

UNIVERSITÉ LILLE II : DROIT ET SANTÉ

THÈSE D'UNIVERSITÉ

pour l'obtention du titre de Docteur de l'Université de Lille II

Spécialité : Radiologie et Imagerie Médicale

Unité de Recherche : U 703

Présentée et soutenue publiquement

le 8 Décembre 2010

Frédérique DUBRULLE - BERTHELOT

**IMAGERIE HAUTE RESOLUTION EN PATHOLOGIE
DE L'OREILLE ET DE LA BASE DU CRÂNE**

Jury

Madame le Professeur Minerva Becker	Rapporteur	Université de Genève
Monsieur le Professeur Alain Bonafé	Rapporteur	Université de Montpellier
Monsieur le Professeur Philippe Halimi	Examineur	Université de Paris V
Monsieur le Professeur Jean Pierre Pruvo	Examineur	Université de Lille II
Monsieur le Professeur Christophe Vincent	Examineur	Université de Lille II
Monsieur le Professeur Olivier Ernst	Directeur de Thèse	Université de Lille II

Je dédie ce travail

aux deux hommes de ma vie, Roger et Henri, vous êtes tout pour moi.

à mes parents et beaux-parents.

à ma sœur, à petit cœur et à mes nièces.

à toute la bande de copains.

Je remercie

le Professeur Olivier Ernst qui a accepté de diriger ce travail. Sa rigueur et ses connaissances exceptionnelles en physique IRM, m'ont aidée depuis plusieurs années dans la mise au point et l'amélioration de séquences. Et même si nos domaines d'étude sont différents, la quête de qualité nous a souvent rapprochés.

les Professeurs Minerva Becker, Alain Bonafé, Philippe Halimi, Jean Pierre Pruvo et Christophe Vincent, pour avoir accepté de juger ce travail. Leur présence dans le jury de cette thèse nous honore.

le Professeur Laurent Lemaitre pour sa confiance et son aide depuis qu'il m'a confié la prise en charge et le développement de l'imagerie ORL au sein de son service.

le Docteur Jan Casselman, mon maître, je lui dois ma passion pour l'imagerie tête et cou, les images de qualité et la haute résolution. Que ce travail soit l'occasion de lui renouveler toute mon admiration et mon amitié.

les chirurgiens Otorhinolaryngologistes et Otologistes du CHU de LILLE, en particulier les Professeurs Dominique Chevalier et François Vaneecloo ainsi que les Docteurs Jean Darras et Xavier Pasquesoone, auprès de qui, j'aime travailler et me perfectionner chaque jour.

l'ensemble du personnel du plateau d'imagerie de l'Hôpital Huriez, particulièrement les manipulateurs du scanner et de l'IRM qui supportent régulièrement mes essais de nouvelles séquences et de nouveaux protocoles.

TABLE DES MATIERES

Résumé – Mots clés	5
Introduction et Axes de recherche	10
I. Mise au point de séquences HR sur l'oreille interne et le conduit auditif interne dans le bilan d'extension des schwannomes vestibulaires.	14
1. Problématique	14
2. Matériel et Méthode	14
3. Résultats	17
4. Discussion et Conclusion	18
5. Article	22
II. Mise au point d'une séquence de diffusion en HR pour la recherche de récurrence de cholestéatomes et la surveillance des oreilles opérées.	27
1. Problématique	27
2. Matériel et Méthode	30
3. Résultats	32
4. Discussion et Conclusion	33
5. Article	38
III. Développement de séquences HR adaptées à l'étude des extensions périnerveuses à la base du crâne dans les tumeurs du nasopharynx.	45
1. Problématique et histoire naturelle des tumeurs du cavum	45
2. Bilan d'extension en imagerie	47
3. Stratégie diagnostique et mise à jour de la classification UICC	52
4. Article	55
IV. Etude et classification des pathologies intra-labyrinthiques.	64
IV.1 Etude des pathologies du labyrinthe en hypersignal T1 après injection de gadolinium.	64
1. Problématique	64
2. Matériel et Méthode	64
3. Résultats	66
4. Discussion et Conclusion	72
5. Article	78
IV.2 Etude en imagerie HR des syndromes de déhiscence du canal semi circulaire supérieur.	87
1. Problématique	87
2. Matériel et Méthode	87
3. Résultats	88
4. Discussion et Conclusion	90
5. Article	93

V. Reconstruction et modélisation tridimensionnelles des tumeurs de la base du crâne. Aide virtuelle à la planification chirurgicale.	97
1. Problématique	97
2. Matériel et Méthode	97
3. Résultats et Illustrations	98
4. Discussion et Conclusion	105
VI. Conclusion et Perspectives	107
VII. Références	110
VIII. Abréviations	125

IMAGERIE HAUTE RESOLUTION EN PATHOLOGIE DE L'OREILLE ET DE LA BASE DU CRÂNE

RÉSUMÉ

Depuis le début des années 1990, l'imagerie de l'oreille et de la base du crâne s'est considérablement développée : des pathologies mal connues ont été explorées en imagerie, en particulier en IRM.

L'objectif de mes travaux de recherche, a été de développer des séquences Haute Résolution (HR) sur l'oreille et la base du crâne permettant une analyse sémiologique fine et une caractérisation de ces différentes pathologies dans l'objectif d'une prise en charge plus adaptée.

Le début de mes travaux a été orienté vers le conduit auditif interne. Mon but initial a été de mettre au point et de développer une séquence 3 HR T2 sur l'oreille interne et le conduit auditif interne ainsi qu'une séquence spin écho T1 HR en coupes fines. Ces séquences ont rendu possible l'analyse précise de l'extension des schwannomes vestibulaires dans le fond du conduit auditif interne. Cette étude a permis de dégager des critères intéressants en imagerie dans le choix thérapeutique (chirurgie versus radio-chirurgie) et dans le choix de la voie d'abord chirurgical.

Mon travail s'est également orienté vers le développement des séquences de diffusion en base du crâne, le but étant de développer une séquence de diffusion HR dans le suivi des cholestéatomes opérés de l'oreille moyenne. Les récurrences de cholestéatome sont fréquentes et les oreilles opérées sont parfois difficiles à analyser en TDM en cas de comblement de la cavité opératoire. Des séquences IRM spécifiques sont alors nécessaires pour différencier une récurrence de cholestéatome, du tissu fibro-inflammatoire fréquemment présent. Plusieurs auteurs avaient montré l'intérêt des séquences de diffusion du fait de coefficients de diffusion très différents entre le tissu fibro-inflammatoire et le cholestéatome. Cependant ces premières séquences de diffusion EPI basse résolution, étaient peu adaptées au rocher et la base du crâne. Notre travail a consisté à mettre au point et à développer une séquence de diffusion HR Turbo Spin Echo adaptée à l'oreille et à la base du crâne permettant le dépistage des récurrences de cholestéatome et de valider cette séquence par comparaison au gadolinium tardif et à la chirurgie.

Mon travail sur la base du crâne haute résolution m'a également permis de développer des séquences Spin Echo T1 et 3D Echo de gradient T1 en Haute Résolution avec saturation de la graisse permettant une analyse fine des extensions tumorales périnerveuses à la base du crâne principalement dans les cancers du nasopharynx. Ces travaux ont permis de définir les voies d'extension précises de ces tumeurs afin de ne pas sous-évaluer le stade initial dans la classification TNM de l'UICC et, associés à ceux d'autres chercheurs, de mettre à jour récemment cette classification UICC des tumeurs du nasopharynx.

Une de mes principales voies de recherche a été le dépistage, l'analyse et la description des pathologies de l'oreille interne grâce aux séquences HR sur l'oreille interne, en particulier la séquence 3D HR T2 (Drive) et la séquence 3D TFE T1 (Thrive). Une étude longitudinale menée de 1998 à 2008 incluant toutes les pathologies intra-labyrinthiques découvertes au CHU de Lille, a permis de définir et de caractériser trois grands types de pathologies distinctes: les schwannomes intra-labyrinthiques, les labyrinthites, les hémorragies intra-labyrinthiques. Ces pathologies nécessitent des prises en charge différentes. Nous avons pu également définir des critères pronostiques en particulier des critères de gravité nécessitant une prise en charge rapide adaptée.

Dans le cadre de ce travail de recherche sur les pathologies de l'oreille interne, nous nous sommes également intéressés au Syndrome de déhiscence du canal semi-circulaire supérieur, syndrome clinique récemment décrit par Minor en 1998. Une étude précise des cas découverts entre 2007 et 2009, associant le scanner HR de l'oreille et la fusion des images HR en IRM (fusion entre une

séquence d'angioIRM HR et la séquence 3D HR T2), a permis de mettre en évidence une variante de la forme classique, correspondant, non pas à une déhiscence osseuse isolée du canal semi-circulaire supérieur, mais à une déhiscence du sinus pétreux supérieur venant au contact du labyrinthe membraneux au niveau du canal semi-circulaire supérieur. La prise en charge chirurgicale étant très différente en cas de déhiscence vasculaire.

Mon travail sur la base du crâne et l'imagerie haute résolution m'a également conduit à m'intéresser aux outils d'aide à la planification et à la prise en charge chirurgicale des tumeurs de la base du crâne. En effet, ces tumeurs, souvent bénignes, sont d'accès difficile en raison de l'importance des rapports nerveux et vasculaires à ce niveau. Le but a été de développer une méthode de reconstruction tridimensionnelle de ces tumeurs dans leur environnement vasculaire et nerveux autorisant le chirurgien à modéliser et à choisir sa voie d'abord.

Ces reconstructions 3D des tumeurs de la base du crâne et de leur environnement montrent l'intérêt de l'imagerie HR de la base du crâne non seulement pour les radiologues mais également pour les chirurgiens et pour l'enseignement de cette région.

HIGH RESOLUTION IMAGING IN EAR AND SKULL BASE PATHOLOGIES

SUMMARY

Since the beginning of the 1990s, the imaging of the ear and skull base has grown considerably. Recently, poorly known pathologies have been investigated by imaging, in particular with MRI.

The objective of my research works was to develop high resolution (HR) sequences dedicated to the ear and the skull base, allowing a fine semiological analysis and a characterization of these various pathologies. The purpose is to contribute to a more appropriate medical management.

The beginning of my work was directed towards the internal auditory canal. My initial purpose was to determine and develop a three-dimensional HR T2 sequence for the inner ear and the internal auditory canal as well as a spin echo T1 HR with thin slices. These sequences allowed the precise analysis of the extension of vestibular schwannomas in the fundus of the internal auditory canal. This study has indentified a relevant criteria for the therapeutic choice (surgery versus radiosurgery) and for the choice of the surgical approach.

My work has also aimed to the development of diffusion sequences dedicated to the skull base. The purpose was to develop a HR diffusion sequences in the follow-up of operated cholesteatoma of the middle ear. Recurrence of cholesteatoma is frequent and the operated ears are sometimes difficult to analyze on CT, particularly when the postoperative cavity is completely filled. Specific MRI sequences are then necessary to differentiate a recurrent cholesteatoma from fibro-inflammatory tissue. The fact that the diffusion coefficient between fibro-inflammatory tissue and cholesteatoma is different has been shown by several authors. However these early sequences of echoplanar imaging (EPI) diffusion with low resolution were poorly suited to the temporal bone and the skull base. Our work was to finalize and develop a sequence of turbo spin echo HR diffusion, adapted to the ear and skull base for the screening of recurrent cholesteatoma and validate this sequence by comparison with delayed post gadolinium spin echo T1 sequence and surgery.

My work on the HR imaging of the skull base also enabled me to develop some other sequences: spin echo T1 and 3D HR gradient echo T1 with fat saturation allowing for the detailed analysis of perineural spread to the skull base, mainly in nasopharyngeal cancers. This work helped to define the precise pathways of extension of these tumours in order not to underestimate the initial stage of these tumours in the TNM UICC classification. This work together with those of other researchers allowed the recent update of the UICC classification in nasopharyngeal tumours.

One of my main research topics has been the screening, analysis and description of the pathologies of the inner ear, in particular thanks to a 3D HR T2 sequence (DRIVE) and a 3D TFE T1 (Thrive). A longitudinal study from 1998 to 2008, including all the intralabyrinthine pathologies discovered to the University Center of Lille, allowed to define and characterize three major different pathologies: intralabyrinthine schwannoma, labyrinthitis and intralabyrinthine hemorrhage. These pathologies require different treatments. We were also able to define prognostic criteria in particular criteria of severity requiring a rapid and adapted medical management.

Within the framework of my research on the pathologies of the inner ear, we were also interested in the syndrome of dehiscence of the superior semicircular canal. This clinical syndrome was recently described by Minor in 1998. A retrospective study of the cases discovered between 2007 and 2009, included a HR TDM of the temporal bone and a HR MRI (in particular imaging fusion between the 3D HR time-of-flight (TOF) and the 3D HR T2 sequences), enabled to identify a variant of the classic form of dehiscence. This form was not an isolated osseous dehiscence of the superior semicircular canal but a dehiscence of the superior petrous sinus in contact with the membranous

labyrinth at the level of the superior semicircular canal. The surgical management is very different in case of dehiscence of vascular origin.

