l'interprétation de l'efficacité de la compression carotido-jugulaire.

La fermeture spontanée de la fistule est souvent précédée par une modification transitoire des symptômes avec soit aggravation (baisse d'acuité visuelle par exemple) soit amélioration (diminution des acouphènes). Ces changements peuvent cependant correspondre à une modification du drainage veineux et non à une guérison ce qui justifie un contrôle angiographique avant de considérer la fistule comme guérie (19). Pour Liu et al (40) la thrombose partielle de la fistule apparaît comme un bon signe de thrombose spontanée dans les semaines qui suivent et doit donc conduire à la surveillance hors contexte clinique inquiétant.

5.2.2.2.2- Compression manuelle de la veine ophtalmique

La compression manuelle de la veine ophtalmique drainant la malformation au niveau du cantus interne peut également être indiquée dans les cas de fistules durales de la loge caverneuse ne se drainant que vers la VOS (62).

5.2.3- Traitement endovasculaire par voie artérielle

La morbidité des traitements endovasculaires trans-artériels des fistules durales de la loge caverneuses est estimée dans la littérature à 4% (56). L'embolisation artérielle a été rapidement considérée comme l'approche thérapeutique de première intention pour les fistules durales de la loge caverneuse avec 72% à 78% de cure complète pour les meilleures séries (61).

Il existe actuellement 2 grands types d'agent d'embolisation : les agents particuliers et les cyanoacrylates ; il s'agit d'agents synthétiques, l'utilisation de la dure-mère ayant été abandonnée en raison des risques de transmission de prions (23). Récemment est apparu un

nouvel agent d'embolisation, l'onyx, qui présente de nombreux avantages potentiels et qui commence à être utilisé dans le traitement des fistules durales. Ces agents sont délivrés par un microcathéter en situation hypersélective dans les pédicules nourriciers (19).

5.2.3.1- Les particules

Les afférences artérielles peuvent être embolisées avec des petites particules de PVA (polyvinyl alcoholic agent) de 150 à 500 microns, Halbach et al (28) utilisent des particules de 150 à 300 microns de diamètre.

Les particules sont précisément calibrées, si elles sont de trop petite taille elles risquent de traverser le shunt et de provoquer une ischémie des nerfs crâniens via les vasa nervorum, à l'inverse si elles sont trop volumineuses elles ne peuvent pénétrer dans les rameaux artériels de petit calibre et provoquent alors une occlusion trop proximale (28). D'une façon générale plus les particules sont petites meilleurs sont les résultats attendus mais plus les risques d'emboliser des anastomoses dangereuses sont majorés (19). L'embolisation particulaire peut permettre, bien que ce soit moins fréquent qu'avec les colles liquides, d'obtenir une guérison définitive (28).

Un type de complication plus rare a été rapporté par Grégoire et al (63) : il s'agit d'une fistuleurale de la loge caverneuse gauche de type D à manifestation orbitaire sans signes de gravité, traitée par embolisation des apports carotidiens externes avec des particules 150 à 300 microns. Trois jours après l'embolisation a été diagnostiquée une vraisemblable congestion veineuse du tronc cérébral devant de multiples hypersignaux T2 en IRM avec cliniquement un syndrome cérébelleux et une paralysie du III droit. Cet épisode a été régressif en trois mois. Cet incident a été rapporté à un drainage veineux précaire de la fistule avec de probables microthromboses veineuses secondaires à l'embolisation particulaire. L'embolisation trans-artérielle incomplète des fistules durales pourrait modifier l'équilibre fragile du drainage veineux de la fistule et conduire à une congestion veineuse cérébrale. Ce tableau décrit par Grégoire et al (63) reste néanmoins compatible avec un accident d'embolisation par voie artérielle (plus classique) avec passage de particules par une anastomose entre l'artère pharyngienne ascendante et le système vertébro-basilaire.

5.2.3.2- Les colles biologiques (NBCA)

L'embolisation trans-artérielle à la colle n'est réalisable que s'il existe peu de vaisseaux nourriciers dilatés et que le versant veineux peut être atteint par la colle, les embolisations uniquement proximales aboutissant fréquemment à des recanalisation (55). En pratique les meilleurs résultats sont obtenus quand la colle atteint le versant veineux de la malformation sans provoquer d'occlusion des principales veines de drainage de la lésion (19).

Elle est souvent limitée par les conditions anatomiques. Les apports carotidiens externes sont fréquemment plexiformes avec de multiples petites branches difficiles à atteindre (55). En raison d'une angulation importante à l'origine du tronc inféro-latéral et du tronc méningo-hypophysaire, le cathétérisme sélectif des branches nourricières issues des carotides internes est difficile, de plus le tronc méningo-hypophysaire se divise immédiatement après sa naissance en de multiples petites branches ce qui réduit la stabilité du cathéter et augmente le risque de reflux dans la circulation cérébrale (60).

Les cyanoacrylates se polymérisent au contact des solutions ioniques comme les produits de contraste, le sérum salé ou le sang. Le délai de polymérisation, conditionné par le rapport du mélange de colle et de lipiodol, influe sur l'efficacité du traitement, une concentration trop élevée en colle peut provoquer une occlusion trop proximale et induire le recrutement de multiples vaisseaux durs collatéraux, ces vaisseaux sont difficiles à emboliser et source d'échec thérapeutique (56). Le délai de polymérisation peut être allongé par adjonction de iophendylate, de lipiodol (huile radio-opaque).

Pour les malformations artério-veineuses cérébrales l'utilisation d'une basse concentration (25%) de NBCA est largement acceptée, elle est facilement injectée à travers le microcathéter grâce à sa faible viscosité. Les vaisseaux des fistules dures étant de plus petit calibre que ceux des malformations artério-veineuses, il est souvent plus difficile d'y injecter la colle, il faut cependant éviter l'injection « en force » qui est souvent incontrôlable et peut conduire à une embolisation de tous les sinus caverneux voire des sinus en aval avec aggravation possible de la lésion. Le degré de dilution est à évaluer selon le temps de

circulation angiographique artério-veineux, un rapport colle/lipiodol de 1 pour 3 à 1 pour 7 est fréquemment utilisé (19) ; cette dilution est également à pondérer selon la proximité entre le microcathéter et la fistule (56). Pour Liu et al (56) une concentration de NBCA de 15 à 20% est donc souhaitable du fait de ce risque de complication, de la taille et de la tortuosité des branches de la carotide externe. Le contrôle visuel, sous scopie, graphie ou « road mapping » est indispensable permettant de s'assurer que les branches nourricières artérielles distales sont bien embolisées, sans thrombose aiguë des voies de drainage veineuses. Après chaque embolisation un contrôle angiographique est impératif (56).

Bien que les colles biologiques apparaissent plus efficaces que les particules, elles représentent également la majorité des complications (20) et sont donc d'utilisation plus risquée (56). En effet les colles pénètrent dans tous les vaisseaux quelle que soit leur taille et peuvent induire des infarctus au sein de tissus normaux (28). Ainsi elles exposent aux risques :

- d'ischémie des nerfs crâniens en raison de la vascularisation des nerfs crâniens par certaines branches méningées (20, 61),
- d'embolisation dite paradoxale : il s'agit du passage de l'agent d'embolisation du système carotidien externe vers le système carotidien interne ou vertébral par l'intermédiaire d'anastomoses (en particulier l'artère occipitale présente au niveau cervical une anastomose avec le système vertébro-basilaire) (20, 61). Ces anastomoses ne sont pas toujours individualisables angiographiquement (55),
- de franchissement de la fistule dure par l'agent d'embolisation source potentielle d'infarctus veineux (20).
- d'inflammation locale, qui peut favoriser une thrombose ultérieure et être également source de douleur locale. Les effets systémiques à type de fièvre modérée, de nausées et de vomissements sont courants (28). Halbach et al (28) prescrivent des corticoïdes, des antalgiques et parfois des antiémétiques.
- l'embolisation des apports carotidiens internes est difficile et expose au risque d'accident vasculaire cérébral ischémique en cas de reflux vers les siphons (23, 55).

5.2.3.3- *L'onyx*

L'onyx est un agent liquide composé d'ethyl-vinyl-alcool co-polymère (EVOH), d'un solvant le dimethyl-sulfoxyde (DMSO) et d'agent opaque (tantalum) ; la solidification de l'onyx se fait par précipitation de l'EVOH après évaporation du DMSO ; son caractère non adhésif permet son injection sur une durée plus longue que le NBCA sans risque de coller ou de rompre le microcathéter lors du retrait. Plusieurs densités de ce produit existent, les basses densités comme l'onyx 18, très fluide en raison d'une proportion moins élevée en EVOH, déjà utilisé dans le traitement des malformations artério-veineuses, semble également adapté au traitement des fistules dures comme le rapporte Toulgoat et al (64) bien que cette série ne comporte pas de localisation à la loge caverneuse ; il a été rapporté le traitement d'une fistule dure de la petite aile du sphénoïde par injection intra-artérielle d'onyx avec succès (57).

5.2.4- Traitement endovasculaire par voie veineuse

Cette approche endo-veineuse a été introduite par Mullan afin d'éviter les complications potentielles de l'embolisation artérielle. Les avancées technologiques en particulier sur les cathéters de plus en plus souples ont permis le cathétérisme de la loge caverneuse.

5.2.4.1- Les différentes voies veineuses

Les abords veineux sont multiples et dépendent du type de drainage présenté par la fistule (55, 65). La voie postérieure représentée par le sinus pétreux inférieur est la plus courte et la plus simple vers le sinus caverneux, elle permet un traitement efficace dans la majorité des cas même si le sinus n'est pas visible angiographiquement ou s'il apparaît thrombosé, elle est donc utilisée en première intention. Les voies veineuses alternatives sont la veine ophtalmique supérieure (VOS) en avant, le plexus ptérygoïde en bas, le sinus pétreux supérieur en arrière et les veines corticales de drainage, en particulier la veine cérébrale moyenne superficielle et le sinus sphéno-pariétal.

5.2.4.1.1- La veine ophtalmique supérieure (VOS)

Pour Teng et al (67) il s'agit d'une voie d'abord veineuse de seconde intention lorsque l'utilisation du sinus pétreux inférieur s'avère impossible ou non contributive. Cette voie est recommandée lorsqu'il existe une baisse d'acuité visuelle associée à une hypertension veineuse orbitaire, lorsqu'une volumineuse VOS est visible sur le scanner ou l'IRM, en cas d'échec du cathétérisme veineux jugulaire (24), en cas de thrombose du sinus pétreux inférieur ou en cas de compartimentation de la loge caverneuse rendant inaccessible la portion antérieure du sinus caverneux par le sinus pétreux inférieur (66).

Même si les avancées techniques réduisent la probabilité de rupture d'une veine intra-orbitaire artérialisée (68), en particulier grâce à des microcathéters hydrophiles de petit diamètre permettant l'utilisation d'aiguille de petit calibre (21 gauge), le risque de complications est réelle et l'âge de la fistule apparaît comme un élément majeur comme l'ont souligné Uflacker et al. Les veines drainant du sang à haute pression présentent toujours une paroi fine lorsque le shunt est récent, elles sont alors très vulnérables aux traumatismes et peuvent être perforées lors de minimes manipulations de cathéters (68). La VOS lorsqu'elle est artérialisée voit sa paroi progressivement s'épaissir et devenir plus solide, le geste endovasculaire devient alors plus sûr. Il a été proposé par Uflacker et al, pour les fistules directes carotido-caverneuses subaiguës, d'attendre 3 mois avant le geste ; étant donné que les fistules durales de la loge caverneuse sont habituellement à flux lent et que l'artérialisation de la VOS est habituellement moindre, ce délai doit vraisemblablement être allongé (52).

Techniques décrites pour le cathétérisme de la VOS

- L'exposition chirurgicale de la VOS :

Quinones et al (24) ont rapporté une série de 13 fistules durales de la loge caverneuse (12 patients) traitées par embolisation veineuse en empruntant la VOS après exposition chirurgicale par un ophtalmologiste, l'agent d'embolisation était des coils. Le cathétérisme a été possible dans 12 cas. Il n'y a pas eu de complication précoce excepté une paralysie transitoire du VI le lendemain de l'embolisation, une complication tardive a été observée (granulome palpébral développé sur un fil de suture). Lors du suivi la guérison angiographique a été obtenue pour 11 des 12 fistules embolisées. Pour ces auteurs (24) l'exposition chirurgicale de la VOS présente des avantages ; cette approche directe du sinus

caverneux nécessite moins de manipulations de cathéter ; l'exposition chirurgicale de la VOS permet sa visibilité directe et son immobilisation avec moins de risques de rupture comparativement à sa ponction directe. L'exposition chirurgicale permet également de contrôler une éventuelle hémorragie orbitaire.

- La ponction de la portion antérieure ou postérieure de la VOS :

Teng et al (67) ont rapporté 5 cas de fistules traitées par voie veineuse en empruntant la SOV, dans un cas après exposition chirurgicale, dans les 4 autres cas par ponction percutanée sous guidage scopique ; ils n'ont pas observé de complications mais cette technique agressive augmente potentiellement le risque d'hémorragie intra-orbitaire.

Si l'exposition chirurgicale ou la ponction percutanée de la VOS ne permet pas l'accès à la fistule, la ponction directe de la portion postérieure de la VOS derrière le globe peut permettre d'éviter une craniotomie si aucune autre méthode n'est envisageable. Bennborf et al (68) ont rapporté un cas de fistule durale de la loge caverneuse avec signes de gravité ophtalmologiques, après échec du traitement transartériel, impossibilité de cathétériser le sinus pétreux inférieur et échec de l'abord antérieur de la VOS, une ponction directe du tiers postérieur de la VOS a été réalisée et a permis de guérir la fistule en plaçant au sein du sinus des GDC (Guglielmi detachable coils).