My work on the skull base and the HR imaging also stimulated my interest in tools dedicated for the planning and surgical management of these skull base tumours. Indeed these tumours which are often benign have difficult access surgically because of the importance of the nervous and vascular connections in this region. The purpose is to develop a method of three-dimensional reconstruction of these tumours in their vascular and nervous environment, allowing the surgeon to plan and choose the most suitable approach.

These 3D reconstructions of the skull base tumours and their environment show the advantages of HR imaging not only for the radiologists but also for the surgeons. They also have an educational value.

MOTS CLÉS

Imagerie par Résonance Magnétique • Imagerie Haute Résolution • Imagerie 3D • Diffusion •
Base du crâne • Oreille • Labyrinthe •

KEY INDEXING TERMS

Magnetic Resonance Imaging • High Resolution Imaging • 3D Imaging • Diffusion • Skull base
• Ear • Labyrinth •

INTRODUCTION ET AXES DE RECHERCHE

Depuis le début des années 1990, l'imagerie de l'oreille et de la base du crâne s'est considérablement développée. Des pathologies, à ce jour mal documentées, ont été explorées en particulier en IRM. L'objectif de mes travaux de recherche, depuis que le Professeur Lemaitre m'a confiée la responsabilité de l'imagerie ORL dans son service au CHU de Lille, a été de développer des séquences en Haute Résolution (HR) sur l'oreille et la base du crâne permettant une analyse sémiologique fine, une caractérisation de ces différentes pathologies et une aide dans la prise en charge thérapeutique en particulier au cas de chirurgie.

1.

Suite à mon année de travail auprès de Dr Jan Casselman à Bruges, le début de mes travaux a été orienté vers l'oreille interne et le conduit auditif interne. Le but initial a été de mettre au point et de développer une séquence 3 HR T2 sur l'oreille interne et le conduit auditif interne ainsi qu'une séquence spin écho T1 HR en coupes fines. Ces séquences ont rendu possible l'analyse précise de l'extension des schwannomes vestibulaires dans le fond du conduit auditif interne. Cette étude a donné le moyen de dégager des critères intéressants en imagerie dans le choix thérapeutique (chirurgie versus radio-chirurgie) et dans le choix de la voie d'abord chirurgicale. *Publication en 2000 dans Radiology.*

2.

Mon travail s'est également orienté vers le développement des séquences de diffusion en base du crâne, le but étant de mettre au point une séquence de diffusion HR dans le suivi des cholestéatomes opérés de l'oreille moyenne.

Les récurrences de cholestéatome sont fréquentes et les oreilles opérées sont parfois difficiles à analyser en TDM en cas de comblement de la cavité opératoire. Des séquences IRM spécifiques sont alors nécessaires pour différencier une récurrence de cholestéatome, du tissu fibro-inflammatoire fréquemment présent.

Une série tardive en Spin Echo T1 après injection de gadolinium a été la première séquence décrite permettant de faire une telle distinction. Puis, plusieurs auteurs ont ensuite montré l'intérêt des

séquences de diffusion du fait de coefficients de diffusion très différents entre le tissu fibro-inflammatoire et le cholestéatome. Cependant ces premières séquences de diffusion EPI basse résolution, étaient peu adaptées au rocher et la base du crâne.

Notre travail s'est poursuivi par le développement d'une séquence de diffusion HR Turbo Spin Echo adaptée à l'oreille et à la base du crâne permettant le dépistage des récidives de cholestéatome et de valider cette séquence par comparaison au gadolinium tardif et à la chirurgie.

Publication en 2006 dans Radiology.

3.

Mes travaux sur la base du crâne haute résolution m'ont également donné la possibilité de développer des séquences Spin Echo T1 et 3D Echo de gradient T1 en Haute Résolution avec saturation de la graisse permettant une analyse fine des extensions tumorales périnerveuses à la base du crâne principalement dans les cancers du nasopharynx.

Ces études ont permis de définir les voies d'extension précises de ces tumeurs afin de ne pas en sous-évaluer le stade initial dans la classification TNM de l'UICC.

Ce travail associé à celui d'autres chercheurs a permis de mettre à jour en 2010 cette classification UICC des tumeurs du nasopharynx.

Publication en 2007 dans European Radiology.

4.

Une de mes principales voies de recherche a été le dépistage, l'analyse et la description de pathologies intra-labyrinthiques. Ces pathologies décrites depuis le début des années 1990 sont encore mal connues, mal détectées et mal analysées.

- Une étude longitudinale menée de 1998 à 2008 incluant toutes les pathologies intra-labyrinthiques découvertes au CHU de Lille, a permis de définir et de caractériser trois grands type de pathologies distinctes: les schwannomes intra-labyrinthiques, les labyrinthites, les hémorragies intra-labyrinthiques.

Nous avons essayé de faire une description IRM très précise de ces pathologies, grâce aux séquences IRM HR afin d'établir des critères diagnostiques précis, permettant de différencier ces différentes étiologies.

Nous avons de plus tenté d'établir des critères pronostiques concernant l'audition en particulier dans les labyrinthites en définissant des critères de gravité nécessitant une prise en charge rapide adaptée. La nécessité de réaliser une série spin écho T1 avant injection de gadolinium a été démontrée dans les surdités brusques pour faire la différence entre les labyrinthites et les hémorragies intralabyrinthiques.

Accepté en 2010 pour publication dans European Radiology.

Eur Radiol. 2010 Jun 10. [Epub ahead of print]

- Parallèlement à travail de recherche sur l'oreille interne, nous nous sommes également intéressés au Syndrome de déhiscence du canal semi-circulaire supérieur, syndrome clinique récemment décrit par Minor en 1998. Une analyse des 20 cas découverts entre 2007 et 2009 en collaboration avec le service d'oto-neurologie du Professeur Vincent, associant la fusion des images HR en scanner et en angio-IRM, nous a permis de mettre en évidence une variante de la forme classique, correspondant, non pas à une déhiscence osseuse isolée du canal semi-circulaire supérieur, mais à une déhiscence du sinus pétreux supérieur venant au contact du labyrinthe membraneux au niveau du canal semi-circulaire supérieur.

La prise en charge chirurgicale étant très différente en cas de déhiscence vasculaire.

Publication en 2009 dans Journal of Neuroradiology.

5.

Mon travail sur la base du crâne et l'imagerie haute résolution m'a également conduit au développement d'outils d'aide à la planification et à la prise en charge chirurgicale des tumeurs de la base du crâne. En effet, ces tumeurs, souvent bénignes, sont d'accès difficile en raison de l'importance des rapports nerveux et vasculaires à ce niveau.

Le but était de développer une méthode de reconstruction tridimensionnelle de ces tumeurs de la base du crâne dans leur environnement vasculaire et nerveux permettant au chirurgien de modéliser et de choisir sa voie d'abord.

Ces reconstructions 3D des tumeurs de la base du crâne et de leur environnement montrent l'intérêt de l'imagerie HR de la base du crâne non seulement pour les radiologues mais également pour les chirurgiens et pour l'enseignement de cette région.

L'ensemble de ces travaux a fait l'objet de publications dans des revues internationales avec comité de lecture, ces articles sont exposés en fin de chaque chapitre.

Plus particulièrement, depuis mon inscription en thèse de troisième cycle, 2 articles ont été publiés, le premier en 2009 dans le Journal of Neuroradiology, le second est en voie de parution dans European Radiology.

I. MISE AU POINT DE SEQUENCES HR SUR L'OREILLE INTERNE ET LE CONDUIT AUDITIF INTERNE DANS LE BILAN D'EXTENSION DES SCHWANNOMES VESTIBULAIRES

1) Problématique

La prise en charge des schwannomes vestibulaires (neurinome de l'acoustique) a considérablement évolué depuis les années 90. Auparavant seule la chirurgie était pratiquée, le plus souvent par voie translabyrinthique, détruisant les cavités de l'oreille interne et donc l'audition. D'autres voies d'abord, plus complexes, ont été ensuite décrites: la voie rétro sigmoïde, la voie suspétreuse, les voies combinées permettant l'ablation du schwannome tout en préservant le nerf cochléaire et donc l'audition et aussi le nerf facial (1, 2, 3, 4).

Ces voies d'abord sont complexes et nécessitent de connaître l'extension précise de la tumeur en particulier au fond du conduit auditif interne vers fossette cochléaire, autour du nerf cochléaire. En effet, si le schwannome s'étend vers la fossette cochléaire, il devient quasiment impossible chirurgicalement de préserver le nerf cochléaire lors de la dissection du schwannome, ceci entraînant une surdité totale dans les suites opératoires.

Le but de cette étude a été de mettre au point des séquences 3D HR T2 de type CISS infra-millimétriques et des séquences spin écho T1 HR en coupes les plus fines possible pour préciser l'extension du neurinome à la fossette cochléaire. Si une telle extension existe, il devient illusoire de tenter une voie d'abord complexe pour préserver l'audition. Si une chirurgie est nécessaire, une voie d'abord plus simple, translabyrinthique, sera préférée, on peut également s'orienter vers une radiothérapie de type "radiochirurgie" multifaisceaux si le schwannome n'est pas trop volumineux ni trop évolutif.

Si l'imagerie ne détecte pas d'extension à la fossette cochléaire et si l'audition est encore suffisante, une chirurgie tentant de préserver l'audition pourra alors être réalisée.

2) Matériel et Méthode

31 patients (14 hommes, 17 femmes, moyenne d'âge 51,8 ans) porteurs d'un schwannome vestibulaire ont bénéficié d'une IRM sur un appareil 1,5 T (Magnetom Vision Siemens, Erlangen, Germany) avant une chirurgie avec tentative de préservation de l'audition.

Les schwannomes vestibulaires étaient de stade I ou de stade II mesurant moins de 10 mm dans l'angle ponto-cérébelleux.

Une séquence, en coupes fines spin écho T1 dans le plan axial, centrée sur le conduit auditif interne avant injection de gadolinium a été utilisée avec les paramètres suivants.

TR/TE (550/20)

2 mm d'épaisseur de coupe réelle

FOV 280 x 280

matrice 300 x 512

3 acquisitions

temps d'acquisition 5 mm 10s

Une séquence CISS (Constructive Interference in Steady State) a été utilisée avec les paramètres suivants (5):

TR/TE (12,25/5,90)

0,7 mm d'épaisseur de coupe réelle

FOV 165 x 220

matrice 230 x 512

voxel à l'acquisition 0,7 x 0,42 x 0,7 mm

temps d'acquisition 8 mm 40s

Une séquence spin écho T1 en coupes fines HR dans le plan axial après injection de gadolinium, identique à la séquence avant injection était ensuite réalisée.

16 schwannomes de grade I (intra-canalaires) et 15 schwannomes de grade II (avec une extension dans l'angle ponto-cérébelleux de moins de 10 mm) ont été explorés.

Le plus grand axe de la tumeur, incluant l'extension intra-canalair, multiplié par le plus petit axe transverse a permis de retrouver des tumeurs comprises entre 3 x 2 mm et 22 x 10 mm avec une moyenne à 12,2 x 7,3 mm. Tous les schwannomes inclus dans cette étude présentaient une extension au fond du conduit auditif interne.

Tous les patients avaient été sélectionnés pour bénéficier d'une chirurgie à type de préservation de l'audition, c'est-à-dire que leur audition était encore utile, les critères de préservation étaient basés sur la classification développée par Wade and House (6): ces critères de sélection pour la tentative de préservation de l'audition étaient stricts (1, 2, 7, 8) : petit neurinome de grade I ou II mesurant moins de 10 mm dans l'angle ponto-cérébelleux avec une audition utile définie par une surdité < 50

dB et un score de discrimination supérieure à 70% ainsi qu'un bon état général. Tous les patients avaient une motricité faciale normale avant la chirurgie.

Deux observateurs indépendants ont analysé séparément l'extension du schwannome au fond du conduit auditif interne en particulier l'aspect de la fossette cochléaire. La fossette cochléaire est le canal contenant le nerf cochléaire qui part du fond du conduit auditif interne et se dirige vers la cochlée. Ce canal doit être bien différencié du canal facial qui est situé au-dessus de la fossette cochléaire dans sa portion pré-géniculée.

Des coupes fines HR sur la séquence spin écho T1 ont été très utiles pour séparer ces deux éléments, de même les coupes infra-millimétriques sur la séquence CISS (0,7 mm) étaient indispensables pour différencier la région pré-géniculée, de la fossette cochléaire.

L'extension du schwannome à la fossette cochléaire était considérée comme positive en imagerie lorsqu'il y avait un rehaussement de la région de la fossette cochléaire sous la forme d'une petite prise de contraste en crochet (hook shape sign) sur la série spin écho T1 axiale après injection de gadolinium.