- L'abord indirect par la veine frontale :

Venturi et al (55) ont rapporté un cas de fistule durale de la loge caverneuse traité par embolisation veineuse en abordant la veine ophtalmique supérieure par ponction percutanée d'une veine frontale. L'intérêt de cette technique est d'éviter une ponction directe ou une exposition chirurgicale de la VOS, de plus la majorité du cathétérisme est extra-crâniale à la différence du sinus pétreux inférieur qui présente une longue portion intra-crâniale. Les limites sont liées à la difficulté de cathétériser la veine frontale et la difficulté à se diriger vers la VOS.

- L'abord indirect par la veine faciale :

Agid et al (65) ont rapporté le traitement de deux fistules durales type D de Barrow, localisées à la portion antérieure de la loge caverneuse et traitées par voie veineuse antérieure en abordant la VOS par le système veineux facial via une ponction de la veine jugulaire interne, l'agent d'embolisation était des coils. Chez la première patiente le système veineux facial latéral (veine supra-orbitaire) a été utilisé pour rejoindre la VOS. Pour la seconde patiente le système veineux facial médial (veine faciale commune puis veine angulaire) a permis de rejoindre la VOS.

Biondi et al (66) ont rapporté une série de 7 patients traités par voie veineuse en cathétérisant de façon rétrograde la veine faciale par la veine jugulaire interne, le cathétérisme empruntant ensuite la veine angulaire puis la veine ophtalmique supérieure pour gagner le sinus caverneux par voie antérieure et y déposer des coils. Ce cathétérisme n'est pas toujours aisé, en effet bien que la veine faciale se jette le plus souvent dans la veine jugulaire interne (à hauteur de l'os hyoïde) il existe des variantes anatomiques (66), dans 5% des cas la veine faciale se termine dans la veine jugulaire externe, plus rarement la veine faciale peut rejoindre la veine rétro-mandibulaire dans la glande parotide ou bien rejoindre la veine temporale superficielle. Il a été décrit une veine faciale se jetant dans la veine sous-clavière. Il a été dans tous les cas possible de passer la jonction tortueuse entre la veine angulaire et la VOS, mais une VOS thrombosée d'un patient n'a pas pu être cathétérisée. Chez les 6 patients pour qui le cathétérisme de la VOS a été possible il a été observé 4 occlusions anatomiques avec guérison clinique et 2 améliorations des symptômes (66).

Pour Biondi et al (66) l'utilisation de la veine faciale pour aborder la veine ophtalmique supérieure semble moins traumatisante que l'approche directe, elle évite l'incision ou la ponction de la veine et évite les cicatrices qui sont esthétiquement préjudiciables, elle permet également d'éviter les risques propres à l'exposition chirurgicale de la VOS.

Naito et al (69) ont rapporté le cas d'une fistuleurale bilatérale de la loge caverneuse de type D de Barrow sans drainage veineux cortical, après traitement du côté droit par cathétérisme rétrograde du sinus pétreux inférieur droit mais impossibilité d'obtenir une

guérison du côté gauche, et après échec de l'abord du sinus pétreux inférieur gauche ainsi que du cathétérisme de la veine faciale par voie fémorale, les auteurs ont décidé de ponctionner directement la veine faciale gauche après une incision cutanée à la base de la mandibule. Le cathétérisme rétrograde de la veine faciale a permis d'atteindre la veine angulaire puis la VOS gauche et enfin le sinus caverneux gauche pour y déposer des coils et obtenir une guérison clinique. Les auteurs soulignent la facilité de repérage de la veine faciale à la base de la mandibule qui est constamment au contact et superficielle par rapport à l'artère faciale, ils soulignent également que la cicatrice est plus anodine qu'au niveau de la paupière et que la veine faciale se dirige sans boucle vers la veine angulaire. Les difficultés résident dans le cathétérisme de la VOS en particulier à sa jonction avec la veine supratrochléaire.

Limites

Le cathétérisme de la VOS présente certaines difficultés :

- La VOS peut avoir une angulation importante et être rétrécie lors de son passage dans la fissure orbitaire supérieure, rendant son cathétérisme rétrograde difficile (59).
- La VOS peut être thrombosée, ce qui limite son accès (68) mais ne le prohibe pas comme l'ont rapporté Quinones et al (24) avec le cathétérisme de la VOS après exposition chirurgicale chez deux patients présentant une thrombose récente.
- Le cathétérisme de la VOS par la veine jugulaire externe est possible mais les tortuosités des veines conduisant peuvent rendre cette voie très difficile (70).
- Biondi et al (66) soulignent la prudence nécessaire lors du cathétérisme de la portion initiale de la VOS qui est le segment le plus difficile à cathétériser. Ce segment est constitué de deux racines et bien que la racine inférieure soit la voie la plus directe les auteurs ont majoritairement utilisé la racine supérieure qui était considérée comme plus sûre. Il n'a pas été observé de complication mais il s'agit d'une petite série, les risques de thrombose aiguë ou de rupture de la veine ophtalmique supérieure sont réels en particulier près de la trochlée qui est au contact de la racine supérieure. Cette voie doit être réservée aux cas présentant une thrombose du sinus pétreux inférieur ou une absence de communication entre la partie antérieure et la partie postérieure du sinus caverneux.

5.2.4.1.2- Le sinus pétreux inférieur

Le sinus pétreux inférieur est la voie d'abord veineuse de première intention. Le cathétérisme est habituellement rétrograde par ponction de la veine fémorale commune, mais Yamashita et al (70) proposent d'utiliser un point de ponction jugulaire du côté de la fistule, l'utilisation de cette voie en permettant d'utiliser un cathéter plus court facilite sa manipulation, améliore sa stabilité pour placer les coils et pourrait permettre de raccourcir la durée de la séance.

Les deux études ci-dessous rendent compte de l'efficacité de la voie empruntant le sinus pétreux inférieur, cette voie étant choisie en première intention lorsqu'un traitement trans-veineux est envisagé :

- Yamashita et al (70) ont traité 16 fistules dures de la loge caverneuse par embolisation veineuse en empruntant le sinus pétreux inférieur et en utilisant comme agent d'embolisation des coils. Dans 8 cas sur 16 une embolisation des branches carotidiennes externes a été réalisée avant l'embolisation veineuse afin de réduire le flux dans le shunt, de faciliter le placement des coils et de faciliter la thrombose. La guérison clinique a été obtenue chez 14 patients et la guérison angiographique chez 14 patients. Pour les auteurs ces résultats sont équivalents à ceux des autres séries et ne semblent pas inférieurs à ceux obtenus avec l'électrothrombose (taux de guérison de 88% rapporté par Ishikawa et al) et avec l'embolisation trans-artérielle (taux de guérison de 77% rapporté par Halbach et al).
- Halbach et al (59) ont traité 13 fistules dures de la loge caverneuse, les voies artérielle et veineuse étaient envisageables mais les auteurs ont systématiquement utilisé la voie veineuse (sinus pétreux inférieur ou plexus basilaire). Les agents d'embolisation utilisés étaient un ballon largable, de la colle liquide, des spires, des sutures de soie. Ils ont obtenus 10 guérisons cliniques dont 9 guérisons anatomiques prouvées angiographiquement, 3 améliorations symptomatiques et un patient dont le flux fistuleux a été réduit de moitié. Deux patients ont refusé le suivi angiographique. Deux complications sont survenues mais aucune n'était spécifique, un accident embolique lors de l'occlusion transitoire de la carotide interne par un ballon et une

cécité transitoire due à une occlusion des voies de drainage sans fermeture de la fistule, cécité résolutive après exclusion de la fistule.

Les échecs de cette voie proviennent principalement pour Yamashita et al (70) d'une difficulté ou d'une incapacité à atteindre la fistule :

- la thrombose du sinus pétreux inférieur peut proscrire cette voie, cependant pour Halbach et al (59) une thrombose récente du sinus pétreux inférieur ne rend pas impossible son cathétérisme. Pour Quinones et al (24) la réussite du cathétérisme des sinus pétreux inférieurs non visibles en angiographie est évaluée à 30%,
- le sinus pétreux inférieur peut ne pas s'aboucher dans la veine jugulaire interne (7% des individus) ou peut être plexiforme et immature (24% des individus), son cathétérisme est alors difficile ou impossible et une autre voie doit être envisagée comme le sinus pétreux inférieur controlatéral ou la veine ophtalmique supérieure (70),
- le sinus caverneux est divisé en deux compartiments, un antéro-inférieur plus volumineux et un postéro-supérieur de plus petite taille, ces deux compartiments peuvent ne pas communiquer entre eux et il existe une angulation entre le sinus pétreux inférieur et le sinus caverneux. Ces deux éléments peuvent rendre inaccessible la fistule en particulier lorsque elle est localisée dans le compartiment antéro-inférieur (67).

5.2.4.1.3- Le plexus ptérygoïde

La communication entre le plexus ptérygoïde et le sinus caverneux s'effectue par les veines innommées traversant le foramen de Vesalius et les veines émissaires traversant le foramen lacerum (54).

Jahan et al (54) ont rapporté un cas de fistule durale de la loge caverneuse traitée par voie veineuse en empruntant le plexus ptérygoïde controlatéral. Les auteurs ont pratiqué cette voie en raison d'une thrombose de la veine ophtalmique supérieure droite, du sinus pétreux inférieur droit et d'une thrombose partielle de la veine ophtalmique supérieure gauche. La seule voie décelable angiographiquement était le plexus ptérygoïde gauche grâce à une veine émissaire élargie qui donnait un accès au sinus caverneux gauche puis au sinus caverneux

droit via le sinus inter-caverneux. L'intérêt de cette voie est d'être majoritairement extra-crâniale au contraire de celle utilisant le sinus pétreux inférieur. Les limites résident dans les difficultés techniques de navigation pour atteindre la loge caverneuse.

5.2.4.1.4- Le sinus pétreux supérieur

Mounayer et al (71) ont rapporté le cas d'une fistule durale de la loge caverneuse droite type D de la classification de Barrow traitée par voie veineuse en empruntant le sinus pétreux supérieur. Cette fistule présentait un drainage veineux leptoméningé (veine cérébrale moyenne superficielle droite) et une symptomatologie orbitaire droite avec dilatation de la VOS. Après ponction de la veine jugulaire interne droite et échec du cathétérisme du sinus pétreux inférieur, le sinus pétreux supérieur a été cathétérisé avec succès ce qui a permis de placer des coils en regard de la fistule et de la guérir. Pour les auteurs cette voie est utile lorsque le sinus pétreux inférieur n'est pas abordable et que la voie veineuse antérieure est difficile.

5.2.4.1.5- Les veines de drainage leptoméningé

Kuwayama et al (72) ont rapporté le cas d'une fistule durale de la loge caverneuse droite de type D de Barrow, révélée par un hématome intracérébral, qui se drainait uniquement dans le sinus sphéno-pariétal droit vers une veine de la fissure latérale. Lors du bilan angiographique la VOS, les sinus pétreux supérieur et inférieur ainsi que le plexus ptérygoïde n'étaient pas opacifiés. Un abord percutané a été tenté mais n'a pas permis d'accéder au compartiment antérieur du sinus caverneux où siégeait la fistule, ceci vraisemblablement en raison d'un cloisonnement de la loge caverneuse. Finalement après une exposition chirurgicale (craniotomie) la veine de la fissure latérale droite a été cathétérisée pour accéder au sinus caverneux et y placer des coils.

La ponction d'une telle veine corticale expose au risque de perforation, cependant chez ce patient la veine était artérialisée depuis longtemps, sa paroi était épaissie ce qui a facilité sa ponction (72). Le positionnement d'un clip sur cette veine de drainage aurait été possible mais avec le risque d'ouvrir secondairement d'autres voies de drainage. L'embolisation des branches des carotides externes faisait courir le risque de ne pas traiter l'apport des siphons carotidiens sur cette fistule agressive (72).

Benndorf et al (62) ont rapporté le cas d'une patiente présentant une fistule durale de type D de la classification de Barrow pour laquelle la voie artérielle a échoué ainsi que l'abord du sinus pétreux inférieur, aucun chirurgien pratiquant l'exposition de la VOS n'étant disponible, la patiente présentant une baisse d'acuité visuelle significative le sinus caverneux a été abordé après craniotomie en ponctionnant la veine cérébrale moyenne superficielle et en réalisant un cathétérisme rétrograde du sinus sphéno-pariétal. Cette fistule a été traitée par pose de coils avec obtention d'une guérison clinique et angiographique.

5.2.4.2- Les agents d'embolisation

De multiples matériaux d'embolisation peuvent être utilisés : ballonnets largables, coils (spires métalliques), colles biologiques, fils de soie (20).

5.2.4.2.1- Les ballonnets largables

Les ballonnets largables présentent plusieurs inconvénients, ils nécessitent des cathéters de plus gros diamètres que ceux utilisés pour placer des coils ce qui augmente le risque de dissection; ils peuvent migrer lors du détachement, des cas de dégonflage secondaire ont été rapportés dans des cas de fistules carotido-caverneuses traumatiques (par incompetence de valve ou par épine osseuse lésant le ballon) (73). Parmi les agents d'embolisation les ballons largables apparaissent comme les plus difficiles à utiliser, nécessitant des cathéters de gros diamètres et donc des voies veineuses larges (59).

Monsein et al (38) ont rapporté le traitement de 4 fistules durales de la loge caverneuse par ballons détachables qu'ils ont déposés dans le sinus caverneux en utilisant la VOS, l'exposition de la VOS était chirurgicale. Les ballons étaient remplis avec du produit de contraste. Bien que les ballons en latex aient tendance à se dégonfler au bout de plusieurs semaines cela est suffisant pour obtenir une thrombose et une fermeture de la fistule. L'utilisation d'une substance polymère pour remplir les ballons augmente le risque d'une compression permanente des nerfs oculomoteurs (III, IV et VI) et n'a pas été pratiquée par ces auteurs.

5.2.4.2.2- Les sutures de soie

Les sutures de soie ont été historiquement utilisées car très thrombogènes mais elles sont difficiles à opacifier ce qui rend leur positionnement difficile (59).

5.2.4.2.3- Les colles biologiques

L'avantage des colles est de pouvoir pénétrer de petits interstices situés dans le sinus caverneux qui ne sont pas accessibles pour d'autres matériaux, mais elles présentent un risque de migration erratique vers des voies veineuses ; la colle peut également refluer dans les artères nourricières de la fistule vers les artères carotides internes (59). Les colles exposent également à des réactions inflammatoires locales.

5.2.4.2.4- L'onyx

Les propriétés de l'onyx ont déjà été abordées lors de la description des agents d'embolisation artériels. Arat et al (74) ont rapporté le traitement d'une fistuleurale de la loge caverneuse par embolisation veineuse à l'onyx après échec d'une embolisation endoveineuse par du NBCA. Le traitement a été un succès mais les auteurs soulignent la potentielle angio-toxicité du DMSO (diméthyl-sulfoxyde) et l'éventuelle neuro-toxicité directe du DMSO sur les nerfs crâniens dans la loge caverneuse, le risque de toxicité pourrait être abaissé par une injection lente permettant au DMSO de se dissiper dans le flux sanguin.

5.2.4.2.5- Les coils

Les coils sont des spires métalliques en platine thrombogènes et radio-opaques (59). Certaines notions sont à souligner :

- la sélection du coil approprié dépend du diamètre du vaisseau et de l'importance du flux. Le risque de malposition ou de migration du coil est nettement réduit en utilisant des systèmes de contrôle du détachement qui permet de retirer un coil inadapté (73),
- les coils sont théoriquement utilisés pour l'occlusion des voies de drainage veineuses de la fistule, les coils avec ou sans fibres sont utilisés pour l'embolisation de la fistuleurale elle-même. Le risque principal de ces coils est la migration (75),

- l'occlusion complète de la fistule est souvent retardée, en effet même lorsque le « packing » semble complet il persiste souvent un flux résiduel et la thrombose se complète dans les jours suivants. Le taux d'occlusion complète immédiate s'élève vraisemblablement lorsque des colles sont associées aux coils, Roy et al (31) rapportent un cas de fistule dure de la loge caverneuse pour laquelle la thrombogénicité des coils était jugée insuffisante du fait d'un flux élevé, un maillage de coils a alors été réalisé puis une injection de colle (bucrylate) a été effectuée.

5.2.4.3- *Limites de la voie veineuse*

5.2.4.3.1- Le caractère invasif du traitement par voie veineuse

Gobin et al ont étudié 6 séries de patients avec au total 87 cas de fistules durales de la loge caverneuse (40), ils concluent que le taux de guérison angiographique des fistules durales de la loge caverneuse traitées par voie veineuse est d'environ 90% et que le taux de complications permanentes est de 4.6%. Ceci suggère que la morbidité du traitement par voie veineuse est supérieure à l'incidence des déficits neurologiques centraux des fistules durales de la loge caverneuse évaluée à 3%. Le taux de morbidité induit par l'embolisation des branches nourricières issues des carotides externes (particulaire ou cyanoacrylates) est lui évalué entre 3,3% et 5% ce qui est proche du taux de morbidité rencontré avec la voie veineuse.

Le geste technique lors de l'embolisation par voie veineuse est plus complexe, il est également plus long ce qui augmente le temps de l'anesthésie. Ce traitement implique le sacrifice d'une importante voie de circulation cérébrale (41) et est particulièrement indiqué lorsqu'il existe un drainage veineux rétrograde leptoméningé (Borden type II), son but est d'occlure la fistule sans dévier le flux vers les structures corticales (24). L'importance de la préservation du drainage veineux cérébral justifie que la voie artérielle soit privilégiée en première intention (34).

5.2.4.3.2- Les obstacles anatomiques

- Non communication entre la portion antérieure et la portion postérieure du sinus caverneux :

Le sinus caverneux est une structure multi-compartmentée avec des veines afférentes et efférentes :

- le compartiment postéro-médial se draine dans les sinus pétreux supérieur et inférieur,
- le compartiment antéro-latéral draine les veines cérébrales moyennes superficielle et profonde, les veines ophtalmiques supérieure et inférieure, il se draine vers les plexus ptérygoïdien (64, 76).

L'un des facteurs limitant de l'embolisation veineuse est l'absence de communication entre le compartiment antérieur et le compartiment postérieur du sinus caverneux (61). Même si le cathéter peut être poussé jusqu'au sinus caverneux par le sinus pétreux inférieur ou la VOS, il n'est pas toujours possible ensuite d'atteindre la zone de shunt en raison d'épais septa comme le décrivent Yamashita et al (70) ; des approches combinées utilisant la VOS pour la portion antérieure du sinus et le sinus pétreux inférieur pour la portion postérieure du sinus peuvent être étudiées.

- La thrombose du sinus caverneux :

La thrombose du sinus caverneux, bien que considérée comme un signe de résolution spontanée, peut également réduire les chances d'atteindre la fistule par voie veineuse et peut en limiter le traitement ; l'étude angiographique est donc une étude préalable indispensable pour juger de l'opportunité d'une voie veineuse (70).

5.2.4.4- *Complications de la voie veineuse*

5.2.4.4.1- Complications non spécifiques à la voie d'abord

Les complications évoquées ici sont communes à toutes les voies veineuses. Des complications spécifiques existent selon les techniques utilisées et sont développées au chapitre suivant.

5.2.4.4.1.1- Aggravation du mode de drainage veineux de la fistule

Si l'occlusion du sinus est incomplète le flux peut être redirigé vers des veines leptoméningées avec possible passage d'une lésion Borden 2 à une lésion Borden 3.

5.2.4.4.1.2- Occlusion d'un sinus fonctionnel

L'occlusion d'un sinus dural ne peut être réalisée que s'il ne participe plus au drainage veineux cérébral normal et qu'il n'est donc plus fonctionnel ; un sinus n'est plus fonctionnel quand il est totalement sténosé, thrombosé (33) ou que le flux est inversé à son niveau avec reflux rétrograde dans ses veines tributaires, c'est-à-dire que les veines sont artérialisées (77).

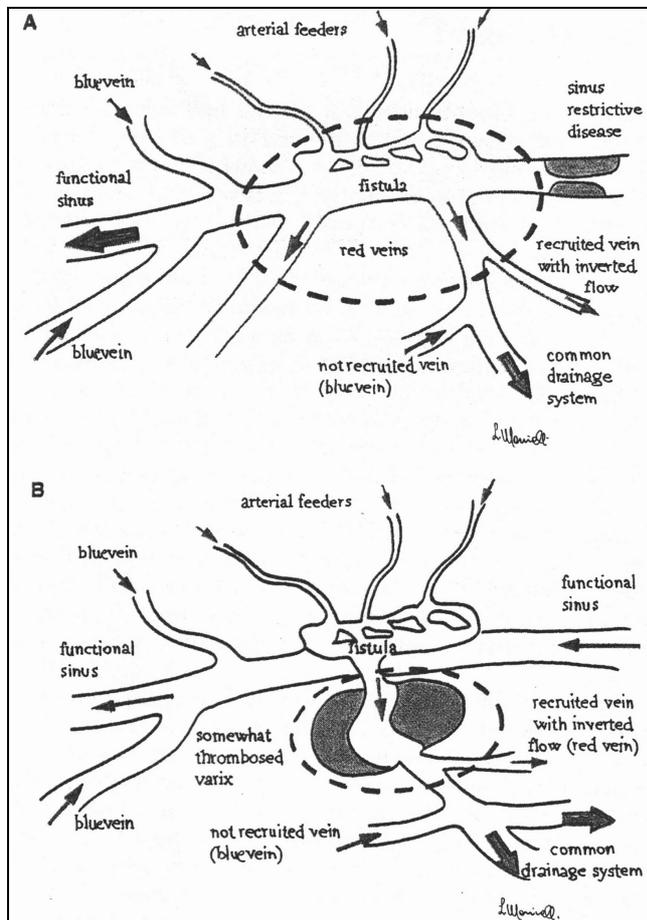


Schéma d'après Collice M, D'Aliberti G, Arena O, Solaini C, Fontana RA, Talamonti G. Surgical treatment of intracranial dural arteriovenous fistulae: role of venous drainage. Neurosurgery, 2000, 47 : 56-67.

Représentation en A d'une fistule avec reflux lepto-méningé et en B d'une fistule non sinusale avec drainage lepto-méningé pur. Les pointillés délimitent les zones non fonctionnelles où aucun drainage cérébral n'est possible. Dans ces deux cas il faut noter les veines bleues qui rejoignent en distalité le système de drainage commun et qui doivent être épargnées lors de toute procédure thérapeutique.

L'évaluation de la fonctionnalité du sinus est cependant délicate, en effet un sinus ne peut présenter qu'un segment artérialisé et continuer à recevoir en amont et en aval des veines en iso-courant ; de plus bien qu'artérialisée une veine tributaire du segment sinusal fistuleux peut recevoir distalement une veine en iso-courant qui continue de drainer du tissu cérébral

fonctionnel (77) ; enfin un sinus artérialisé peut redevenir fonctionnel en cas de modification hémodynamique ou s'il apparaît une nouvelle fistule (41).

Dans la majorité des cas la totalité du sinus caverneux peut être embolisé sans risque car il ne participe plus au drainage veineux cérébral normal, néanmoins dans 12% des cas pour Nakamura et al (76) la fistule siège dans une loge caverneuse toujours fonctionnelle, une embolisation intempestive peut alors conduire à un infarctus veineux.

La loge caverneuse est une structure compartimentée et parfois seule une région de la loge est fonctionnelle ; si le bilan angiographique est suffisamment précis il permet de déterminer le ou les compartiments où siège la fistule. Le choix de la voie veineuse la plus adaptée permet l'embolisation du seul secteur atteint et de respecter le drainage veineux normal (65).

Nakamura et al (76) ont rapporté les cas de 3 patients présentant une fistule dure localisée aux secteurs supérieur et médial de la loge caverneuse alors que la veine cérébrale moyenne superficielle s'abouchait dans la portion antéro-latérale. Le bilan angiographique a montré qu'il n'existait pas de séparation anatomique complète entre les deux compartiments mais plutôt une séparation hémodynamique. Chez ces trois patients il a été possible de n'emboliser que la portion fistuleuse en respectant le drainage de la veine cérébrale moyenne superficielle. Le principe d'embolisation veineuse ciblée du compartiment atteint peut permettre d'éviter l'occlusion d'un compartiment encore fonctionnel ainsi que de limiter le risque de paralysie des paires crâniennes, de glaucome ou de thrombose de la veine centrale de la rétine (65).

L'inconvénient de l'embolisation d'un seul secteur de la loge caverneuse tient à sa difficulté à être complètement curative ; lorsqu'une fistule résiduelle persiste il peut être utile de combiner le geste à une embolisation trans-artérielle et dans tous les cas à une surveillance clinique et angiographique. Même si initialement le drainage veineux normal est respecté, le risque d'une thrombose veineuse secondaire en raison de la proximité des coils persiste (76).

5.2.4.4.1.3- Diplopie

Roy et al (31) font état de la fréquence de diplopie transitoire après occlusion du sinus caveux sur une série comportant essentiellement des traitements par voie veineuse. Ce phénomène transitoire est vraisemblablement plus lié à la thrombose aiguë qu'à l'effet de masse des coils qui donnerait des signes immédiats et définitifs. L'inflammation pourrait également jouer un rôle dans cette symptomatologie.

Aihara et al (78) ont rapporté les cas de deux patientes traitées par coils pour des fistules durales de la loge caveuse type IIa+b, la première bilatérale, la seconde à gauche :

- la première patiente a présenté après le traitement une aggravation de sa diplopie et une névralgie dans le territoire du V1 droit, la pression au sein du sinus caveux a été mesurée et est passée de 43mmHg avant l'embolisation à 75 mmHg après l'embolisation, ces symptômes se sont résolus spontanément en 4 mois et ont été attribués à l'augmentation de la pression dans le sinus caveux,
- la seconde patiente a présenté également et immédiatement une aggravation de sa diplopie et une névralgie faciale dans le territoire du V1 gauche, la pression dans le sinus caveux est passé de 93mmHg avant le geste à 48mmHg après, la névralgie s'est résolue en 2 semaines mais l'atteinte du VI a persisté 7 mois, ces symptômes ont été attribués à une compression directe du VI par les coils dans la loge caveuse. Les auteurs proposent d'utiliser le monitoring de la pression au sein du sinus caveux lors de tests d'occlusion au ballon comme critère prédictif de la tolérance à l'occlusion définitive.