L'extension à la fossette cochléaire était considérée comme négative lorsqu'il n'y avait pas de rehaussement de la fossette cochléaire sur la série après injection de gadolinium.

Le fond du conduit auditif interne et la fossette cochléaire ont été également analysés sur la séquence CISS:

- la fossette cochléaire était considérée comme normale si le nerf cochléaire pouvait être identifié au sein d'un signal liquidien normal au niveau du fond du conduit auditif interne à l'endroit où le nerf cochléaire entre dans la fossette cochléaire.
- la fossette cochléaire était considérée comme anormale lorsqu'il y avait une disparition du signal liquidien à ce niveau ne permettant plus une analyse correcte du nerf cochléaire.

Cette analyse de la fossette cochléaire était réalisée par comparaison avec le côté controlatéral normal.

La chirurgie a été réalisée dans un délai de trois mois maximum après l'imagerie (délai moyen dix jours). Cette chirurgie avec tentative de préservation de l'audition consistait en une voie combinée associant une voie sus-pétreuse et une voie rétro-sigmoïde (9). Cette voie combinée était pratiquée par une association de deux équipes chirurgicales : une équipe d'otologistes spécialisés en base du crâne et une équipe de neurochirurgiens. Cette voie combinée a été réalisée dans 29 cas. Dans 2 cas, une voie d'abord sus-pétreuse seule a pu être réalisée pour des neurinomes de très petite taille.

Le but de cette méthode chirurgicale est de pratiquer l'exérèse complète du schwannome vestibulaire en préservant les autres structures nerveuses du conduit auditif interne en particulier le nerf facial et le nerf cochléaire, branche du nerf vestibulo-cochléaire. La préservation du nerf

cochléaire permet de préserver l'audition. La chirurgie était réalisée sous monitoring du nerf facial et monitoring auditif (potentiels évoqués auditifs)

La sensibilité, la spécificité, la valeur prédictive positive et négative de l'extension à la fossette cochléaire ont été calculées en comparaison avec les résultats de la chirurgie et de l'audition évaluée après trois mois (10,11). La préservation de l'audition a été considérée comme réussie si la diminution de l'audition était inférieure à 30 dB, avec un score de discrimination supérieur à 50 dB (9, 11).

Un Chi square test a été utilisé pour l'analyse statistique.

3) Résultats

Les observations pour les deux reviewers ont été identiques dans tous les cas, aucune différence inter-observateurs n'a été relevée.

Treize patients sur 31 présentaient une prise de contraste de la fossette cochléaire sur les images spin écho T1 HR après injection de gadolinium. Dans cinq cas, la chirurgie a montré des lésions du nerf cochléaire, ces lésions correspondaient soit à une extension du schwannome dans la fossette cochléaire le long de la branche cochléaire, soit à un englobement complet du nerf par le schwannome au niveau de la fossette cochléaire. Dans ces 5 cas, le nerf cochléaire n'a pas pu être préservé durant la chirurgie.

Dans les 8 autres cas, la dissection du nerf cochléaire a été très difficile, du fait de la proximité dans la fossette cochléaire de la tumeur et du nerf cochléaire. Le chirurgien a tenté de préserver le nerf pendant la dissection mais les potentiels évoqués auditifs ont disparu pendant la procédure et une surdité totale a été observée après chirurgie.

Dans aucun cas, pour les 13 patients présentant une prise de contraste de la fossette cochléaire en imagerie, l'audition n'a pu être préservée.

Dix huit patients sur 31 ne présentaient pas d'extension à la fossette cochléaire en imagerie en particulier sur la séquence spin écho T1 HR après injection de gadolinium. Dans ces 18 cas, le chirurgien a identifié un aspect normal de la fossette cochléaire pendant la chirurgie et a pu préserver le nerf cochléaire durant la dissection. L'audition a été évaluée pour ces patients trois mois après chirurgie: la tentative de préservation de l'audition a été considéré comme un succès pour 15 patients, pour 9 patients les niveaux auditifs étaient similaires à ceux observés avant la chirurgie et 6 patients présentaient simplement une très discrète diminution de l'audition de moins de 30 dB

avec un score de discrimination supérieure à 50 dB. La tentative de préservation de l'audition a été considérée comme un échec pour trois patients qui présentaient une surdité complète après chirurgie.

Aucune extension au nerf facial n'a été observée pendant la chirurgie et tous les patients ont conservé une fonction normale du nerf facial après la chirurgie.

La sensibilité d'une prise de contraste de la fossette cochléaire lors d'une tentative de préservation l'audition est de 81% avec une spécificité de 100%. La valeur prédictive positive est de 100% avec une valeur prédictive négative de 83%. Le résultat de la chirurgie est significativement différent chez les patients présentant une prise de contraste de la fossette cochléaire par rapport à ceux ne présentant pas cette extension à la fossette cochléaire ($p < 0.001$).

Six patients avec une extension à la fossette cochléaire avaient un schwannome de grade I et 7 patients, un schwannome de grade II. Nous n'avons pas mis en évidence de différence statistique entre schwannome de grade I et II et la préservation de l'audition ($p > 0.05$).

De même nous n'avons pas observé de corrélation entre la taille du schwannome et la préservation de l'audition ($p > 0.05$).

Pour les 13 patients présentant une prise de contraste la fossette cochléaire sur les images spin echo T1 HR après injection de gadolinium, la séquence 3D HR T2 (CISS) a été considérée comme anormale avec un nerf cochléaire non identifié et une absence de signal liquidien au niveau de la fossette cochléaire. Pour les 18 patients qui ne présentaient pas de prise de contraste de la fossette cochléaire, les observateurs ont décrit une fossette cochléaire normale sur la séquence CISS dans 14 cas, pour les 4 autres cas, la fossette cochléaire n'avait pas pu également être correctement analysée sur la séquence CISS, du fait de l'absence de signal liquidien dans le conduit auditif interne qui apparaissait de petite taille. Pour ces 4 cas, la fossette cochléaire controlatérale n'avait pas pu être bien analysée et la distinction des quatre structures nerveuses dans le fond du conduit avait été également difficile du côté controlatéral, du fait d'une petite taille du conduit auditif interne.

4) Discussion - Conclusion

Le traitement d'un schwannome vestibulaire de petite taille ou de taille moyenne n'est justifié que si les résultats sont meilleurs que l'histoire naturelle de la tumeur elle-même, ce traitement nécessite de respecter à la fois la fonction du nerf facial et l'audition (8, 11).

De nos jours, certaines équipes, ne tentent pas de préserver l'audition dès que le schwannome vestibulaire atteint le fond du conduit auditif interne même si celui-ci est de petite taille (12); ces équipes ne tentent de préserver l'audition que si le fond du conduit auditif interne est intact. D'autres équipes tentent par contre de proposer une chirurgie de préservation de l'audition, même si le schwannome atteint le fond du conduit auditif interne, lorsque l'audition du patient est encore bonne (9, 13, 14).

Cependant aucun critère ne permettait d'évaluer le statut et l'état du nerf cochléaire avant la chirurgie et parfois celui-ci ne pouvait être préservé lors de la chirurgie, entraînant alors une surdité complète en post-opératoire. Ainsi donc, dans certains cas, la chirurgie avec tentative de préservation de l'audition est un succès tandis que dans d'autres cas, c'est un échec, alors même que ces schwannomes présentent exactement les mêmes critères cliniques, audiométriques et radiologiques. On peut supposer que l'absence de préservation de l'audition lors de la chirurgie reflète la présence d'une extension tumorale à la fossette cochléaire, à proximité du nerf cochléaire qui ne peut donc être préservé (16).

Cette étude a tenté d'évaluer l'état du nerf cochléaire avant chirurgie afin de dégager les critères d'extension à la fossette cochléaire en IRM, une corrélation de ces critères avec la probabilité de préservation de l'audition a été effectuée.

L'analyse de la fossette cochléaire sur les images IRM HR a permis de décrire un nouveau signe d'extension à la fossette cochléaire lorsque le schwannome atteint le fond du conduit auditif interne avec une prise de contraste de la fossette cochléaire sur les images spin écho T1 HR après injection de gadolinium.

Afin de permettre la détection de ce mince rehaussement, l'utilisation de séquence HR en spin écho T1 apparaît nécessaire avec des coupes fines (2 mm) et une matrice élevée à 512. Ces paramètres techniques produisent un temps d'acquisition assez long (5 mn 10 s) mais permettent d'obtenir une excellente résolution spatiale qui nous a permis une analyse minutieuse du fond du conduit auditif interne en particulier de la fossette cochléaire. Le rehaussement de la fossette cochléaire sous la forme d'une fine prise de contraste « en crochet » est mieux détectée sur les séries axiales après injection de gadolinium que sur les séries coronales, ce fait s'explique par l'orientation anatomique de la fossette cochléaire qui est située dans un plan axial.

La séquence CISS permet de faire la même observation que sur la série spin echo T1 après injection de gadolinium axiale, elle permet également de détecter si la fossette cochléaire est normale ou anormale. Cependant chez quatre patients (13%), l'analyse de la fossette cochléaire n'était pas possible, en séquence CISS, à cause d'une faible largeur du conduit auditif interne. Dans ce cas, les

structures nerveuses intra-canalaires n'étaient pas bien identifiées dans le conduit auditif interne, en particulier les observateurs ne parvenaient pas à analyser le nerf cochléaire dans la fossette cochléaire. Cette étude a montré que tous les schwannomes vestibulaires étaient détectés par la séquence CISS, le dépistage des petits schwannomes vestibulaires semble possible avec la séquence CISS seule (17, 18). Par contre la séquence CISS ne permet pas toujours de différencier le nerf facial en première portion, de la fossette cochléaire.

Ainsi les deux séquences (la séquence HR spin echo T1 après injection de gadolinium axiale et la séquence CISS) sont utiles pour l'analyse du fond du conduit auditif interne mais la séquence axiale en spin echo T1 HR après injection de gadolinium est plus sensible pour préjuger de l'état de la fossette cochléaire. L'injection de contraste sur la série T1 HR permet de montrer le rehaussement tumoral autour du nerf cochléaire dans la fossette cochléaire alors que la séquence 3D HR T2 suggère simplement la présence tumorale quand une structure normale (dans ce cas le nerf cochléaire) n'est pas identifiable, ceci pose d'ailleurs un problème lorsque le conduit auditif interne est de petite taille et que de la structure normale ne peut pas être identifiée.

Il existe une différence statistique significative concernant la préservation de l'audition entre le groupe présentant une extension à la fossette cochléaire positive et celui présentant une extension à la fossette cochléaire négative, avec une spécificité et une valeur prédictive positive de 100%.

Le nerf cochléaire n'a pu être préservé lors de la chirurgie chez aucun patient présentant une extension à la fossette cochléaire positive et tous les patients de ce groupe ont présenté une surdité complète après la chirurgie (13/13 patients). Alors que, la préservation de l'audition a été jugée suffisante pour 83% des patients qui ne présentaient pas d'extension à la fossette cochléaire en imagerie (15/18 patients). Seuls 17% (3/18 patients) ont présenté une diminution importante de leur audition.

Cette prise de contraste de la fossette cochléaire sur les images T1 HR semble un signe fiable pour l'analyse de l'état du nerf cochléaire avant la chirurgie, dans le but de prévoir sa préservation ou non durant la chirurgie.

Ce signe n'a jamais donné de faux positif:

Lorsqu'il existe une extension à la fossette cochléaire, l'audition n'a jamais pu être préservée. L'analyse minutieuse de l'extension du schwannome au fond du conduit auditif interne dans la fossette cochléaire apparaît donc capitale dans la prise en charge du schwannome vestibulaire: si l'IRM montre que le nerf cochléaire ne pourra pas être préservé puisqu'il existe une prise de contraste de la fossette cochléaire, le chirurgien peut alors informer son patient et choisir une prise

en charge adaptée: chirurgie sans tentative de préservation de l'audition (voie translabyrinthique), radio-chirurgie ou surveillance simple.

Par contre une chirurgie avec tentative de préservation de l'audition peut-être proposée avec une forte probabilité de succès lorsqu'il n'y a pas d'extension à la fossette cochléaire, le chirurgien préviendra son patient qu'il existe un faible risque d'échec (17%). Les causes de ces échecs sont nombreuses comme les complications vasculaires avec une interruption de la circulation sanguine de la cochlée (16, 19) ou un traumatisme minime du nerf cochléaire durant la dissection (7).

La mise au point d'une séquence T1 haute résolution a permis de montrer que l'extension à la fossette cochléaire du schwannome vestibulaire était un signe spécifique, prédictif de l'impossibilité de préservation du nerf cochléaire durant la chirurgie.