5.2.4.4.1.4- Autres complications

D'autres complications ont été rapportées comme le développement d'une autre fistuleurale, d'abcès cérébraux, de glaucomes ou de perte de la vision (56).

5.2.4.4.2- Complications spécifiques à la voie d'abord utilisée

Les complications décrites ci-dessous concernent essentiellement les deux voies d'abord veineuses les plus décrites dans la littérature : le sinus pétreux inférieur et la veine ophtalmique supérieure (VOS).

5.2.4.4.2.1- Voie empruntant la VOS

La ponction directe ou l'exposition chirurgicale de la VOS exposent à plusieurs complications :

- l'hématome orbitaire (55) voire la possibilité d'une hémorragie intra-orbitaire majeure (68) comme l'ont décrit Godberg et al après tentative de ponction d'une varice veineuse à la portion centrale et postérieure de l'orbite,
- l'infection orbitaire (55),
- l'atteinte des structures antérieures de l'orbite : trochlée, nerf releveur supérieur de la paupière, nerf supra-orbitaire (55),
- le cathétérisme de la VOS peut léser sa paroi en particulier si cette dernière est fine et fragile (52) avec risque d'hémorragie rétro-orbitaire,
- la thrombose aiguë de la veine peut dévier le flux veineux vers des veines leptoméningées augmentant le risque de complications neurologiques (55) ou entraîner une détérioration rapide de la vision (66) si elle survient sans oblitération de la fistule.

Oishi et al ont rapporté chez 3 patients des complications considérées comme secondaires à l'exposition chirurgicale de la VOS. Dans le premier cas il s'agissait de dysesthésies bifrontales rapportées à l'atteinte des deux nerfs supra-orbitaires chez un patient ayant eut une exposition bilatérale des VOS. Les deux autres patients présentaient un ptosis de la paupière supérieure rapporté soit à l'importance de l'œdème post-opératoire source d'un allongement du muscle releveur de la paupière, soit au traumatisme direct du muscle releveur (79).

5.2.4.4.2.2- Voie empruntant le sinus pétreux inférieur

Les complications spécifiques de cette voie sont moins nombreuses que les complications communes à tout geste d'embolisation veineuse de la loge caverneuse. Une complication spécifique est la rupture du sinus pétreux inférieur avec saignement sous-arachnoïdien, cependant les progrès technologiques sur les guides et les cathéters réduisent ce risque (59).

Dans leur série de 16 fistules durales traitées en utilisant le sinus pétreux inférieur, Yamashita et al (70) ont observé :

- une complication spécifique : une perforation du sinus pétreux inférieur ayant entraîné un saignement épidural de résolution spontanée,
- 6 autres complications transitoires : 3 aggravations de chémosis, 2 aggravations de parésie du VI, une aggravation de parésie du III.

Oishi et Al (79) ont rapporté une série de 19 patients traités par voie veineuse :

- dans un cas est survenue lors du cathétérisme du sinus pétreux inférieur une paralysie du nerf abducens à la suite d'une dissection de la dure-mère du clivus ; le nerf a pu être endommagé au niveau du canal de Dorello par le guide (79).
- deux autres cas de paralysie du nerf abducens ont été rapportés à un packing trop important de la loge caverneuse (coils à détachement mécanique), le packing optimal étant difficile à doser ; un packing insuffisant est également source de complications (79).

5.2.4.4.2.3- Autres voies d'abord

Tout cathétérisme vasculaire entraîne un risque de perforation, en particulier sur des veines parfois fragiles. Ces perforations peuvent aboutir à des complications locales selon le site veineux ponctionné.

5.2.5- Traitement chirurgical

Les indications chirurgicales dans les fistules durales de la loge caverneuses sont rares ; en effet dans cette localisation lorsqu'un traitement est nécessaire il est en première intention endo-vasculaire, moins invasif que les gestes chirurgicaux et le plus souvent curatif.

Différentes techniques chirurgicales ont été décrites, certaines sont citées sans caractère exhaustif.

5.2.5.1- Résection chirurgicale directe

La résection chirurgicale directe des fistules durales de la loge caverneuse est difficile et pour Kuwayama et al (72) cette technique apparaît plus invasive que les procédures endovasculaires ; elle expose aux traumatismes des nerfs oculo-moteurs ou de la carotide interne intra-caverneuse (61) avec un taux de déficit des nerfs crâniens dans les suites opératoires élevé (80) ainsi que des cas rapportés d'occlusion de la carotide interne liés à la chirurgie (80) ; elle expose aux risques d'hématome rétro-orbitaire ou rétro-bulbaire (61). Un abord chirurgical trans-ethmoïdal et trans-sphénoïdal a également été rapporté pour le traitement des fistules carotido-caverneuses inaccessibles à toute thérapeutique endovasculaire par Barker et al.

5.2.5.2- Introduction chirurgicale de matériel thrombogène dans le sinus

Des procédures chirurgicales visant à placer du matériel thrombogène dans le sinus caverneux ont été décrites par Mullan en 1974 et Hosobuchi en 1975 avec des complications à type d'atteinte des nerfs crâniens (59). Le traitement chirurgical consistant en un bourrage du sinus caverneux par du tissu musculaire est désormais réservé aux seuls échecs de la thérapeutique endovasculaire (23).

5.2.5.3- L'électrothrombose

L'électrothrombose a été décrite comme une alternative thérapeutique pour les fistules durales de la loge caverneuse (Hosobuchi, 1975. Ishikawa, 1982) ; elle nécessite cependant une craniotomie frontotemporale et une incision durale et ne guérit pas toujours la fistule. Des complications peuvent survenir à type de spasme ou d'occlusion de la carotide interne ainsi qu'une paralysie transitoire ou permanente de nerfs crâniens (52).

5.2.5.4- Ligature chirurgicale des afférences artérielles

La ligature proximale des afférences nourricières artérielles ne permet que rarement d'obtenir une guérison définitive et conduit habituellement au recrutement d'autres pédicules nourriciers qui sont ensuite délicats à emboliser (28). Du fait de cette prise en charge de la fistule par des branches collatérales la ligature des branches de la carotide externe n'est plus réalisée en pratique (20).

5.2.5.5- Ligature des veines de drainage

Pour les lésions Borden 2 ou 3, lorsque la chirurgie est indiquée, la disconnection chirurgicale qui vise à exclure les veines leptoméningées drainant la fistule (en positionnant un clip sur ces veines dès leur sortie du shunt puis en les coagulant) apparaît comme la thérapeutique de choix ; en effet les techniques d'excision chirurgicale complète des fistules dures se heurtent à de nombreuses complications et en particulier à des pertes sanguines parfois majeures. Dans la série de Davies et al (36), comprenant 46 lésions Borden 2 ou 3 dont 7 lésions Borden 2 localisées à la loge caverneuse, ce traitement a permis de guérir toutes les lésions Borden 3 et de guérir ou de transformer en lésion Borden 1 toutes les fistules Borden 2, aucune complication n'est apparue. Une embolisation trans-artérielle préopératoire peut faciliter ce geste chirurgical en diminuant les pertes sanguines survenant lors de l'exposition du shunt.

5.2.6- Radiothérapie

Différentes formes de radiothérapie ont été utilisées dans le traitement des malformations artério-veineuses (52) : la radiothérapie conventionnelle, la radiothérapie stéréotaxique par accélérateur linéaire, la radio-chirurgie stéréotaxique « gamma knife » et la thérapie par particules lourdes.

Cette voie thérapeutique reste peu utilisée dans les fistules dures de la loge caverneuse comparativement aux procédures de radiologie neuro-interventionnelle, certaines données en partie issues du traitement des malformations artério-veineuses peuvent être soulignées :

- l'oblitération complète des malformations artério-veineuses est obtenue dans 65% à 85% des cas et les meilleurs résultats sont obtenus pour les lésions inférieures à 25 mm. L'effet thérapeutique est vraisemblablement lié à une réponse inflammatoire des parois vasculaires avec prolifération intimale, épaissement endothélial puis thrombose (52),
- la dose optimale de rayons à utiliser est difficile à établir pour les fistules durales, le but de la radiothérapie étant d'obtenir une artériopathie focale rapide une dose totale supérieure à 35 Gy apparaît logique (52),
- la radio-chirurgie peut être efficace pour guérir les fistules durales mais le délai pour obtenir une oblitération de la lésion reste long et donc peu adapté lorsque le traitement est urgent (72).

Pierot et al (52) ont rapporté un cas de fistuleurale de la loge caverneuse de type D pour laquelle l'embolisation des branches de la carotide externe n'a pas permis la guérison mais a conduit à une majoration de l'apport carotidien interne ; une radiothérapie a alors été réalisée (55 Gy en 32 séances) et la guérison clinique et angiographique a été obtenue. Pour ces auteurs l'embolisation des branches de la carotide externe doit rester le traitement de première intention des fistules durales mais si le traitement est incomplet la radiothérapie peut être utile et pourra être facilitée par une embolisation préalable qui ralentira le flux dans la fistule.

Pollock et al (80) ont rapporté une série de 20 fistules durales de la loge caverneuse traitées par radio-chirurgie seule (7 patients) ou par une association embolisation trans-artérielle et radio-chirurgie (13 patients). Le but de la radio-chirurgie était d'obtenir une oblitération à long terme des fistules durales. Une série précédente de Barcia-Salorio et al, avec 20 fistules durales de la loge caverneuse à flux lent, a permis de retrouver un taux d'occlusion de 90% avec un délai d'amélioration clinique de 1 à 2 mois après l'irradiation. La radio-chirurgie était réalisée avant toute procédure endo-vasculaire afin de pouvoir évaluer angiographiquement toute la lésion et planifier au mieux la dose, l'objectif étant d'éviter un traitement incomplet en raison de territoires fistuleux temporairement occlus par l'embolisation et non pris en compte pour l'irradiation. Lorsqu'il existait des symptômes agressifs ou un drainage veineux cortical, une embolisation particulière trans-artérielle était réalisée le plus rapidement possible après la radio-chirurgie pour améliorer l'état clinique et

pour protéger d'un éventuel saignement durant la période de latence avant l'oblitération radio-induite (80). Cette étude apporte plusieurs informations sur l'efficacité et les risques :

- dans cette série le taux d'amélioration clinique significatif a été de 95% dans un délai de plusieurs semaines à plusieurs mois, délai plus court que la résolution spontanée chez les patients traités de façon conservatrice,
- après la procédure le taux de déficit neurologique transitoire a été de 10% et de déficit permanent de 5% (une parésie du VI en relation avec une thrombose aiguë du sinus caverneux),
- il n'y a pas eu d'atteintes oculomotrices et trigéminales différées, pourtant dans la littérature celles-ci surviendraient dans 10% des fistules dures de la loge caverneuse traitées par radio-chirurgie ; pour les auteurs ceci s'expliquerait par l'effectif réduit de leur série.

Chapitre 6- Cas cliniques

Patiente 1 :

Mme B, âgée de 63 ans, présente depuis 6 mois des signes orbitaires droits à type de diplopie (paralysie partielle du III droit), hyperhémie conjonctivale, chémosis, exophtalmie pulsatile (avec souffle orbitaire) et baisse d'acuité visuelle. Ses antécédents notables sont une hypertension artérielle, une phlébite du post-partum, une hypothyroïdie et quatre mois avant l'apparition des symptômes la survenue d'une paralysie faciale droite spontanément résolutive (imagerie et PL normales).

Le diagnostic de fistule durale de la loge caverneuse droite sur l'IRM est confirmée lors de l'artériographie, la fistule est alimentée de façon bilatérale par les carotides internes droite et gauche et par la carotide externe droite (Barrow D) et son drainage veineux est exclusivement vers la VOS droite.

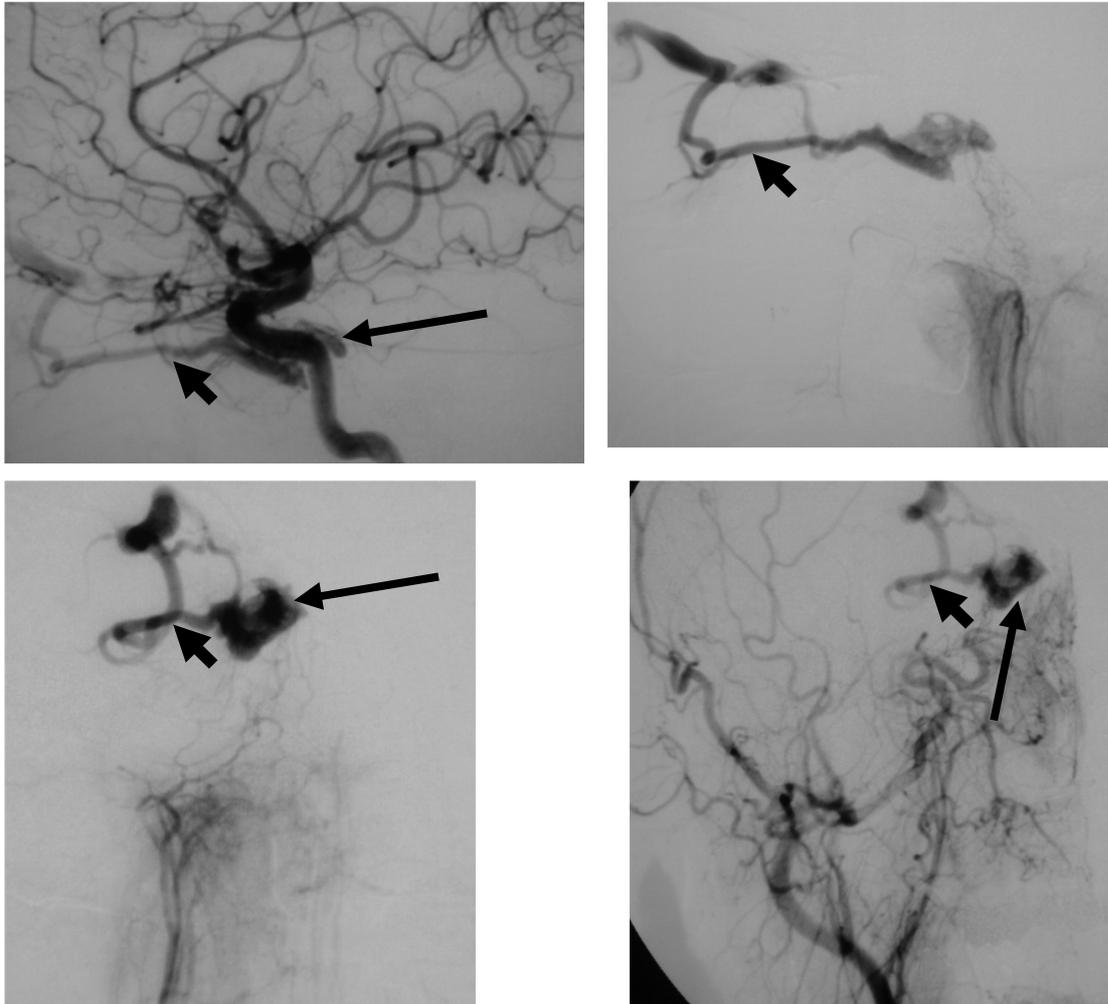


Fig 1 : Bilan initial

Artériographie avec carotide interne droite de profil en (a), artère pharyngienne ascendante droite de profil (b) et de face (c), carotide externe droite de face (d). Opacification précoce de la loge caverneuse droite (flèche) avec drainage vers la veine ophtalmique supérieure droite (flèche courte).

Le traitement endovasculaire initial est réalisé dans le même temps et concerne seulement l'apport artériel droit avec embolisation de l'artère maxillaire interne droite et de l'artère pharyngienne ascendante droite (particules). Le premier contrôle IRM/artériographie 2 mois après l'embolisation montre une persistance de la fistule et aucune amélioration des symptômes n'est observée ; une nouvelle embolisation est donc réalisée sur les artères maxillaires internes droite et gauche.



Fig 2 : contrôle 1

Carotide interne droite de profil en artériographie (a) et IRM dans le plan axial en T2 centrée sur les orbites. Flèche montrant l'exophtalmie de l'œil droit.

Le contrôle n°2 réalisé à 2 mois retrouve une nette diminution de la fistule et une nette amélioration des symptômes, une embolisation systématique des 2 artères maxillaires internes est réalisée.

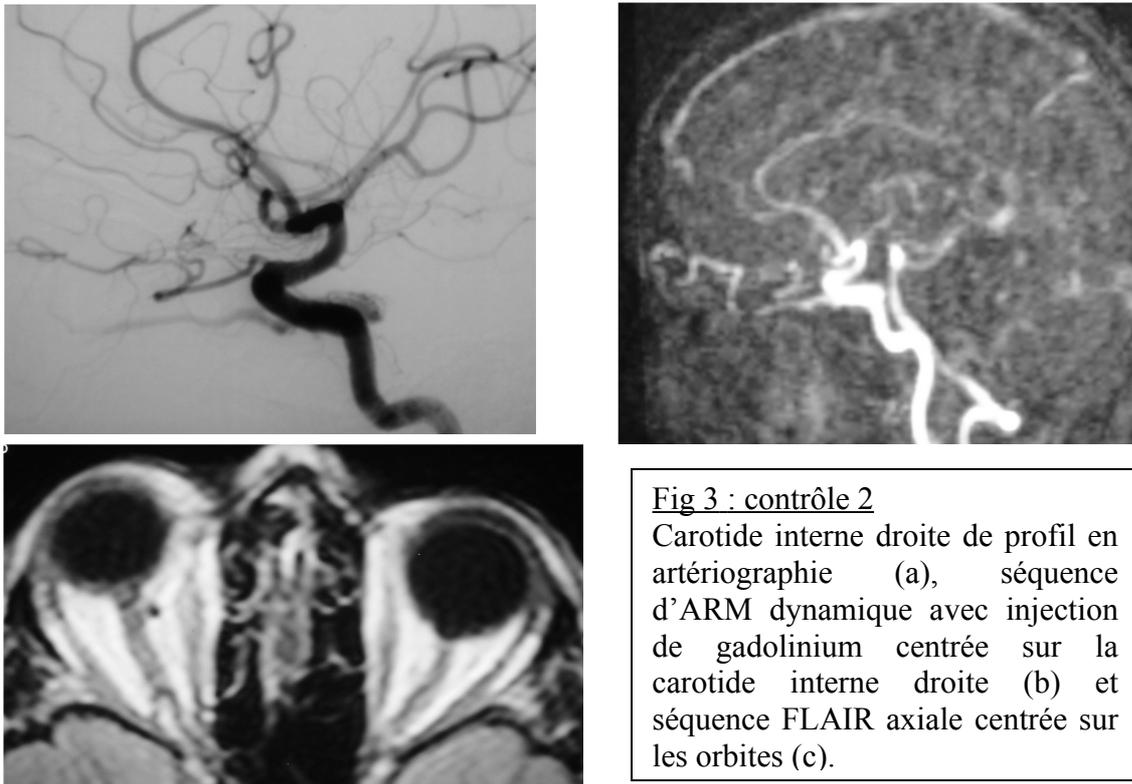


Fig 3 : contrôle 2

Carotide interne droite de profil en artériographie (a), séquence d'ARM dynamique avec injection de gadolinium centrée sur la carotide interne droite (b) et séquence FLAIR axiale centrée sur les orbites (c).

Un troisième contrôle réalisé 4 mois plus tard met en évidence une disparition de la fistule ainsi que des signes cliniques.

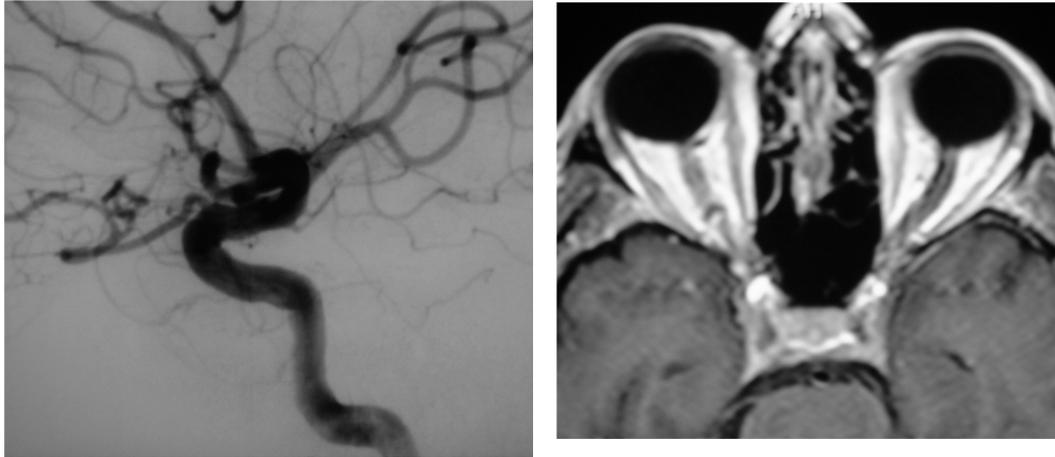


Fig 4 : contrôle 3

Carotide interne droite de profil en artériographie (a) et séquence T1 après injection de gadolinium axiale centrée sur les orbites.

Patiente 2 :

Mme B.M, âgée de 31 ans, est adressée pour hémicrânies gauches, acouphènes pulsatiles gauches et souffle péri-auriculaire gauche pulsatile depuis 1 mois. Il n'existe pas d'antécédents significatifs excepté des épisodes migraineux.

Le scanner réalisé ne retrouve pas d'anomalie. L'artériographie permet le diagnostic de fistule dure de la loge caverneuse gauche. La fistule est alimentée par la carotide interne gauche et la carotide externe gauche (Barrow D) et le drainage veineux est postérieur vers les systèmes pétreux droit et gauche.

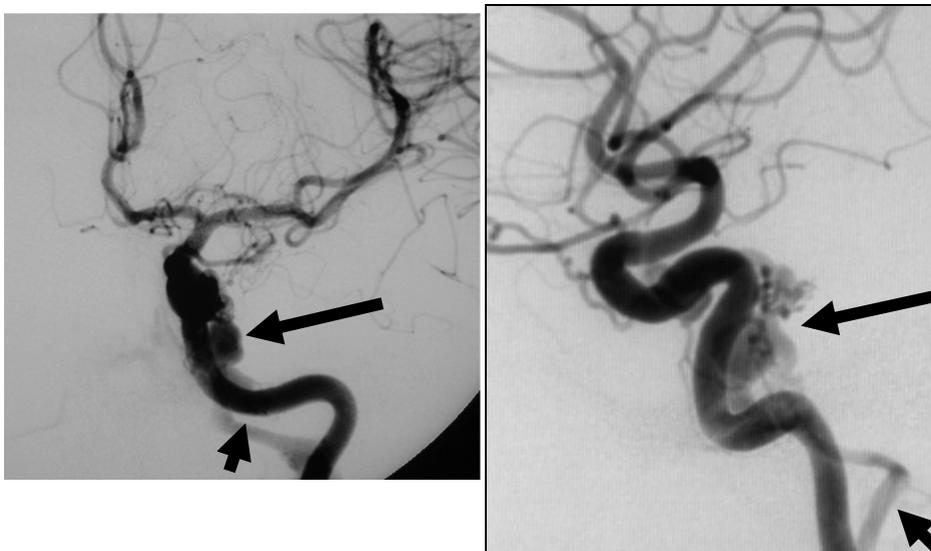


Fig 1 : bilan initial

Clichés

d'artériographie avec carotide interne gauche de face (a) et de profil (b). Opacification précoce de la loge caverneuse gauche (flèche), opacification du sinus pétreux inférieur gauche (flèche courte).

Le traitement endovasculaire est effectué 2 semaines après le bilan initial par voie veineuse avec mise en place de spires au sein de l'ectasie veineuse anévrysmale de la loge caveuse gauche. Le contrôle artériographique à 3 mois révèle la disparition de la fistule, il n'existe plus aucune symptomatologie clinique.

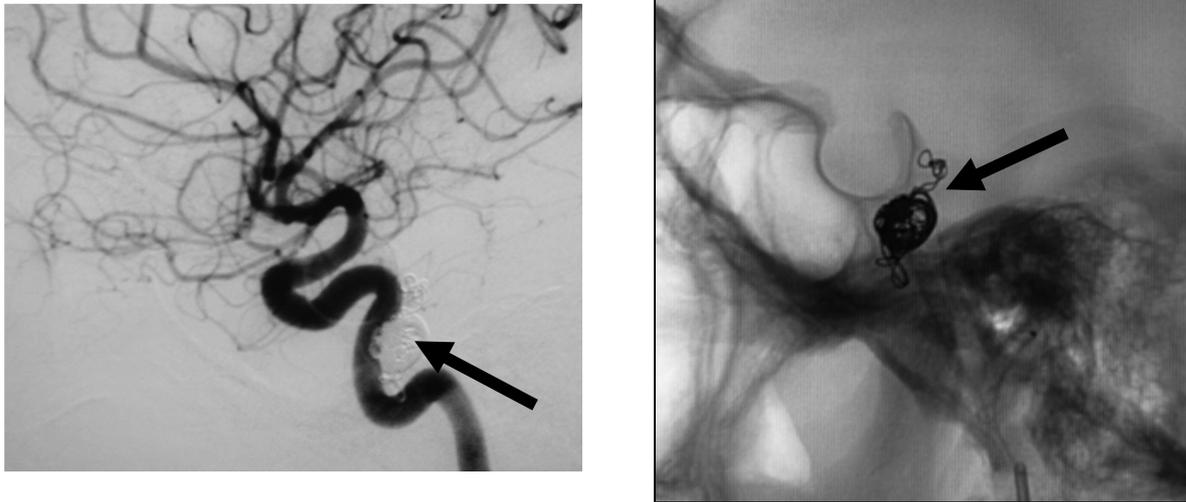


Fig 2 : bilan post-embolisation

Clichés d'artériographie avec carotide interne gauche de profil (a) et cliché standard montrant les coils dans la loge caveuse gauche (flèche).

Patiente 4 :

Mme C, âgée de 72 ans, sans antécédent notable présente depuis 7 semaines des signes orbitaires droits : exophtalmie, chémosis, souffle péri-orbitaire.

Le scanner et l'IRM sont en faveur d'une fistule durale de la loge caveuse. L'artériographie permet de retrouver une fistule durale de la loge caveuse droite complexe de type Barrow D. Il existe en effet 2 compartiments distincts, le premier alimenté par la carotide interne droite et la carotide externe droite avec drainage postérieur vers le sinus pétreux supérieur droit, le second alimenté par la carotide interne et la carotide externe gauche à drainage antérieur vers la VOS droite. L'embolisation particulière des artères maxillaires internes droite et gauche est réalisée dans le même temps.