Cette étude, publiée en 2000 dans *Radiology*, suggérait que ces conclusions soient validées par un plus grand nombre de cas. Dans notre institution, nous n'avons pas pu réaliser cette étude complémentaire car ces résultats initiaux ont d'emblée entraîné une modification de la prise en charge des schwannomes vestibulaires: dès que l'IRM suspecte une extension à la fossette cochléaire, aucune chirurgie avec tentative de préservation de l'audition n'est réalisée, les chirurgiens s'orientent vers un autre type de chirurgie sans préservation de l'audition ou vers la radio-chirurgie lorsque les caractéristiques du neurinome l'autorisent.

Sur le plan international, cette notion d'extension à la fossette cochléaire a été adoptée par la plupart des équipes pour décider de tenter ou non une chirurgie de préservation de l'audition (20, 21, 22). Ces résultats ont donc entraîné d'emblée une modification de la prise en charge des schwannomes vestibulaires.

5) Article

Cette étude a fait l'objet d'une publication :

Cochlear Fossa enhancement at MR evaluation of vestibular schwannoma : correlation with success at hearing preservation surgery.

F. Dubrulle, O. Ernst, C. Vincent, F M. Vaneecloo, JP. Lejeune, L. Lemaitre
Radiology 2000; 215: 458-462

II. MISE AU POINT D'UNE SEQUENCE DE DIFFUSION HR POUR LA RECHERCHE DE RECIDIVE DE CHOLESTEATOME ET LA SURVEILLANCE DES OREILLES OPEREES.

1) Problématique

La surveillance en imagerie, après chirurgie d'un cholestéatome d'oreille, est un examen courant permettant principalement de rechercher une récurrence de cholestéatome mais aussi d'analyser la plastie ossiculaire (23).

Pour analyser l'oreille opérée, il faut comprendre les différentes techniques opératoires du cholestéatome.

Pour les cholestéatomes limités, une technique fermée est le plus souvent réalisée avec un abord postérieur de la mastoïde et une préservation du bord postérieur et supérieur du conduit auditif externe. On considère également qu'il s'agit d'une technique fermée lorsque le bord supérieur et postérieur du conduit auditif externe a été reconstruit. Cet acte s'accompagne, le plus souvent, d'une greffe cartilagineuse pour reconstruire le tympan.

Pour les cholestéatomes étendus, une technique ouverte est réalisée avec constitution d'une cavité d'évidement pétro-mastoïdienne et, le plus souvent, reconstitution d'une micro-caisse.

Classiquement, les cholestéatomes bénéficient de 2 temps opératoires : le premier temps comprend l'ablation du cholestéatome, le deuxième temps réalise une révision de la caisse et permet une plastie ossiculaire (23, 24).

Une chirurgie en un seul temps, associant lors du même geste ablation du cholestéatome et plastie ossiculaire, est de plus en plus souvent réalisée pour des cholestéatomes de petite taille.

Dans tous les types d'intervention, une surveillance en imagerie est nécessaire. L'examen de référence est le scanner spiralé, en constantes osseuses en haute résolution (23, 24, 25). Ce scanner permet en cas de négativité d'éviter toute intervention ultérieure et de continuer la surveillance en imagerie (26, 27, 28, 29).

La conduite à tenir est fonction des résultats du scanner (36):

► **pas de signe de récurrence cholestéatomateuse en TDM**

La TDM haute résolution sur l'oreille a une excellente valeur prédictive négative : s'il n'y a aucune opacité suspecte dans la caisse, la probabilité d'un cholestéatome résiduel ou récidivant est extrêmement faible. (27,29)

On considère, en imagerie, qu'il n'y a pas de suspicion de récurrence de cholestéatome s'il n'y a aucune opacité suspecte dans la caisse ou s'il n'y a qu'un simple épaissement tissulaire en cadre, à bords concaves, dans tous les plans, correspondant à un épaissement résiduel banal fibro-inflammatoire.

► **comblement tissulaire partiel de la caisse**

Il faut analyser les contours de ce comblement (29) :

- Soit il s'agit d'une opacité en boule isolée correspondant à une perle de cholestéatome (bords convexes dans tous les plans), cet aspect pose peu de problème diagnostique. Le scanner, grâce à ses coupes très fines (environ 0,6 mm), permet même de détecter de très petites perles de cholestéatome jusqu'à 2 mm.

- Soit il s'agit d'une opacité en plage, à bords convexes dans tous les plans, souvent antro-atticale. Dans ce cas, cette opacité est suspecte d'être une récurrence surtout si elle s'accompagne d'une lyse du tegmen ou des canaux semi-circulaires ou d'un déplacement de la plastie ossiculaire. On soulignera l'intérêt de pouvoir comparer avec un scanner de référence.

Ce type d'opacité en plage, à bords convexes, nécessite une nouvelle intervention confirmant dans la plupart des cas la récurrence ; parfois cette opacité peut correspondre à un granulome à cholestérine. Il faut être prudent si ce type d'opacité de l'attique s'accompagne d'une déhiscence importante du tegmen en regard et dans ce cas réaliser une IRM pour éliminer une méningo-encéphalocèle.

- Soit il s'agit d'une opacité nodulaire à bords convexes au contact de la greffe cartilagineuse.

Il faut savoir analyser la greffe cartilagineuse dans tous les plans (intérêt du scanner hélicoïdal) car sur une coupe axiale la greffe peut avoir un aspect en boule mais, le plus souvent, en coronal, elle prend un aspect allongé caractéristique.

Parfois une organisation de la greffe cartilagineuse peut prendre un aspect nodulaire même dans le plan coronal, ceci pose problème pour différencier cette organisation de la greffe d'une perle de cholestéatome au contact de la greffe.

Souignons, là encore, l'intérêt d'avoir un scanner de référence ou sinon, éventuellement, de pratiquer un contrôle TDM à 3 mois ou encore de proposer une IRM si l'opacité est de taille suffisante.

- Soit il s'agit d'une opacité en plage à bords concaves dans tous les plans.

L'aspect n'est alors pas en faveur d'une récurrence, surtout s'il n'y a aucune lyse apparue et pas de bascule de l'ossiculoplastie, on effectuera un scanner de contrôle 6 mois plus tard pour vérifier l'absence d'évolutivité.

► opacités en plage dont les bords sont peu analysables et opacités totales de la cavité opératoire.

Dans ces cas, le scanner seul est souvent insuffisant (24) sauf si l'on dispose d'un examen de référence qui montre l'augmentation de taille de la lésion ou l'apparition de lyse confirmant la récurrence cholestéatomateuse.

Si on ne dispose pas d'élément de comparaison, l'IRM devient un examen très intéressant pour analyser ces opacités (24, 30, 32, 33) qui peuvent être du tissu fibro-inflammatoire, du cholestéatome, parfois les 2 associés ou parfois même un granulome à cholestérine (30, 33).

Ces 3 éléments présentent tous un hypersignal en T2, par contre le granulome à cholestérine est en hypersignal T1 spontané facilitant son diagnostic.

Or, seule une récurrence avérée de cholestéatome nécessite une chirurgie, la présence de tissu fibro-inflammatoire, voire même d'un granulome à cholestérine ne nécessite pas, la plupart du temps, de chirurgie (31).

Le cholestéatome et le tissu fibro-inflammatoire sont en hyposignal T1 mais le cholestéatome ne se réhausse pas après injection de Gadolinium même au temps tardif (34, 35). Le tissu fibro-inflammatoire lui se réhausse après injection de Gadolinium mais le plus souvent assez tardivement (plus d'une demi-heure), un T1 tardif après injection permet donc de différencier ces 2 pathologies mais le problème est que le temps d'examen est long (environ 1h) (35, 36).

Des séquences de diffusion sont également intéressantes pour différencier le cholestéatome du tissu fibro-inflammatoire (37, 38, 39). Le cholestéatome et le tissu fibro-inflammatoire ne présentent pas le même coefficient de diffusion, le cholestéatome diffuse mal, il présente un hypersignal sur les séquences de diffusion à b 800 ou b 1000 alors que le tissu fibro-inflammatoire diffuse mieux, ne présentant pas d'hypersignal sur les séquences de diffusion à b 800 ou b 1000.

Cependant les séquences de diffusion EPI ont une faible résolution avec une épaisseur de coupes de 3 à 4 mm et une matrice faible ne permettant d'analyser de façon fiable que des opacités supérieures

à 8 mm. De plus il existe d'importants artefacts de distorsion dus à l'interface entre l'os mastoïdien et l'air.

L'IRM apparaît donc intéressante en deuxième intention pour éviter une nouvelle chirurgie et faire la part entre cholestéatome récidivant, tissu fibro-inflammatoire, granulome à cholestérine.

	T2	T1	T1 Gado classique	T1Gado tardif	Diffusion b 800 – b 1000
Cholestéatome	hypersignal	hyposignal	-	-	hypersignal
Tissu fibro-inflammatoire	hypersignal	hyposignal	-	+	hyposignal
Granulome à cholestérine	hypersignal	hypersignal	-	-	hyposignal

Il nous est apparu nécessaire de mettre au point une séquence de diffusion HR adaptée à l'étude de l'oreille et de la base du crâne.

2) Matériel et Méthode

Notre but a donc été de développer une séquence de diffusion adaptée à l'oreille et à la base du crâne. Cette étude a été réalisée en collaboration avec un ingénieur physicien, spécialiste en IRM (Société Philips).

La séquence de diffusion EPI est caractérisée par un train d'écho de gradients avec un temps d'écho court, un bon rapport signal sur bruit mais des artefacts de susceptibilité magnétiques importants.

La séquence en diffusion TSE est un Turbo Spin Echo, caractérisée par un train d'impulsion de 180 degrés. Elle a, par contre, un temps d'écho plus long que la séquence EPI, et son rapport signal sur bruit est plus faible. Cependant, les images obtenues par cette séquence ne présentent pas les artefacts de susceptibilité constatés sur les séquences EPI.

Le besoin exprimé, était avant tout de gagner en résolution spatiale sur une région de l'oreille qui, du fait de la présence d'interfaces tissu-air, os-air ..., provoque énormément d'artefacts de

susceptibilité. Le choix s'est porté naturellement sur une séquence pondérée en diffusion TSE, celle-ci a été segmentée (multishot) pour atteindre la matrice d'acquisition voulue en un temps et avec un rapport signal/bruit jugé convenable.

Lorsque cette séquence a été mise au point, nous avons réalisé une étude portant sur 24 patients. Le but de cette étude était de valider l'intérêt des séquences de diffusion pour la recherche de récurrence de cholestéatome sur ces oreilles opérées comblées et surtout de montrer l'intérêt d'un nouveau type de diffusion beaucoup moins artéfactée et avec une meilleure résolution spatiale.

Patients

24 patients aux antécédents de cholestéatome opéré en technique ouverte ou en technique fermée, ont été inclus dans une étude longitudinale (10 femmes, 14 hommes, moyenne d'âge 44 ans, 15 – 71 ans). Ils ont bénéficié dans un premier temps d'un scanner d'oreilles haute résolution sur un appareil double barrette (Philips CT Twin Flash) avec reconstructions multi-planaires. Ce scanner a montré chez tous ces patients une opacité partielle ou complète de l'oreille moyenne. Ces patients ont donc bénéficié dans un second temps d'une IRM d'oreilles (délai entre le scanner et l'IRM inférieur à 1 mois). Dans les suites, une nouvelle chirurgie d'oreille moyenne correspondant à un 2^{ème} ou 3^{ème} temps a été réalisée (délai inférieur à 5 mois entre l'IRM et la chirurgie). Le consentement éclairé des patients, pour la participation à cette étude, a été obtenu dans tous les cas.

Paramètres techniques

L'IRM a été réalisée sur un appareil 1,5 Tesla (Philips Intera). Les patients ont bénéficié:

- d'une séquence TSE T2 haute résolution axiale et coronale (14 coupes de 1.7 mm, FOV 230, matrice 336 x 512, voxel à l'acquisition 0,68 x 0,95 x 1,7, TR 3500, TE 120, TSE factor 17, flip angle 90, NSA 6, 4.26 mn),
- d'une séquence Spin Echo T1 avant injection de Gadolinium coronale (14 coupes de 1.7 mm, FOV 250, matrice 336 x 512, voxel à l'acquisition 0,80 x 1,15 x 1,7, TR 500, TE 16, flip angle 73, NSA 3, 4.59 mn),
- d'une séquence de diffusion TSE multishot positionnée en coronal (12 coupes de 2.5 mm, FOV 230, matrice 192 x 140, voxel à l'acquisition 1,20 x 1,23 x 2,5, TR 3000, TE 85, TSE factor 14, NSA 1, b-value 0 and 800 sec/mm², 3.38 mn, sans réalisation de carte ADC),
- d'une séquence Spin Echo T1 après injection de Gadolinium axiale et coronale (même paramètres que pour la série avant injection)

- le patient est ensuite sorti de la machine et est repris une 1/2 à 3/4 d'heure après pour une série Spin Echo T1 coronale tardive (même paramètres).