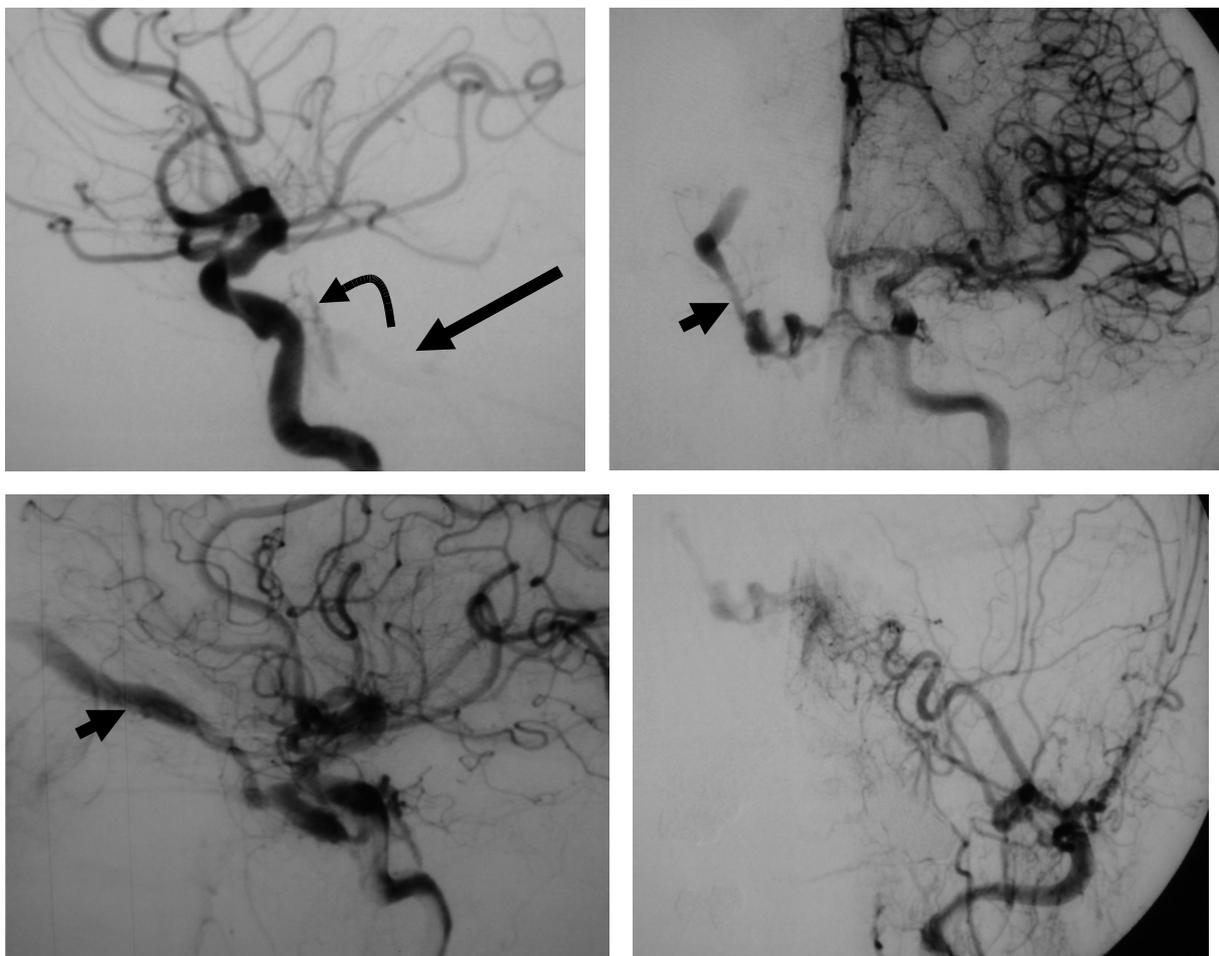


Fig 1 : bilan initial

Clichés d'artériographie avec carotide interne droite de profil (a), carotide interne gauche de face, carotide interne gauche de profil (c) et tronc temporo-maxillaire gauche de face (d). Opacification précoce de la loge caverneuse droite (flèche courbe) avec drainage vers le sinus pétreux supérieur droit (flèche) et vers la veine ophtalmique supérieure droite (flèche courte).

Le premier contrôle est réalisé à 6 semaines de l'embolisation : il n'y a pas d'amélioration clinique, sur l'artériographie la fistule est de plus petite taille avec une nette diminution des apports carotidiens externes, elle ne se draine plus vers la VOS droite (qui n'est plus visible), elle se draine désormais essentiellement vers la VOI droite. Une surveillance est décidée.

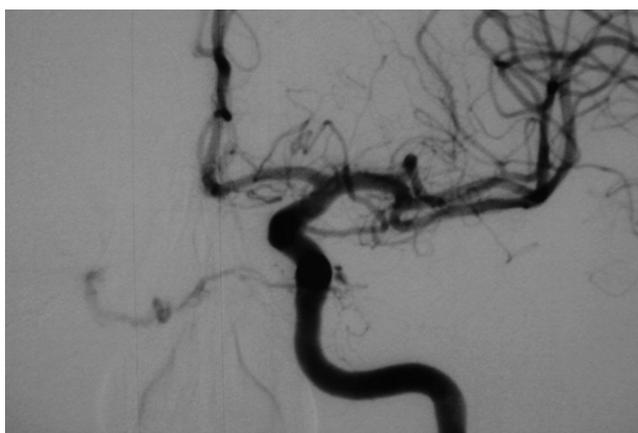


Fig 2 : contrôle 1

Carotide interne gauche de face en artériographie.

Le mois suivant la patiente a présenté une poussée inflammatoire au niveau de sa fistule durale nécessitant une hospitalisation d'une semaine avec cures de corticoïdes à haute dose.

Le second contrôle est réalisé 3 mois après cet épisode inflammatoire, il n'existe plus aucun symptôme ophtalmologique mais la patiente se plaint de nouveaux symptômes à types d'acouphènes pulsatiles gauches, un souffle péri-auriculaire gauche est perçu. L'artériographie ne retrouve plus de fistule durale de la loge caverneuse mais une nouvelle fistule durale est visible sur le sinus transverse gauche.

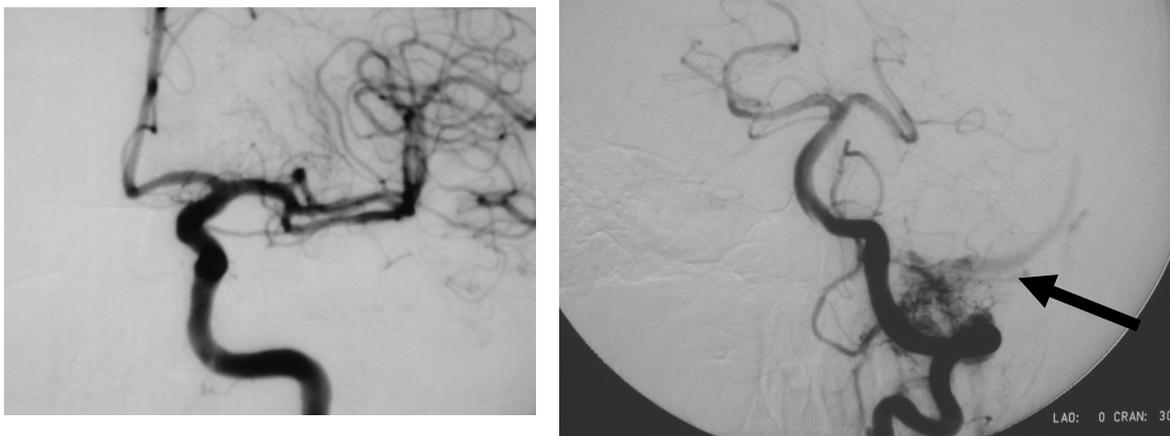


Fig 3 : contrôle 2

Clichés d'artériographie avec carotide interne gauche de face (a) et artère vertébrale gauche de face (b). Opacification du sinus transverse gauche (flèche).

Cette fistule est traitée par voie artérielle 2 mois plus tard (embolisation particulaire). Le contrôle artériographique réalisé 3 mois plus tard ne retrouve plus aucune fistule, la patiente ne présente plus de symptomatologie clinique.

Patient 7 :

Mr O, âgé de 60 ans, présente des symptômes depuis 6 mois avec une diplopie transitoire, une hyperhémie conjonctivale et une exophtalmie bilatérale prédominant à droite. Il n'existe pas d'antécédent significatif. Une IRM est réalisée et retrouve des signes en faveur d'une fistule carotido-caverneuse gauche.

L'artériographie met en évidence une fistule durale de la loge caverneuse gauche alimentée de façon bilatérale par les carotides internes et externes (Barrow D). Cette fistule se draine par le réseau coronaire vers le sinus caverneux droit puis vers les sinus pétreux droits.

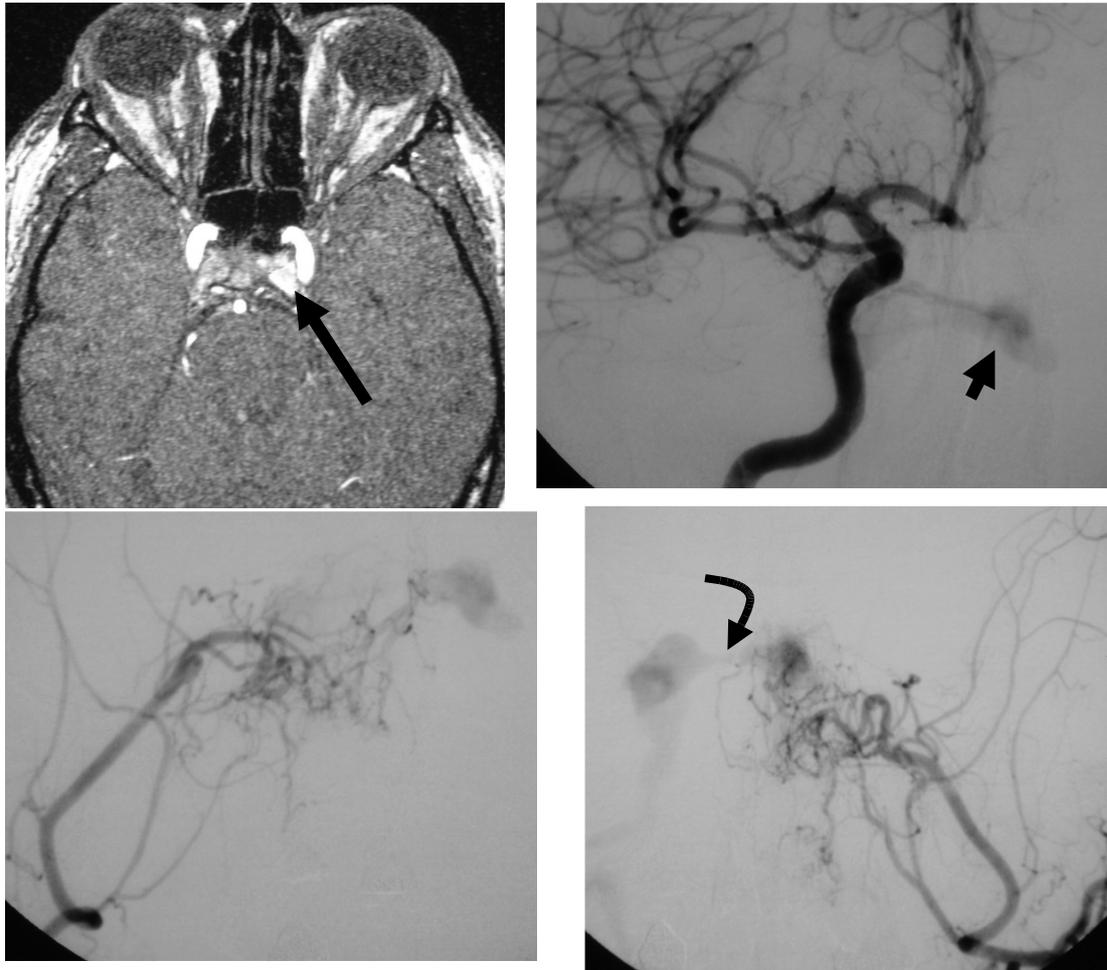


Fig 1 : bilan initial

IRM séquence T1 axiale après injection de gadolinium (a).

Clichés d'artériographie : carotide interne droite de face (b), tronc temporo-maxillaire droit (c) et gauche (d) de face.

Artérialisation du sinus caverneux gauche en IRM (flèche), opacification précoce du sinus caverneux gauche en artériographie (flèche courte) et visualisation des communications inter-caverneuses (flèche courbe) permettant l'opacification du sinus caverneux droit à partir du sinus caverneux gauche.

Une embolisation particulière est réalisée 4 jours plus tard au niveau des artères maxillaires internes et pharyngiennes ascendantes droites et gauches. Les suites ont été marquées par une recrudescence de l'exophtalmie inflammatoire de l'œil droit conduisant à une corticothérapie à forte dose dégressive sous 3 jours associée à des soins locaux.

Le contrôle effectué 4 mois plus tard met en évidence la disparition de la fistule et des signes cliniques.

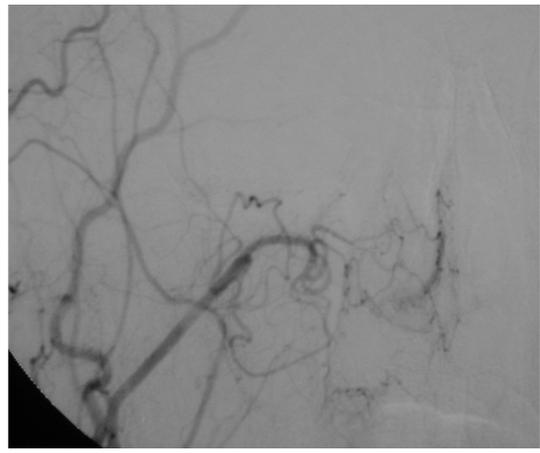
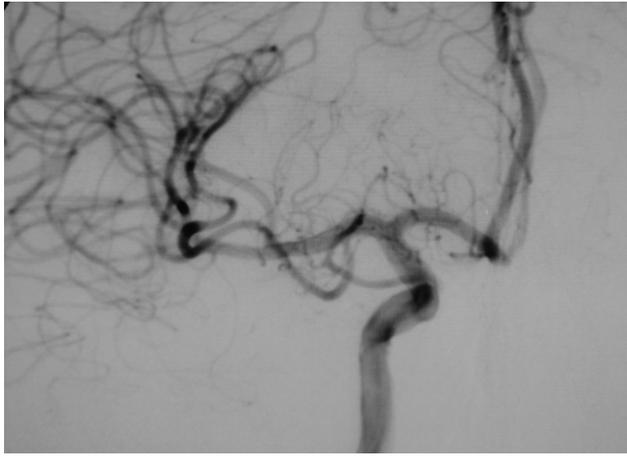


Fig 2 : contrôle

Clichés d'artériographie : carotide interne droite de face (a) et tronc temporo-maxillaire droit de face (b).

Patiente 10 :

Mme C, âgée de 70 ans, sans antécédent notable, présente des symptômes orbitaires gauches depuis 6 semaines avec une hyperhémie conjonctivale, une exophtalmie pulsatile et un souffle orbitaire ; cette patiente avait également présenté des acouphènes pulsatiles droits ayant spontanément disparu.

Une artériographie cérébrale est réalisée et révèle une fistule durale des 2 loges caverneuses prédominant à gauche, alimentée par les 2 carotides internes et les 2 carotides externes (Barrow D), se drainant vers le sinus pétreux droit et vers une veine corticale issue du sinus caverneux droit.

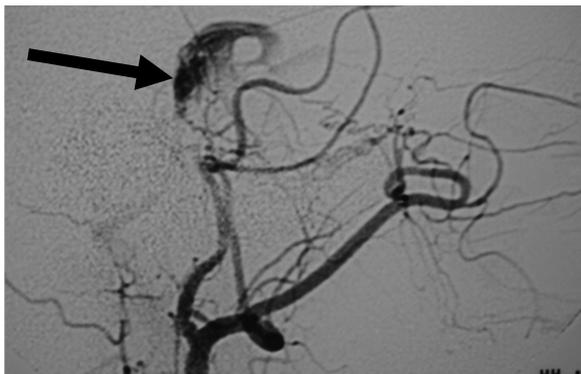
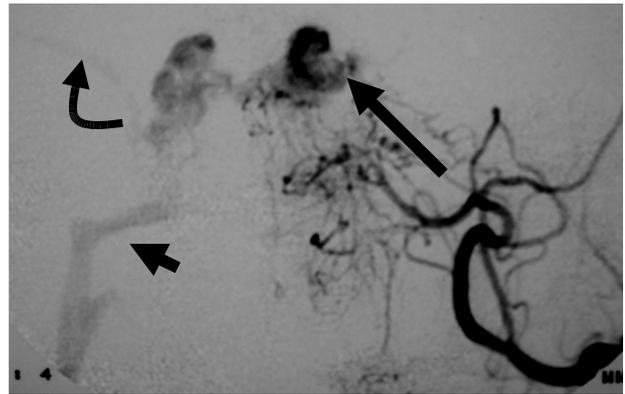
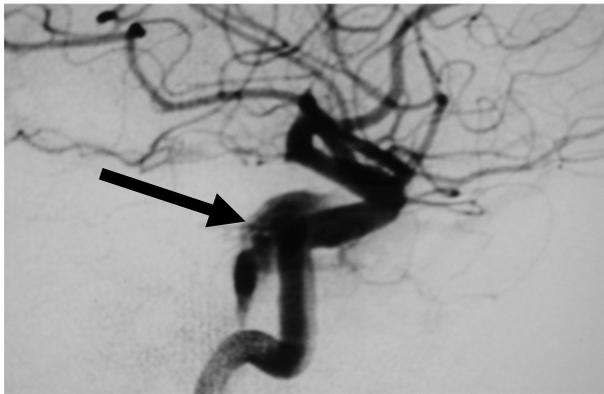


Fig 1 : bilan initial

Clichés d'artériographie : artère carotide interne gauche de profil (a), artère maxillaire interne gauche de face (b) et de profil (c). Opacification des 2 sinus caverneux (le gauche est marqué par la flèche), d'une veine corticale issue du sinus caverneux droit (flèche courbe) et du sinus pétreux droit (flèche courte)..

Une embolisation des branches des artères maxillaires internes droite et gauche est réalisée 5 jours plus tard à la poudre de dure-mère alcoolisée ; les branches des artères pharyngiennes ascendantes n'ont pas été embolisées en raison de spasmes importants lors du geste. Un contrôle artériographique est réalisé 3 mois plus tard alors qu'il n'existe plus de symptôme et confirme la disparition de la fistule.

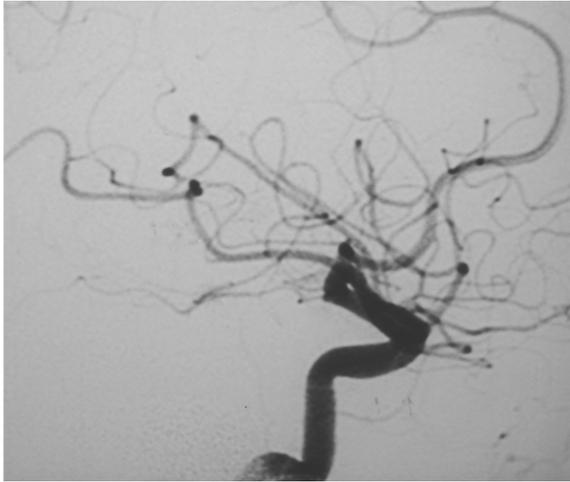


Fig 2 : contrôle
Artère carotide interne gauche de profil en artériographie.

Chapitre 7- Conclusion

Les fistules durales de la loge caverneuse sont des pathologies rares et méconnues. Si ces fistules peuvent guérir spontanément avec un pronostic vital rarement engagé, elles peuvent engager un pronostic fonctionnel visuel. L'artériographie cérébrale est l'examen de référence, elle précise les apports artériels, localise la fistule, et évalue la dangerosité en relation avec le type du drainage veineux. Ces fistules sont le plus souvent prises en charge par neuroradiologie interventionnelle. Même si la voie veineuse est la plus efficace elle est techniquement plus complexe et plus invasive dans une population souvent âgée. L'embolisation par voie artérielle est le traitement de première intention du service de neuroradiologie diagnostic et interventionnelle du CHU de Nantes avec une guérison obtenue dans 80 % des cas. La voie veineuse est le traitement de deuxième intention en cas d'échec de l'embolisation artérielle.

Bibliographie

1. Patouillard P, Vanneuville G. Les parois du sinus caverneux. Neurochirurgie, 1972, 18, n°7, 551-560.
2. Mertens P. Anatomie chirurgicale de la loge caverneuse. Neurochirurgie, 1995, 41, n°3, 152-158.
3. Taptas JN. La loge ostéo-durale parasellaire et les éléments vasculaires et nerveux qui la traversent. Une conception anatomique qui doit remplacer celle du sinus caverneux des classiques. Neurochirurgie, 1990, 36, 201-208.
4. Brassier G, Morandi X, Velut S, Mercier PH. La carotide intra-petreuse et intra-caverneuse. Neurochirurgie, 1995, 41, n°3, 158-163.
5. Kehrli P, Maillot C. Les nerfs crâniens de la loge caverneuse. Neurochirurgie, 1995, 41, n°3, 165-166.
6. Gailloud P, San Millan Ruiz D, Muster M, Kieran J, Jean H.D, Rüfenacht F, Rüfenacht D. Angiographic anatomy of the laterocavernous sinus. AJNR, 2000, 21, 1923-1929.
7. Velut S, Mercier PH, Brassier G. La fissure orbitaire supérieure. Velut S, Mercier PH, Brassier G. Neurochirurgie, 1995, 41, n°3, 167-169.
8. Velut S, Mercier PH, Brassier G. Le canal de Dorello. Neurochirurgie, 1995, 41, n°3, 169-170.
9. Lasjaunias P, Berenstein A, Ter Brugge K.G. Surgical neuro-angiography. 1. Clinical vascular anatomy and variations. P 661-678.
10. Théron J. Les affluents du plexus caverneux. Neuro-chirurgie, 1972, 18, n°7, 623-638.
11. Giudicelli G, Resche F, Louis R, Salamon G. Radioanatomie du sinus caverneux. Neuro-chirurgie, 1972, 18, n°7, 599-612.
12. Barreau Xavier. Traitement endovasculaire des fistules dures carotido-caverneuses. A propos de 22 cas. Thèse d'exercice. Université Bordeaux 2-Victor Segalen, 2000. 65 p.
13. Cattin F, Bonneville J-F. Anatomie radiologique de la loge caverneuse. Neurochirurgie, 1995, 41, n°3, 183-186.
14. Lasjaunias P, Berenstein A, Ter Brugge K.G. Surgical neuro-angiography. 1. Clinical vascular anatomy and variations.
15. Faure J, Binnert D, Michotey P, Salamon G. Etude radio-anatomique des branches collatérales de l'artère carotide interne (dans son segment intra-caverneux). Neurochirurgie, 1971, 18, n°7, 561-579.

16. Dietemann J.L, Medjek L. Angiographie cérébrale, une introduction. Springer-Verlag, Berlin , Heidelberg, New-York. 16-27.
17. Lasjaunias P, Merland J.J, Theron J, Moret J. Vascularisation méningée de la fosse cérébrale moyenne. J. Neuroradiology, 1977, 4, 361-384.
18. Awad IA, Little JR, Akrawi WP, Ahl J. Intracranial dural arteriovenous malformations : factors predisposing to an aggressive neurological course. J.Neurosurg, 1990, 72 : 839-850.
19. Szikora I. Dural arteriovenous malformations. Intracranial vascular malformations and aneurysms. From diagnostic work-up to endovascular therapy. M. Forsting editor, Springer, p 101-143.
20. Pierot L, Meder JF, Chiras J, Marsault C. Fistules durales intracrâniennes : diagnostics clinique et radiologique, possibilités thérapeutiques. SFR, cours de perfectionnement post-universitaire, 5 au 8 novembre 1991.
21. Cellerini M, Mascalchi M, Mangiafico S, Ferrito GP, Scardigli V, Pellicanò G, Quilici N. Phase contrast MR angiography of intracranial dural arteriovenous fistulae. Neuroradiology, 1999, 41 : 487-492.
22. Brown RD, Wiebers DO, Nichols DA. Intracranial dural arteriovenous fistulae : angiographic predictors of intracranial hemorrhage and clinical outcome in nonsurgical patients. J. Neurosurg, 1994, 81 : 531-538.
23. Sonier CB, De Kersaint-Gilly A, Viarouge MP, Auffray-Calvier E, Cottier JPh, Laffont J. Fistules durales de la loge caverneuse. Aspects cliniques et angiographiques. Résultats du traitement endovasculaire au moyen de particules. J. Neuroradiol, 1995, 22 : 289-300.
24. Quinones D, Duckwiler G, Gobin PY, Goldberg RA, Vinuela F. Embolization of dural cavernous fistulas via superior orbital vein approach. AJNR, 1997, 18 : 921-928.
25. Dessout B, Meder JF, Brugières P, Megdiche H, Trystram D, Godon-Hardy S, Fredy D. diagnostic radiologique des lésions vasculaires de la loge caverneuse. Feuilles de radiologie, 1999, 39 : 118-133.
26. Stiebel-Kalish H, Setton A, Nimii Y, Kalish Y, Hartman J, Bar-On RH, Berenstein A, Kupersmith MJ. Cavernous sinus dural arteriovenous malformations. Patterns of venous drainage are related to clinical signs and symptoms. Ophthalmology, 2002, 109 : 1685-1691.
27. Brun V, Lafitte F, Hamedani M, Héran F, Koskas P, Bergès O, Chiras J, Piekarski JD. Comment explorer une exophtalmie ? J. Neuroradiol, 2002, 29 : 161-172.
28. Halbach VV, Higashida RT, Hieshima GB, Reicher M, Norman D, Newton TH. Dural fistulas involving the cavernous sinus : results of treatment in 30 patients. Radiology, 1987, 163 : 437-442.