Evaluation

Deux observateurs ont évalué indépendamment les IRM. Le signal du tissu de comblement est analysé en T2, T1 avant injection, T1 après injection tardive et sur les séries en diffusion à B0 et B800. La taille de l'opacité est notée ainsi que la nature du comblement, comblement localisé ou comblement complet.

Si la lésion se présente en hypersignal T1 spontané sans prise de Gadolinium et avec un hyposignal sur la série en diffusion à B800, l'opacité est considérée comme un granulome à cholestérine. Si l'opacité est en hyposignal T1 avant injection, en hypersignal T2, si elle se rehausse après injection au temps tardif et si elle est en hyposignal à B800 sur la série en diffusion, l'opacité est considérée comme du tissu fibro-inflammatoire sans récurrence de cholestéatome. Si l'opacité est en hyposignal T1 avant injection, qu'elle ne se rehausse pas après injection de Gadolinium même au temps tardif et si elle est en hypersignal sur la série en diffusion à B800, l'opacité est considérée comme une récurrence de cholestéatome.

Les 24 patients ont bénéficié d'une chirurgie qui a été réalisée dans un délai de 1 à 5 mois après l'IRM et une comparaison a été faite entre les résultats opératoires et les résultats de l'IRM. Les résultats de la chirurgie sont classés en récurrence de cholestéatome ou pas de récurrence décelée.

Evaluation statistique

Pour chaque observateur, la sensibilité, la spécificité, les valeurs prédictives positive et négative ont été évaluées séparément pour la séquence tardive après injection de gadolinium et pour la séquence de diffusion TSE, comparées aux résultats de la chirurgie.

3) Résultats

Sur les 24 patients, 10 patients ont été considérés comme sans récurrence de cholestéatome en IRM, c'est à dire avec un hyposignal T1 avant injection de Gadolinium et une prise de Gadolinium tardive de l'opacité ainsi qu'une diffusion positive c'est à dire un hypersignal sur la série en B800 comparativement à celle en B0. Sur ces 10 cas, aucun cholestéatome n'a été retrouvé lors de la chirurgie. (VPN 100%)

14 patients ont été considérés comme ayant une récurrence de cholestéatome en IRM, c'est à dire que l'opacité se présentait en hyposignal T1 avant injection, ne présentait aucun rehaussement même sur la série tardive ¾ d'heure à une heure après injection de Gadolinium et cette opacité ne diffusait pas, c'est à dire qu'elle se présentait en hypersignal sur la série à B800. La taille de ces opacités était comprise entre 6 et 24 mm. Sur ces 14 cas, 13 récurrences de cholestéatome (13 VP) ont été retrouvées lors de la chirurgie. Les renseignements fournis par l'IRM concernant la taille et la localisation du cholestéatome étaient concordants aux constatations de la chirurgie.

Dans 1 cas (1FP), l'opacité de 7 x5 mm décrite au niveau de l'attique ne correspondait pas à une récurrence de cholestéatome mais à une organisation de poudre d'os qui avait été mise en place lors de la chirurgie initiale pour combler une fistule du canal semi-circulaire latéral. (VPP 92.8%)

Nous n'avons noté aucune discordance entre l'analyse IRM des 2 observateurs et nous n'avons noté également aucune discordance entre les données de la série en Gadolinium tardif (qui est considérée à l'heure actuelle comme la référence pour la recherche d'une récurrence de cholestéatome) par rapport à la série en diffusion TSE. Le cas de FP de notre étude était faux positif pour la série en gadolinium tardif et pour la série de diffusion TSE.

Très peu d'artéfacts de susceptibilité ont été notés sur cette séquence de diffusion TSE, en particulier, il n'y avait pas d'artéfacts aux interfaces air/os.

Au total, les résultats de cette série en diffusion TSE sont identiques à celle de la série en gadolinium tardif : la sensibilité est de 100 %, la spécificité de 91 %, la valeur prédictive positive de 92,8 % et la valeur prédictive négative de 100 %.

4) Discussion et Conclusion

Le but de cette étude a été de mettre au point une séquence de diffusion HR adaptée à l'étude de l'oreille, de valider la fiabilité des séquences en diffusion TSE pour la détection d'une récurrence de cholestéatome par rapport à du tissu fibro-inflammatoire, de comparer cette séquence à la séquence considérée actuellement comme une séquence de référence dans la recherche de cholestéatome résiduel qui est la séquence en Gadolinium tardif (35). La valeur de cette séquence en Gadolinium tardif a été montrée par plusieurs études (35, 36).

Sur le plan histologique, un cholestéatome est un agrégat de débris épidermiques au sein d'une poche d'épithélium stratifié (40)

Le tissu cholestéatomateux ne prend jamais le Gadolinium, par contre le tissu fibro-inflammatoire se rehausse après injection de Gadolinium mais souvent très tardivement du fait d'une part fibreuse importante ou de possibles phénomènes de micro-thrombose (35). Il est donc nécessaire d'attendre au minimum une demi-heure à trois-quarts d'heure avant de pouvoir réaliser cette série tardive. Une série récente, a montré une VPP de cette série en gadolinium tardif de 92.6 % sur 18 patients (35) et une série personnelle de « 17 patients » avait révélé, pour cette même séquence tardive après injection, une VPP à 88% et une VPN de 100 % (36).

Les résultats de cette étude confirment la fiabilité de la série en Gadolinium tardive comme l'avaient déjà montré les précédentes. Cependant la réalisation d'une telle séquence est très contraignante puisqu'elle nécessite soit une immobilisation de la machine pendant un temps important, $\frac{3}{4}$ d'heure à 1 h soit même, comme nous l'avons fait dans cette étude, de sortir le patient et de lui faire repasser plus tardivement cette série tardive. Ce type d'examen est très long à la fois pour le patient, pour l'équipe médicale et pour l'occupation de la machine. Il y aurait donc un intérêt non négligeable à trouver une séquence moins contraignante en temps avec d'aussi bons résultats.

Plusieurs études préliminaires avaient permis de remarquer l'intérêt des séquences de diffusion pour la recherche de récurrence de cholestéatome (37, 38, 39). En effet, le cholestéatome ne diffuse pas, c'est à dire qu'il reste en hypersignal sur la série à b 800 ou à b1000, par contre le tissu fibro-inflammatoire diffuse et apparaît donc en hyposignal sur la série à b 800 ou à b1000. Des séries préliminaires (39, 41) avaient souligné qu'une simple comparaison visuelle dans ces cas, même sans réalisation de carte ADC, permettait de classer le tissu comme diffusant ou ne diffusant pas. La diffusion étudie les mouvements microscopiques de l'eau (42) et plusieurs explications ont été proposées pour expliquer l'hypersignal du cholestéatome (c'est à dire sa non diffusion) comme celui des kystes épidermoïdes (43, 44), deux mécanismes sont principalement discutés: l'hypercellularité du cholestéatome et l'effet T2 « like ». Comme dans les kystes épidermoïdes, la cause exacte de cette restriction de diffusion du cholestéatome n'est pas réellement connue (45).

Mais ce qui est le plus important est que, seul le tissu cholestéatomateux présente un hypersignal en diffusion, tous les autres tissus qui peuvent être présents après une chirurgie de l'oreille: tissu fibro-inflammatoire, tissu granuleux, granulome à cholestérine, liquides séreux, sont en hyposignal en diffusion, permettant une distinction facile entre le cholestéatome et les autres tissus.

Par contre, toutes les études précédentes qui avaient montré l'intérêt de la diffusion pour différencier le tissu fibro-inflammatoire du cholestéatome, soulignaient également la faible résolution des séquences de diffusion EPI avec une faible matrice (maximum 96 x 200), une

épaisseur de coupe importante (4 mm) et surtout beaucoup d'artéfacts de susceptibilité créant des hypersignaux aux interfaces air-os ou en fosse postérieure: artefacts de susceptibilité, artefacts d'encodage de phase. Ceci est dû à la haute densité de l'os de l'oreille associée aux nombreux interfaces air-os présents dans la mastoïde et dans les cavités de l'oreille moyenne.

La première nécessité de cette étude a donc été la mise au point d'une séquence en diffusion de meilleure résolution spatiale et avec le moins possible d'artéfacts en gardant un rapport signal sur bruit correct. Il nous est apparu rapidement que les séquences en diffusion TSE étaient beaucoup moins artéfactées que les séquences en diffusion EPI. De plus, un positionnement de cette séquence de diffusion TSE en coronal donne encore moins d'artéfacts aux interfaces air-os qu'un positionnement en axial. Grâce à ce type de séquence, nous avons pu analyser correctement toutes les opacités, y compris de petites opacités jusqu'à 6 mm.

La résolution spatiale des séquences en diffusion TSE, avec une matrice à 256 et une épaisseur de coupes à 2,5 mm, est supérieure à celle d'une diffusion EPI, elle reste cependant inférieure à celle d'une séquence classique Spin Echo T1 haute résolution avec des coupes à 1,5 mm et une matrice 512 pour une acquisition de 4.50 mn. Cependant cette différence de résolution n'a pas gêné l'interprétation car toutes les opacités étaient analysables. La plus petite opacité de notre série est de 6 mm.

Par contre depuis 2006, nous avons eu dans le service plusieurs opacités de moins de 5 mm à analyser en IRM et ces opacités n'étaient pas analysables de façon fiable, que ce soit sur les séries T1 ou en diffusion. Il semble donc que la limite d'analyse correcte d'une opacité de l'oreille moyenne soit pour cette étude de 5 mm (35).

Les résultats de cette étude montrent ainsi la validité de cette séquence en diffusion TSE puisque nous n'avons observé aucune discordance entre la série en diffusion et la série en Gadolinium tardif et de plus il n'y a eu aucun faux négatif (chaque fois que l'IRM a négativé la présence de cholestéatome, aucun cholestéatome n'a été retrouvé en chirurgie soit une valeur prédictive négative de 100 %.)

Nous avons observé 1 faux positif lors de cette étude, qui était à la fois faux positif sur la série en Gadolinium tardif et sur la série en diffusion. Lors de la chirurgie, l'opacité décrite correspondait à une organisation autour de poudre d'os mis en place lors de l'intervention initiale pour combler une fistule du canal semi-circulaire latéral, ce fait expliquait probablement cette absence de prise de contraste et cette absence de diffusion. Cette situation n'était pas connue lors de l'analyse de l'IRM et il conviendrait vraisemblablement de connaître précisément les techniques employées lors de la

chirurgie initiale pour analyser l'IRM, en particulier s'il y a eu mise en place d'un matériel particulier de type poudre d'os.

Lors de la réalisation de cette étude, 11 patients supplémentaires avaient été initialement pressentis pour être inclus dans l'étude, cependant ces 11 patients présentaient une absence de signe de récurrence de cholestéatome en IRM : il y avait une prise de contraste globale des opacités sur la série tardive et une absence d'hypersignal sur les séries en diffusion à b 800. Les 2 équipes de chirurgie, pratiquant l'otologie dans notre centre, n'ont pas souhaité opérer à nouveau ces patients, considérant que les 10 premiers patients présentant les mêmes résultats en IRM n'avaient aucune récurrence de cholestéatome. De plus différentes publications avaient également validé la fiabilité de l'IRM pour éliminer une récurrence de cholestéatome. Ces 11 patients n'ont donc pas pu être inclus dans l'étude finale et ont bénéficié d'une poursuite de la surveillance à la fois clinique et radiologique.

Cette étude montre la fiabilité des séquences en diffusion TSE pour la recherche de cholestéatome récidivant après chirurgie. Les résultats sont identiques à la série de référence qui est la série T1 après injection de Gadolinium tardive et les résultats sont excellents en particulier pour éviter une chirurgie puisque la valeur prédictive négative est de 100 % permettant dans un nombre non négligeable de cas d'éviter une nouvelle chirurgie à ces patients souvent déjà multi-opérés. De plus cette séquence en diffusion TSE coronale présente beaucoup moins d'artefacts que les séries en diffusion EPI.

La question se pose maintenant de savoir si on peut se passer totalement des séquences en Gadolinium tardives qui sont très contraignantes en temps pour ne plus réaliser que cette séquence de diffusion TSE. Cette attitude semble envisageable étant donné les résultats de cette étude.

Depuis sa parution dans Radiology en 2006, plusieurs autres études ont montré des résultats similaires et plusieurs équipes ne réalisent plus actuellement de série tardive T1 après injection de gadolinium et réalisent uniquement une séquence de diffusion (46, 47, 48, 49). Toutes les études publiées ultérieurement se sont également orientées vers des séquences de diffusion non EPI, en particulier des séquences TSE single shot (46, 47)

Pour notre part, nous préférons garder ces 2 séquences spécifiques (Diffusion HR TSE multishot et gadolinium tardif) pour la recherche de cholestéatome dans l'étude des oreilles opérées, en effet il s'agit le plus souvent de cas complexes, multi-opérés et l'apport des 2 séquences nous semble intéressant et complémentaire. En particulier en cas de mise en place de lambeaux graisseux lors

des chirurgies antérieures, en effet le lambeau graisseux présente également un hypersignal sur la série en diffusion à B800 et même si cet hypersignal est plus faible que celui du cholestéatome, nous préférons garder l'étude complémentaire en T1 tardif pour l'analyse des différents tissus composants ces cavités opérées complexes.