29. Lasjaunias P, Chiu M, Ter Brugge K, Tolia A, Hurth M, Bernstein M. Neurological manifestations of intracranial dural arteriovenous malformations. *J. Neurosurg*, 1986, 64 : 724-730.
30. Sergott RC, Grossman RI, Savino PJ, Bosley TM, Schatz NJ. The syndrome of paradoxical worsening of dural cavernous sinus arteriovenous malformations. *Ophthalmology*, 1987, 94 : 205-212.
31. Roy D, Raymond J. The role of transvenous embolization in the treatment of intracranial dural arteriovenous fistulas. *Neurosurgery*, 1997, 40 : 1133-1144.
32. Lawton MT, Jacobowitz R, Spetzler RF. Redefined role of angiogenesis in the pathogenesis of dural arteriovenous malformations. *J. Neurosurg*, 1997, 87 : 267-274.
33. Biondi A, Casasco A, Houdart E, Gioino C, Sourour N, Vivas E, Dormont D, Marsault C. Evolution après traitement endovasculaire des signes angiographiques d'hypertension veineuse et des signes cliniques d'hypertension intracrânienne dans les fistules artérioveineuses dures intracrâniennes. *J. Neuroradiol*, 1999, 26 : 49-58.
34. Borden JA, Wu JK, Shucart WA. A proposed classification for spinal and cranial dural arteriovenous fistulous malformations and implications for treatment. *J. Neurosurg*, 1995, 82 : 166-179.
35. Chaudhary MY, Sachdev VP, Cho SH, Weitzner I, Puljic S, Huang YP. Dural arteriovenous malformation of the major venous sinuses : an acquired lesion. *AJNR*, 1982, 3 : 13-19.
36. Davies MA, TerBrugge K, Willinsky, Wallace MC. The natural history and management of intracranial dural arteriovenous fistulae. Part 2 : Aggressive lesions. *Interventional Neuroradiology*, 1997, 3 : 303-311.
37. Davies MA, Saleh J, TerBrugge K, Willinsky R, Wallace MC. The natural history and management of intracranial dural arteriovenous fistulae. Part 1 : Benign lesions. *Interventional Neuroradiology*, 1997, 3 : 295-302.
38. Monsein LH, Debrun GM, Miller NR, Nauta HJW, Chazaly JR. Treatment of dural carotid-cavernous fistulas via the superior ophthalmic vein. *AJNR*, 1991, 12 : 435-439.
39. Davies MA, TerBrugge K, Willinsky R, Coyne T, Saleh J, Wallace MC. The validity of classification for the clinical presentation of intracranial dural arteriovenous fistulas. *J. Neurosurg*, 1996, 85 : 830-837.
40. Liu HM, Wang YH, Chen YF, Cheng JS, Yip PK, Tu YK. Long-term clinical outcome of spontaneous carotid cavernous sinus fistulae supplied by dural branches of the internal carotid artery. *Neuroradiology*, 2001, 43 : 1007-1014.

41. Cognard C, Houdart E, Casasco A, Gabrillargues J, Chiras J, Merland JJ. Long term changes in intracranial dural arteriovenous fistulae leading to worsening in the type of venous drainage. *Neuroradiology*, 1997, 39 : 59-66.
42. Ding XY, Jacques C, Bogorin A, Marin H, Froehlich S, Kindo S, Beltechi R, Dietemann JL. Imagerie des lésions du sinus caverneux. *Feuillets de radiologie*, 2001, 41 : 407-424.
43. Rucker JC, Newman NJ. Diffuse dural enhancement in cavernous sinus dural arteriovenous fistula. *Neuroradiology*, 2003, 45 : 88-89.
44. Hirabuki N, Miura T, Harada K, Hashimoto T, Kawai R, Kozuka T. MR imaging of dural arteriovenous malformations with ocular signs. *Neuroradiology*, 1988, 30 : 390-394.
45. Aoki S, Yoshikawa T, Hori M, Nanbu A, Kumagai H, Nishiyama Y, Nukui H, Araki T. MR digital subtraction angiography for the assessment of cranial arteriovenous malformations and fistulas. *AJR*, 2000, 175 : 451-453.
46. Desal H, Auffray-Calvier E, Toulgoat F, Guillon B, Madoz A, de Kersaint-Gilly A. ARM des vaisseaux cervico-encéphaliques : technique, principales applications cliniques. *J Radiol*, 2005, 86 : 1117-1123.
47. Wetzel SG, Bilecen D, Lyrer P, Bongartz G, Seifritz E, Radue EW, Scheffler K. Cerebral dural arteriovenous fistulas : detection by dynamic MR projection angiography. *AJR*, 2000, 174 : 1293-1295.
48. Naggara O, Koskas P, Mounayer C, Heran F, Piekarski J-D, Meder J-F, Bergès O. Fistule durale caverneuse d'allure inflammatoire : diagnostic avec écho-doppler couleur et pulsé. *J Fr. Ophtalmol*, 2006, 29 : e1.
49. Chi-Chang Chen C, Chuen-Tsuei Chang P, Shy C-G, Chen W-S, Hung H-C. CT angiography and MR angiography in the evaluation of carotid cavernous sinus fistula prior to embolization : a comparison of techniques. *AJNR*, 2005, 26 : 2349-2356.
50. Dogas G, Hermier M, Niederlander M, Lucain P, Bascoulegue Y, Turjman F, Froment JC. Artériographie cérébrale diagnostique : aspects pratiques. *Feuillets de radiologie*, 1999, 39 : 34-46.
51. Lucas CP, Zabramski JM, Spetzler RF, Jacobowitz R. Treatment for intracranial dural arteriovenous malformations : a meta-analysis from the English language literature. *Neurosurgery*, 1997, 40 : 1119-1132.
52. Pierot L, Poisson M, Jason M, Pontvert D, Chiras J. Treatment of dural carotid-cavernous fistula by embolization followed by irradiation. *Neuroradiology*, 1992, 34 : 77-80.
53. Cognard C, Gobin YP, Pierot L, Bailly AL, Houdart E, Casasco A, Chiras J, Merland JJ. Cerebral dural arteriovenous fistulas : clinical and angiographic correlation with a revised classification of venous drainage. *Radiology*, 1995, 194 : 671-680.

54. Jahan R, Gobin YP, Glenn B, Duckwiler GR, Vinuela F. Transvenous embolization of a dural arteriovenous fistula of the cavernous sinus through the contralateral pterygoid plexus. *Neuroradiology*, 1998, 40 : 189-193.
55. Venturi C, Bracco S, Cerase A, Gennari P, Lorè F, Polito E, Casasco AE. Endovascular treatment of a cavernous sinus dural arteriovenous fistula by transvenous embolisation through the superior ophtalmic vein via cannulation of a frontal vein. *Neuroradiology*, 2003, 45 : 574-578.
56. Liu HM, Huang YC, Wang YH, Tu YK. Transarterial embolisation of complex cavernous sinus dural arteriovenous fistulae with low concentration cyanoacrylate. *Neuroradiology*, 2000, 42 : 766-770.
57. Tùlio Salles Rezende M, Piotin M, Mounayer C, Spelle L, Giansante Abud D, Moret J. Dural arteriovenous fistula of the lesser sphenoid wing region treated with onyx : technical note. *Neuroradiology*, 2006, 48 : 130-134.
58. Desal H, Leaute F, Auffray-Calvier E, Martin S, Guillon B, Robert R, de Kersaint-Gilly A. Fistule carotido-caverneuse directe. Etude clinique, radiologique et thérapeutique. A propos de 29 cas. *J. Neuroradiol*, 1997, 24 : 141-154.
59. Halbach VV, Higashida RT, Hieshima GB, Hardin CW, Pribram H. Transvenous embolization of dural fistulas involving the cavernous sinus. *AJNR*, 1989, 10 : 377-383.
60. Halbach VV, Higashida RT, Hieshima GB, Hardin CW. Embolization of branches arising from the cavernous portion of the internal carotid artery. *AJNR*, 1989, 10 : 143-150.
61. Courtheoux P, Huet H, Tournade A, Theron J. Fistules durales de la loge caverneuse. Traitement par voie endoveineuse à propos de 4 cas. *J. Neuroradiol*, 1995, 22 : 301-308.
62. Benndorf G, Lehmann TN, Molsen HP, Lanksch W, Felix R. Puncture of the superficial sylvian vein for embolisation of cavernous dural arteriovenous fistula. *Interventional Neuroradiology*, 1999, 5 : 167-170.
63. Grégoire A, Portha C, Cattin F, Vuillier F, Moulin Th, Bonneville JF. Congestion veineuse symptomatique du tronc cérébral après embolisation d'une fistuleurale du sinus caverneux. *J. Neuroradiol*, 2002, 3 : 183-188.
64. Toulgoat F, Mounayer C, Tùlio Salles Rezende M, Piotin M, Spelle L, Lazzarotti G, Desal H, Moret J. Transarterial embolisation of intracranial dural arteriovenous malformations with ethylene vinyl alcohol copolymer (Onyx 18). *J. Neuroradiol*, 2006, 33 : 105-114.
65. Agid R, Willinsky RA, Haw C, Souza MPS, Vanek IJ, terBrugge KG. Targeted compartmental embolization of cavernous sinus dural arteriovenous fistulae using

- transfemoral medial and lateral facial vein approaches. *Neuroradiology*, 2004, 46 : 156-160.
66. Biondi A, Milea D, Cognard C, Ricciardi GK, Bonneville F, van Effenterre R. Cavernous sinus dural fistulae treated by transvenous approach through the facial vein : report of seven cases and review of the literature. *AJNR*, 2003, 24 : 1240-1246.
 67. Teng MMH, Guo WY, Huang CI, Wu CC, Chang T. Occlusion of arteriovenous malformations of the cavernous sinus via the superior ophtalmic vein. *AJNR*, 1988, 9 : 539-546.
 68. Benndorf G, Bender A, Campi A, Menneking H, Lanksch WR. Treatment of a cavernous sinus dural arteriovenous fistula by deep orbital puncture of the superior ophtalmic vein. *Neuroradiology*, 2001, 43 : 499-502.
 69. Naito I, Magarisawa S, Wada H. Facial vein approach by direct puncture at the base of the mandible for dural carotid-cavernous fistula. An alternative to the superior ophtalmic vein approach. A case report. *Interventional Neuroradiology*, 2002, 8 : 67-70.
 70. Yamashita K, Taki W, Nishi S, Sadato A, Nakahara I, Kikuchi H, Yonekawa Y. Transvenous embolization of dural carotidocavernous fistulae : technical considerations. *Neuroradiology*, 1993, 35 : 475-479.
 71. Mounayer C, Piotin M, Spelle L, Moret J. Superior petrosal sinus catheterization for transvenous embolization of a dural carotid cavernous sinus fistula. *AJNR*, 2002, 23 : 1153-1155.
 72. Kuwayama N, Endo S, Kitabayashi M, Nishijima M, Takaku A. Surgical transvenous embolization of a cortically draining carotid cavernous fistula via a vein of the sylvian fissure. *AJNR*, 1998, 19 : 1329-1332.
 73. Jansen O, Dörfler A, Forsting M, Hartmann M, von Kummer R, Tronnier V, Sartor K. Endovascular therapy of arteriovenous fistulae with electrolytically detachable coils. *Neuroradiology*, 1999, 41 : 951-957.
 74. Arat A, Cekirge S, Saatci I, Ozgen B. Transvenous injection of onyx for casting of the cavernous sinus for the treatment of a carotid-cavernous fistula. *Neuroradiology*, 2004, 46 : 1012-1015.
 75. Terada T, Kinoshita Y, Yokote H, Tsuura M, Tanaka Y, Itakura T, Ryujin Y, Hayashi S, Minamikawa J. Clinical use of mechanical detachable coils for dural arteriovenous fistulas. *AJNR*, 1996, 17 : 1343-1348.
 76. Nakamura M, Tamaki N, Kawaguchi T, Fujita S. Selective transvenous embolization of dural carotid-cavernous sinus fistulas with preservation of sylvian venous outflow. *J. Neurosurg*, 1998, 89 : 825-829.

77. Collice M, D'Aliberti G, Arena O, Solaini C, Fontana RA, Talamonti G. Surgical treatment of intracranial dural arteriovenous fistulae : role of venous drainage. *Neurosurgery*, 2000, 47 : 56-67.
78. Aihara N, Mase M, Yamada K, Banno T, Watanabe K, Kamiya K, Takagi T. Deterioration of ocular motor dysfunction after transvenous embolization of dural arteriovenous fistula involving the cavernous sinus. *Acta Neurochir*, 1999, 141 : 707-710.
79. Oishi H, Arai H, Sato K, Iizuka Y. Complications associated with transvenous embolisation of cavernous dural arteriovenous fistula. *Acta Neurochir*, 1999, 141 : 1265-1271.
80. Pollock BE, Nichols DA, Garrity JA, Gorman DA, Stafford SL. Stereotactic radiosurgery and particulate embolization for cavernous sinus dural arteriovenous fistulae. *Neurosurgery*, 1999, 45 : 459-467.

NOM : Levy

PRENOM : Yoël

Traitement endovasculaire des fistules dures de la loge caverneuse, revue de la littérature et expérience Nantaise à propos de 17 cas.

RESUME

Les fistules dures de la loge caverneuse sont des pathologies rares et méconnues. Si ces fistules peuvent guérir spontanément avec un pronostic vital rarement engagé, elles peuvent engager un pronostic fonctionnel visuel. L'artériographie cérébrale est l'examen de référence, elle précise les apports artériels, localise la fistule, et évalue la dangerosité en relation avec le type du drainage veineux. Ces fistules sont le plus souvent prises en charge par neuroradiologie interventionnelle. Même si la voie veineuse est la plus efficace elle est techniquement plus complexe et plus invasive dans une population souvent âgée. L'embolisation par voie artérielle est le traitement de première intention du service de neuroradiologie diagnostic et interventionnelle du CHU de Nantes avec une guérison obtenue dans 80 % des cas. La voie veineuse est le traitement de deuxième intention en cas d'échec de l'embolisation artérielle.

MOTS-CLES

Fistules dures de la loge caverneuse

Traitement endovasculaire

Particules