Nous préférons également continuer à travailler sur la diffusion TSE multishot plutôt que single shot car, bien que moins rapide, elle permet une meilleure résolution spatiale et un meilleur rapport signal/bruit.

5) Article

Cette étude a fait l'objet d'une publication :

Diffusion-weighted MR Imaging Sequence in the detection of Postoperative Recurrent Cholesteatoma

F Dubrulle, R Souillard, D Chechin, F M Vaneecloo, A Desaulty, C Vincent
Radiology 2006; 238: 604-610

III. DEVELOPPEMENT DE SEQUENCES HR ADAPTEES A L'ETUDE DES EXTENSIONS PERINERVEUSES A LA BASE DU CRANE DANS LES TUMEURS DU NASOPHARYNX

1) Problématique et histoire naturelle des tumeurs du cavum

Le nasopharynx, encore appelé cavum ou rhinopharynx, constitue la partie supérieure haute du pharynx et des VADS. Il est situé juste sous la base du crâne et constitue une zone de carrefour entre les fosses nasales, les VADS, les espaces profonds de la face et surtout la base du crâne et l'endocrâne.

La majeure partie des lésions tumorales du nasopharynx sont des tumeurs malignes ; il est donc capital dans le bilan d'extension d'analyser finement cette zone de carrefour et les multiples extensions possibles, en particulier aux foramens de la base du crâne et aux espaces profonds.

Le nasopharynx a la forme d'un cube ouvert vers l'avant, situé juste sous la base du crâne (sous le sphénoïde). Sa limite supérieure est le corps du sphénoïde en haut se poursuivant vers l'arrière par le clivus puis par le rachis, il est situé en arrière des fosses nasales (les choanes), il poursuit vers le haut l'oropharynx, la limite virtuelle entre naso et oropharynx est le voile du palais, on situe par convention sa limite inférieure à hauteur du bord supérieur de l'arc antérieur de l'atlas (50).

Le nasopharynx est recouvert d'une muqueuse de type épithéliale, qui délimite l'espace muqueux pharyngé.

Cet espace muqueux contient la muqueuse, du tissu lymphoïde, des glandes salivaires accessoires, des reliquats cellulaires de la notochorde, les muscles élévateur et tenseur du voile. Il réalise deux reliefs muqueux:

- en avant, le repli musculo-muqueux ou torus tubaire situé juste en arrière de l'orifice de la trompe d'Eustache ou orifice tubaire
- à un niveau supérieur et postérieur, la fossette de Rosenmüller ou récessus pharyngé latéral.

La configuration du torus tubaire explique pourquoi, sur une coupe axiale la fossette de Rosenmüller apparaît postérieure alors que sur une coupe frontale elle apparaît supérieure par rapport à l'orifice de la trompe d'Eustache (51).

Le tissu lymphoïde est plus développé au niveau du toit du cavum, son volume est plus développé chez l'enfant puis il va décroître pour disparaître à partir de 30 ans.

En profondeur, l'espace muqueux pharyngé est limité par un fascia: le fascia pharyngo-basilaire, structure fibreuse solide qui a un rôle capital pour maintenir ouvert vers l'avant cet espace et réaliser la séparation du nasopharynx avec les espaces profonds de la face (52). Ce fascia pharyngo-basilaire s'insère sur la base du crâne, vers l'avant il s'insère sur la ptérygoïde interne, vers le haut il s'insère sur la face inférieure du rocher, en interne par rapport au foramen ovale, le laissant donc à l'extérieur. Par contre le foramen déchiré avec le relief du canal carotidien se situe en interne par rapport à son insertion. Vers l'arrière, il s'attache sur le tubercule pharyngien de l'occipital et se réfléchit plus bas sur les muscles pré-vertébraux. Il présente au niveau de sa partie postéro-latérale une ouverture laissant le passage au muscle élévateur du voile et à la trompe d'Eustache.

On comprend donc que cette barrière, ce fascia pourtant solide, présente deux points faibles, qui vont être des voies d'extension privilégiées pour les tumeurs (51, 53) :

- une extension possible vers la base du crâne et l'endocrâne par le foramen lacerum même si cet orifice est fermé par un fibrocartilage relativement résistant.
- une extension par l'orifice de la trompe d'Eustache.

Latéralement par rapport au cavum, séparés par le fascia pharyngo-basilaire, se trouvent les espaces profonds de la face : l'espace parapharyngé (préstylien), l'espace carotidien (rétrostylien). En arrière se situe l'espace rétropharyngé, en avant du plan pré vertébral, cet espace rétropharyngé est en continuité sans limite anatomique avec l'espace carotidien. Il contient principalement des ganglions constituant le premier relais lymphatique du cavum.

Type histologique

Les tumeurs du cavum sont principalement des tumeurs malignes, essentiellement des carcinomes épidermoïdes plus ou moins différenciés. Le plus fréquent est le carcinome indifférencié ou UCNT représentant 98% des tumeurs du cavum dans les populations du pourtour méditerranéen, d'Asie du sud-est, de Chine du Sud et de la région de Hong Kong, associant des facteurs génétiques, environnementaux et la présence du virus Ebstein-Barr (EBV). Les patients présentant un UCNT ont des taux élevés d'anticorps anti-EBV (51, 54).

D'autres types de tumeurs malignes peuvent être retrouvés : des adénocarcinomes, des carcinomes adénoïdes kystiques (cylindromes), différents types de sarcomes et des lymphomes.

Les tumeurs bénignes sont plus exceptionnelles, il s'agit principalement d'hypertrophie des formations lymphoïdes du toit du cavum chez l'enfant et l'adolescent, ou du classique kyste de Thornwald, formation kystique bien limitée, médiane du toit du cavum correspondant à une formation d'origine embryologique dérivant de la notochorde.

Signes cliniques révélateurs

Les signes cliniques révélant une tumeur du cavum sont souvent tardifs et discrets au début. Le délai moyen entre les premiers symptômes et la découverte de la tumeur est de huit à dix mois environ.

Le premier signe clinique ORL est le plus souvent une otalgie, une sensation d'oreille bouchée, une surdité de transmission, révélant une otite séreuse par défaut de drainage de la trompe d'Eustache. Toute otite séreuse unilatérale de l'adulte doit donc faire réaliser une imagerie du cavum même si l'examen clinique de celui-ci est normal.

Dans les cas de tumeurs évoluées, des signes neurologiques peuvent être au premier plan: céphalées, atteinte de nerfs crâniens en particulier du trijumeau et de ses branches, parfois une obstruction nasale avec épistaxis ou une adénopathie cervicale sont révélatrices d'une tumeur du cavum.

Histoire naturelle

Les tumeurs naissent le plus fréquemment du récessus latéral ou fossette de Rosenmüller avec un développement plus ou moins exophytique dans la lumière du cavum. La tumeur infiltre ensuite rapidement la sous muqueuse avec une infiltration précoce des muscles en particulier du muscle élévateur du voile. Celui-ci étant responsable de l'ouverture de la trompe d'Eustache, une otite séreuse s'installe rapidement (51).

En profondeur, la tumeur va suivre les points de faiblesse du fascia puis s'étendre dans les espaces profonds (53)

Des adénopathies sont retrouvées dans 90% des cas, d'abord au niveau de l'espace rétropharyngé puis au niveau des seconds relais cervicaux, jugulaires principalement (53).

2) Bilan d'extension en imagerie

Matériel et Méthode

Le but de l'imagerie est de décrire la tumeur du cavum et surtout ses extensions à la base du crâne et aux espaces profonds. L'IRM est plus sensible que le scanner dans la détection des infiltrations périnerveuses débutantes et dans la détection des modifications de la médullaire osseuse (52, 53). Par contre le scanner permet une détection très précoce des petites érosions osseuses.

Nous préconisons donc d'associer un scanner hélicoïdal en coupe fine, en haute résolution et en constantes osseuses sur la base du crâne à une IRM de la base du crâne et du cou.

L'IRM devra être réalisée dans une antenne tête cou et inclure (55) :

- des séquences TSE T2 haute résolution, matrice élevée en axiale et coronale.
- une séquence SE T1 HR sans injection et sans saturation de la graisse qui permettra, associée au scanner, d'analyser les extensions osseuses :
 - la TDM recherchera des irrégularités osseuses ou de petites érosions de la corticale osseuse ainsi que des élargissements des foramens déchiré ou ovale.
 - la série T1 sans injection sans saturation précisera une extension osseuse plus importante avec modification de l'hypersignal normal de la spongieuse (remplacement de la graisse de la spongieuse normalement en hypersignal T1 par une infiltration tumorale en hyposignal T1)
- des séquences SE T1 HR avec injection et saturation de la graisse axiale et coronale, permettant d'analyser les extensions profondes en particulier périnerveuses, vers les foramens et l'endocrâne. De même ces séquences permettront d'analyser l'extension latérale aux espaces parapharyngés antérieur ou postérieur voire même à la fosse infra temporale en particulier la région des ptérygoïdiens. L'épaisseur des coupes idéale semble de 3 ou 3,5 mm pour permettre une bonne résolution spatiale tout en gardant un rapport signal sur bruit suffisant.
- une séquence ganglionnaire permettant d'analyser l'ensemble des chaînes ganglionnaires cervicales

Les séquences spin echo T1 semblent préférables pour cette analyse HR de la base du crâne en particulier pour étudier les extensions périnerveuses sur les séries avec injection et saturation de la graisse. Des séquences en écho de gradient semblent générer plus de faux positifs en ce qui concerne l'analyse des structures nerveuses et des foramens, même si elles permettent des coupes plus fines (1 mm) en 3 D autorisant des reconstructions multiplanaires.

Nous préférons toujours utiliser deux ou trois séquences en spin écho T1 avec injection de gadolinium et avec saturation de la graisse: axiale, coronale ± sagittale.

Paramètres des séquences:

TSE T2 HR

TR	4650
TE	100
matrice	336 x 512
épaisseur des coupes	3 mm
nombre de coupes	23

voxel à l'acquisition 0,68 x 0,91 x 3 mm
6 NSA
sense factor 2
FOV 230
durée 2.38 mn

SE T1 HR

TR 615
TE 16
matrice 304 x 512
épaisseur des coupes 3 mm
nombre de coupes 16
voxel à l'acquisition 0,79 x 0,99 x 3 mm
2 NSA
sense factor no
FOV 240
durée 4.10 mn

SE T1 Fat Sat HR

TR 700
TE 15
matrice 304 x 512
épaisseur des coupes 3.5 mm
nombre de coupes 16
voxel à l'acquisition 0,79 x 0,99 x 3,5 mm
2 NSA
sense factor no
FOV 240
durée 5.20 mn

Les tumeurs du cavum en particulier l'UCNT se présentent le plus souvent en signal T2 intermédiaire, supérieur au signal musculaire, en hyposignal T1 et présentent une prise de gadolinium modérée souvent bien mieux appréciée sur les séquences avec saturation de la graisse (50).

Extension tumorale

Les principales extensions tumorales à analyser découlent des voies de communication de cette région carrefour de la base du crâne (56).

Extension antérieure

Les tumeurs du cavum s'étendent fréquemment en antérieur à la fosse nasale, celle-ci étant en continuité directe sans aucune barrière anatomique.

A partir de cette extension à la fosse nasale, la tumeur peut gagner facilement la fosse ptérygopalatine par le foramen sphéno-palatin. En IRM, il faudra rechercher cette extension au foramen sphéno-palatin, s'il y a infiltration tumorale, il y a alors remplacement du contingent graisseux normal par la tumeur (souvent bien analysé sur la séquence TI sans injection).

Le foramen sphéno palatin est un véritable carrefour, la tumeur peut alors s'étendre :

- au foramen rond en suivant le nerf maxillaire (V2)
- à la fissure orbitaire inférieure puis à l'apex orbitaire, la tumeur peut ensuite se développer dans l'orbite et même atteindre la fissure orbitaire supérieure et l'endocrâne.
- à la fosse infratemporale, en particulier la région des ptérygoïdiens avec souvent lyse de la ptérygoïde, puis extension périnerveuse le long du nerf mandibulaire (V3) vers le foramen ovale puis l'endocrâne.

Extension Latérale

- Extension postéro-latérale

La tumeur peut s'étendre vers le foramen lacerum, même quand elle est encore contenue par le fascia pharyngo basilaire. Le foramen lacerum est fermé par un fibrocartilage assez résistant, si la tumeur le rompt elle peut ensuite se développer en intra crânien.

- Extension latérale

L'extension latérale aux espaces parapharyngés se fait soit de manière directe lorsque la tumeur parvient à rompre le fascia pharyngo-basilaire, soit de manière indirecte par l'orifice de la trompe d'Eustache qui est un point de faiblesse du fascia.

La tumeur peut ensuite se développer encore plus latéralement vers la fosse infra temporale et l'espace masticateur en donnant une infiltration des muscles ptérygoïdiens. De cette région la tumeur peut ensuite donner une extension périnerveuse le long du nerf mandibulaire (V3) pour gagner le foramen ovale puis l'endocrâne.

Extension postérieure

La tumeur du cavum peut infiltrer l'espace rétropharyngé puis les muscles pré-vertébraux. Des formes très évoluées peuvent même donner une lyse vertébrale.

Par cette voie postérieure la tumeur peut donner une infiltration plus latérale au foramen jugulaire et au canal de l'hypoglosse, avec une extension possible mais peu fréquente à la fosse postérieure. Cette infiltration postérieure peut se révéler par une paralysie du nerf hypoglosse (XII).

Extension inférieure

Certaines tumeurs du cavum présentent une extension inférieure à la muqueuse de l'oropharynx, atteignant la loge amygdalienne. Cette extension peut parfois se faire uniquement en sous muqueux, elle est donc indétectable par endoscopie et n'est détectée que par l'imagerie.

Extension supérieure

Une extension supérieure directe avec lyse directe du clivus et du corps du sphénoïde est également possible, la tumeur pouvant ensuite se développer en intra-crânien.

On constate donc que l'extension intra crânienne est possible par différentes voies : par le biais du foramen lacerum, par le foramen ovale, par lyse directe de la base du crâne. Plusieurs études ont montré l'intérêt de l'IRM pour détecter cette extension souvent péri nerveuse, ces études montrent que cette extension existe dans environ 30% des cas ; rappelons qu'une extension intra crânienne d'une tumeur du cavum fait passer cette tumeur à un stade IV (51, 56).

L'extension intra crânienne reste le plus souvent extra-cérébrale, se traduisant par une atteinte du sinus caverneux et une prise de contraste de la méninge de la fosse temporale.

Les tumeurs évoluées présentent le plus souvent des extensions multiples associant les différentes voies d'extension (57).

Volume tumoral

Certains auteurs pensent que le volume de la tumeur a un facteur pronostique non négligeable (58, 59) et que nous devrions l'inclure dans notre description de la tumeur, elle sera vraisemblablement incluse dans les futures versions de la classification TNM.

Adénopathies

Les adénopathies sont très fréquentes dans les tumeurs du cavum. C'est un des motifs fréquents de révélation clinique de la tumeur.

Le premier relais ganglionnaire est constitué par les ganglions rétropharyngés, ils sont présents dans 65 % des tumeurs du cavum et doivent donc être recherchés et reconnus en imagerie, en particulier

s'ils sont bilatéraux. Les séquences T2 et T1 avec injection permettent de détecter facilement ces ganglions rétropharyngés, ils sont considérés comme pathologiques si leur plus petit diamètre est supérieur à 8 mm (60).

Le deuxième relais est constitué par les ganglions cervicaux, en particulier jugulaires hauts qui sont fréquemment envahis (75% des cas), parfois directement sans ganglion rétropharyngé décelable. Une atteinte bilatérale doit être soigneusement recherchée en imagerie puisqu'elle modifie le stade de la tumeur.

La classification TNM de 2002 (61, 62) présentait donc des lacunes concernant le N staging puisqu'elle ne prenait pas en compte les ganglions rétropharyngés (63, 64). La nécessité d'une révision de la classification TNM a été abordée par plusieurs auteurs, en particulier Chong, et nous avons relayé cette nécessité dans l'article publié dans European Radiology ainsi que dans plusieurs présentations internationales.

Métastases

Les tumeurs du nasopharynx sont les tumeurs de la tête et du cou donnant le plus de métastases à distance. Leur fréquence varie entre 5 et 41% selon les études (2). Les patients présentant des adénopathies basses surtout sus-claviculaires, et les patients présentant des extensions importantes aux espaces profonds, en particulier parapharyngés, sont ceux présentant le risque le plus élevé de métastases à distance. Les sites les plus fréquents de métastases sont l'os (20%), le poumon (13%), le foie (9%) (64).

3) Stratégie diagnostique et mise à jour de la classification UICC

Stratégie diagnostique

2 cas de figures peuvent se présenter au radiologue :

- soit la tumeur du cavum est suspectée par l'examen clinique ou l'anamnèse (otite séreuse associée à des ADP cervicales), dans ce cas la supériorité de l'IRM a été montrée par plusieurs équipes pour faire le bilan d'extension, en particulier pour analyser les extensions périnerveuses et les extensions à la médullaire osseuse. Nous avons vu l'intérêt d'y associer un scanner sans injection en constantes osseuses sur la base du crâne.

Le bilan d'extension ganglionnaire sera réalisé en IRM.

- soit le patient présente des ADP cervicales isolées sans tumeur des VADS connue, il faudra donc analyser l'ensemble des VADS en imagerie, cavum, oropharynx, larynx et hypopharynx. La plupart des équipes préfèrent dans ce cas réaliser un scanner hélicoïdal de l'ensemble du cou (de la base du crâne jusqu'à l'orifice cervico médiastinal) avec injection de produit de contraste. Si une tumeur du nasopharynx est suspectée, il faudra réaliser l'IRM dans un second temps pour ne pas méconnaître une extension à la base du crâne et sous estimer le staging tumoral, il n'est pas nécessaire de refaire une étude ganglionnaire dans ce cas, le scanner l'ayant déjà réalisée.

Un scanner thoraco-abdominal avec injection à la recherche de localisations secondaires sera demandé systématiquement dès que la tumeur sera de stade T2 et/ou N3. Cependant de nombreuses équipes réalisent cet examen de plus en plus systématiquement (54).

Classification TNM (61,62)

Lorsque cet article a été publiée en 2007 dans European Radiology, la classification en cours était la 6ème de l'UICC 2002 (61, 62), nous nous étions associés à plusieurs autres auteurs (60, 63) pour montrer les carences de cette classification en particulier l'absence de prise en compte des adénopathies rétropharyngées et nous pensions qu'une évolution de cette classification était indispensable.

La classification TNM a évolué depuis, avec la 7^{ème} édition de la classification UICC TNM des tumeurs malignes du cavum publiée en 2010 (65), les adénopathies rétropharyngées sont maintenant prises en compte lorsqu'elles sont bilatérales.

De même, l'importance de l'extension aux espaces profonds, en particulier à l'espace parapharyngé (pré-stylien), a été pris en compte puisque désormais toute tumeur présentant une extension parapharyngée est classée T2, une tumeur limitée au nasopharynx sans franchissement du fascia pharyngo-basilaire est classée T1.

Cette nouvelle classification TNM montre l'intérêt et le caractère indispensable des séquences IRM HR pour le bilan d'extension de ces tumeurs.

Classification TNM (7^{ème} édition 2010)

T Tumeur primaire			
T1	Tumeur du nasopharynx sans extension parapharyngée		
T2	Tumeur du nasopharynx avec extension parapharyngée		
T3	Tumeur avec extension osseuse et/ou extension aux cavités sinusiennes		
T4	Tumeur avec extension intra crânienne et/ou extension aux nerfs crâniens, à la fosse infra temporale, à l'hypopharynx, à l'orbite		
N Ganglions régionaux			
Nx	ganglions non analysables		
N0	pas d'adénopathies décelables		
N1	ADP cervicales unilatérales de moins de 6cm de plus grand axe sans atteinte du territoire sus claviculaire ou ganglions rétropharyngés bilatéraux		
N2	ADP cervicales bilatérales de moins de 6cm de plus grand axe sans atteinte du territoire sus claviculaire.		
N3	N3a ADP de plus de 6 cm N3b ADP sus claviculaires		
Stade			
Stade I	T1	N0	M0
Stade II	T1	N1	M0
	T2	N0, N1	M0
Stade III	T1, T2	N2	M0
	T3	N0, N1, N2	M0
Stade IV A	T4	N0, N1, N2	M0
Stade IV B	tout T	N3	M0
Stade IV C	tout T	tout N	M1

4) Article

Cette étude a fait l'objet d'une publication:

Extension patterns of nasopharyngeal carcinoma
F.Dubrulle, R.Souillard, R Hermans
Eur Radiol. 2007 Oct; 17(10): 2622-2630

IV. ETUDE ET CLASSIFICATION DES PATHOLOGIES INTRA-LABYRINTHIQUES

IV.I. ETUDE DES PATHOLOGIES DU LABYRINTHE EN HYPERSIGNAL T1 APRES INJECTION DE GADOLINIUM

1) Problématique

Les pathologies intra-labyrinthiques ont été décrites depuis le début des années 1990 en IRM (66, 67, 68). Elles restent pourtant encore assez mal connues des radiologues et parfois la source d'erreurs diagnostiques, le labyrinthe est souvent moins bien analysé que l'oreille interne ou l'angle ponto-cérébelleux. Le but de notre étude a donc été de décrire toutes les pathologies intra-labyrinthiques apparaissant en hypersignal T1 sur une séquence après injection de gadolinium. Trente sept patients présentant un hypersignal T1 après injection de gadolinium au niveau intra-labyrinthique ont été identifiés avec un suivi clinique et radiologique prolongé. Le rôle de l'IRM est de faire le diagnostic différentiel correct entre les véritables prises de contraste intra-labyrinthiques (correspondant principalement à des labyrinthites ou à des schwannomes intra-labyrinthiques) et les hypersignaux spontanés du labyrinthe en T1 évoquant une hémorragie intra-labyrinthique (69-74). Nous avons essayé de faire une description IRM très précise de ces pathologies grâce aux séquences HR afin d'établir des critères diagnostiques pour ces différentes étiologies. Nous avons de plus essayé d'établir des critères pronostiques concernant l'audition en particulier dans les labyrinthites.

2) Matériel et Méthode

Entre juin 1996 et janvier 2008, tous les patients adultes examinés au CHU de Lille, présentant une hyperintensité intra-labyrinthique sur une séquence T1 après injection de gadolinium, ont été inclus dans une étude longitudinale, 37 patients ont donc été analysés dans cette étude: 14 hommes, 23 femmes, (moyenne d'âge 46,4 ans; 16 - 69 ans).

Parmi ces 37 patients, 29 présentaient une prise de contraste intra-labyrinthique réelle sans hypersignal en T1 avant injection et 8 présentaient un hypersignal T1 spontané franc du labyrinthe sur la séquence T1 avant injection de gadolinium, sans modification après injection de gadolinium. Parmi ces 8 patients : 4 avaient été considérés comme présentant une prise de contraste intra-

labyrinthique sur l'IRM initiale car il n'y avait pas eu de séquence T1 sans injection de gadolinium mais uniquement des séquences T1 avec injection d'emblée.

Toutes les IRM ont été analysées par un radiologue senior possédant une importante expérience en pathologie tête et cou en particulier dans le domaine de l'imagerie de la base du crâne et de l'oreille. Tous les patients ont également bénéficié d'une évaluation clinique par un chirurgien spécialiste de l'oreille et de la base du crâne.

Les symptômes initiaux, l'évolution clinique, la description précise en IRM, le temps de suivi et le temps entre la première et la dernière IRM ont été notés.

Les patients présentant une lésion du conduit auditif interne étendue à l'oreille interne et les patients présentant des antécédents récents de traumatisme de la base du crâne ont été exclus. Les IRM ont été réalisées sur deux unités 1,5 T successives: entre 1998 et 2002 sur Magnetom Vision Siemens et entre 2002 et 2008 sur Philips Intera upgradée en Achieva en 2007. Les séquences et les paramètres sont des séquences HR classiques pour une étude de l'oreille interne et du conduit auditif interne, elles sont détaillées ci-dessus.

Materiel	Champ (T)	Antenne	Séquence	Epaisseur de coupe (mm)
Siemens Magnetom Vision	1,5	antenne tête	SE T1 sans injection	2
		antenne tête	3D CISS	0,7
		antenne tête	SE T1 avec injection	2
Philips Intera - Achieva	1,5	antenne tête	SE T1 sans injection	2
		antenne de surface	3 D Drive	0,5
		antenne tête	SE T1 avec injection	2
		antenne tête	3D Thrive	1

Paramètres techniques :

Séquence SE T1

16 coupes de 2 mm

FOV 270

voxel à l'acquisition 0,8 x 1,15 x 2

matrice 336 x 512

3 acquisitions

Séquence 3D Drive

60 coupes de 0,5 mm
FOV 120
antenne de surface
voxel à l'acquisition 0,5 x 0,59 x 1
matrice 240 x 204
2 acquisitions

Séquence 3D Thrive

40 coupes de 1 mm
FOV 270
Antenne tête
voxel à l'acquisition 0,84 x 0,84 x 2
matrice 320 x 224
4 acquisitions

Pour chaque patient inclus, une description la plus précise possible de la lésion a été réalisée avec en particulier la localisation précise dans le labyrinthe, l'aspect bien délimité ou non de la prise de contraste. Une description spécifique des liquides intra-labyrinthiques a été réalisée sur la série 3D HR T2 (CISS ou Drive), avec une classification visuelle en 4 stades de l'aspect des liquides intra-labyrinthiques, par comparaison avec le côté controlatéral: liquides normaux, liquides faiblement diminués, liquides moyennement diminués, liquides diminués de façon importante. Une attention spécifique a été portée au signal du labyrinthe sur la séquence spin écho T1 avant injection de gadolinium.

Le diagnostic définitif pour chaque patient a été posé après un suivi d'au moins une année et deux examens IRM et avec la contribution du chirurgien otologiste.

La classification audiométrique du BIAP (Bureau International d'Audio-Phonologie) a été utilisée pour classifier l'audition.

3) Résultats

Trente sept patients présentant un hypersignal T1 après injection de gadolinium au sein du labyrinthe ont été identifiés. Parmi eux, 29 présentaient une véritable prise de contraste intra-

labyrinthique (78,4%). Les deux étiologies principales retrouvées, correspondaient à 15 schwannomes intra-labyrinthiques (51,7% des prises de contraste intra-labyrinthiques, 6 hommes, 9 femmes, moyenne d'âge 49,8 ans) et 13 labyrinthites (44,8% des prises de contraste intra-labyrinthiques, 5 hommes, 8 femmes, moyenne d'âge 39 ans); le dernier cas de prise de contraste intra-labyrinthique correspondait à un granulome inflammatoire dans les suites d'une chirurgie d'otospongiose avec mise en place d'une prothèse qui présentait un débord intra-vestibulaire. Les 8 derniers patients présentaient un hypersignal spontané du labyrinthe correspondant à une hémorragie intra-labyrinthique (21,6%, 3 hommes, 5 femmes, moyenne d'âge 52,1 ans).

Des signes différents, très spécifiques, ont été observés en imagerie pour ces différentes pathologies.

▪ En cas de schwannome intra-labyrinthique, la lésion est localisée pour 6 patients dans la cochlée (40%) et pour 9 patients dans le labyrinthe postérieur (60%): 8 dans le vestibule et 1 dans un canal semi-circulaire. Les schwannomes intra-labyrinthiques n'occupent jamais toute l'oreille interne mais seulement une partie de la cochlée ou une partie du vestibule, la partie antérieure du vestibule dans 85,7% des cas. Le schwannome du canal semi-circulaire latéral était localisé dans la partie médiane de l'arche du canal semi-circulaire externe. Ci-dessous le tableau montrant la distribution précise des différents schwannomes intra-labyrinthiques.

	initial MR imaging	length (years)	last MR imaging	NF2
intracochlear (6)	AT+ST+ 1/2 BT	4	whole cochlea	
	3mm BT (scT)	5	whole BT (scT+ scV)	
	2mm AT	7	no recidive after surgery	
	BT +ST (scT)	8	no recidive after surgery	
	BT (scT)	5	BT + 1/2 ST (scT+scV)	
	ST (scT)	6	ST+ BT (scT+scV)	contralateral VS + meningioma
intravestibular (9)	3mm anterior part	2	4 mm extended posteriorly	
	4mm + initial lat SCC	6	no recidive after surgery	
	3mm anterior part	3	no growing	
	2mm anterior part	7	whole vestibulum	
	whole vest + lat SCC	5	no recidive after surgery	
	4mm internal part	6	no recidive after surgery	
	3mm anterior part	5	recidive 3 years after surgery	
	whole vest	9	extension in the SCC and BT	contralateral VS + CS
	2 mm anterior part	7	4 mm extended posteriorly	

Localisation et extension des schwannomes intralabyrinthiques

AT (apical turn of the cochlea), ST (second turn), BT (basal turn), scT (scala tympani), scV (scala vestibuli). VS (vestibular schwannoma), CS (cervical schwannoma).

Tous les schwannomes intra-labyrinthiques présentaient une prise de contraste intense de forme nodulaire avec des bords bien limités sur la série spin echo T1 HR, cette prise de contraste était limitée à la lésion sans rehaussement du reste du labyrinthe. Sur la série 3D HR T2, les schwannomes intra-labyrinthiques présentaient une forme nodulaire avec des bords bien définis, convexes avec des liquides adjacents normaux.

Aucun hypersignal T1 avant injection n'était identifié mais 12 schwannomes (41%) présentaient une très discrète augmentation du signal par rapport au reste du labyrinthe.

Une surdité a été observée dans tous les cas de schwannomes intra-labyrinthiques: cette surdité était importante, rapidement évolutive dans 8 cas (53,3%), moyenne dans 5 cas (33,3%), et légère dans 2 cas (13,3%). Parmi eux, 5 patients se sont présentés avec une surdité brusque comme symptôme initial. Les vertiges étaient présents dans 85,7% des cas et des acouphènes étaient associés dans 57,1% des cas.

En ce qui concerne les schwannomes intra-cochléaires, la surdité était importante ou rapidement évolutive pour 66,6% des cas, moyenne dans 33,3% des cas avec des vertiges dans 83,3% des cas et des acouphènes dans 83,3% des cas. En ce qui concerne les schwannomes intra-vestibulaires, la surdité était importante ou rapidement évolutive dans 50% des cas, moyenne dans 25% des cas, légère dans 25% des cas avec des vertiges dans tous les cas (100%) et des acouphènes dans 21,4% des cas.

Une chirurgie a été réalisée dans six cas (40%) pour quatre schwannomes intra-vestibulaires et 2 schwannomes cochléaires avec une confirmation histologique dans chaque cas.

Un suivi en imagerie a été réalisé pour ces patients opérés sur une moyenne de 6,6 ans (5 - 9 ans) permettant la détection d'une récurrence trois ans après la chirurgie. Une IRM a été réalisée tous les 18 mois avec une moyenne de 3 IRM par patient.

Un suivi en imagerie a également été réalisé pour les 9 patients qui n'ont pas bénéficié d'une chirurgie, sur une moyenne de 5,3 ans (2 - 9 ans). Une IRM a été pratiquée chaque année (correspondant à une moyenne de quatre IRM par patient).

Un seul schwannome intra-labyrinthique (un schwannome vestibulaire) n'a pas présenté de signe d'évolutivité après trois ans de suivi. Une croissance tumorale a été détectée chez les 8 autres patients: les schwannomes intra-vestibulaires ont présenté une extension postérieure dans le vestibule avec parfois une extension aux canaux semi-circulaires adjacents. Les schwannomes intra-cochléaires ont présenté une extension aux segments adjacents de la cochlée: le plus souvent, seule la rampe tympanique était atteinte lors de la première imagerie et, durant le suivi, une extension à la

rampe vestibulaire est apparue. L'extension tumorale précise en imagerie est détaillée dans le tableau page 67.

Une neurofibromatose de type II a été détectée durant le suivi pour deux patients: l'un a développé un schwannome vestibulaire controlatéral et un méningiome et l'autre a présenté un schwannome vestibulaire controlatéral associé à un schwannome cervical.

- Dans les cas de labyrinthites, 13 cas ont été inclus dans cette étude (44,8% des prises de contraste intra-labyrinthique), l'atteinte était unilatérale dans douze cas et bilatérale dans 1 cas après méningite. Dans les 13 cas, aucune anomalie n'a été trouvée sur le T1 avant injection de gadolinium et on observait une prise de contraste globale du labyrinthe atteignant à la fois la cochlée et le labyrinthe postérieur avec un rehaussement prononcé après injection de gadolinium.

Sur la série 3D HR T2 , aucune anomalie n'a été trouvée dans 3 cas (23,1%), une diminution du signal liquidien intra-labyrinthique a été observée dans 10 cas (76,9%); cette diminution du signal intra labyrinthique n'était pas bien localisée et affectait la majeure partie du labyrinthe avec des bords mal définis: 3 cas ont été considérés comme présentant une diminution très faible du signal liquidien intra-labyrinthique, 2 cas ont été considérés comme présentant une diminution moyenne du signal liquidien intra-labyrinthique et 5 cas ont été considérés comme présentant une diminution importante.

Les symptômes initiaux comportaient une surdité pour les 13 patients: 11 patients ont présenté une surdité brusque associée dans 9 cas à des vertiges et à des acouphènes. 2 patients ont présenté une surdité rapidement évolutive associée à des vertiges et à des acouphènes. Les symptômes sont apparus, dans cinq cas, après une otite ou une oto-mastoidite et dans 1 cas après une méningo-encéphalite. Deux autres patients présentaient une maladie systémique (maladie de Lyme et granulomatose de Wegener).

Après un suivi clinique d'une année, les niveaux auditifs sont redevenus normaux ou équivalents au statut initial sans vertige ni acouphène pour six patients (46,1%): les 3 patients qui ne présentaient pas de diminution du signal liquidien intra-labyrinthique et les 3 patients qui présentaient une diminution faible du signal liquidien intra-labyrinthique. Le contrôle IRM était normal pour ces 6 patients.

Parmi les 7 patients restants, une surdité moyenne a persisté sans vertige ni acouphène pour l'un des patients avec une diminution moyenne des liquides intra-labyrinthiques. Une surdité importante a persisté pour l'autre patient qui présentait une diminution moyenne du signal liquidien intra-labyrinthique et 5 patients (38,5%) ont gardé une surdité importante voire une sub-cophose associée

à des vertiges, ceci concerne les 5 patients qui présentaient une diminution importante du signal liquidien intra-labyrinthique sur la série 3D HR T2.

Lors du suivi, tous les patients ont bénéficié d'au moins une IRM associée à un scanner en cas de surdité persistante. Les résultats sont détaillés dans le tableau ci-dessous.

aspect du signal liquidien intralabyrinthique 3D HR T2	nombre patients	récupération auditive complète	Surdité moyenne	Surdité importante ou totale	Contrôle IRM normal	Contrôle IRM anormal
normal	3	3	0	0	3	0
faiblement diminué	3	3	0	0	3	0
moyennement diminué	2	0	1	1	1	1
fortement diminué	5	0	0	5	0	5

L'IRM a été considérée comme normale pour 7 patients après dix huit mois: les 3 patients qui ne présentaient pas de diminution des liquides intra-labyrinthiques et les 3 patients présentant une diminution faible du signal liquidien intra-labyrinthique sur l'imagerie initiale ainsi qu'un patient présentant une diminution moyenne du signal liquidien.

Six patients ne présentaient plus aucun rehaussement intra-labyrinthique après 12 mois par contre il persistait une diminution importante des liquides intra-labyrinthiques sur la séquence 3D HR T2. Cette diminution du signal liquidien intra-labyrinthique était hétérogène avec des zones de perte de signal complète, ceci concerne le dernier patient avec une diminution moyenne du signal liquidien intra-labyrinthique sur l'IRM initiale et les cinq patients avec une diminution initiale importante du signal liquidien intra-labyrinthique. Quatre personnes parmi ces 6, présentaient de plus des signes d'ossification intra-labyrinthique sur le scanner pratiqué 12 mois après le début des symptômes. Deux patients sans signe de labyrinthite ossifiante en TDM, ont bénéficié d'une implantation cochléaire (en moyenne 11 mois après le début des symptômes) avec des résultats cliniques corrects dans un cas.

- Le dernier cas de prise de contraste intra-labyrinthique est particulier: il s'agit d'une jeune femme de 35 ans qui a présenté dans les suites immédiates d'une chirurgie pour otospongiose une surdité très importante associée à un vertige invalidant. L'IRM pratiquée une semaine après la chirurgie, a montré une formation nodulaire bien limitée prenant le contraste dans le vestibule au contact de la fenêtre ovale avec une perte du signal liquidien également de forme nodulaire au même endroit sur la série 3D HR T2. Le scanner a montré un débord intra-vestibulaire du piston. La chirurgie a

retrouvé un granulome inflammatoire du vestibule au contact de la prothèse. Une surdité totale a persisté après la chirurgie.

- Les 8 derniers cas de notre série sont constitués par les hémorragies intra-labyrinthiques (21,6%, 3 hommes, 5 femmes, moyenne d'âge 52,1 ans). Les symptômes sont apparus pour trois patients dans un contexte spécifique: 2 patients avaient une coagulation intra-vasculaire disséminée et 1 patient présentait un syndrome de Cogan. Aucune association spécifique n'a été observée pour les 5 autres patients.

L'IRM a montré un hypersignal T1 spontané avant injection de gadolinium intéressant une large partie du labyrinthe, quatre de ces patients avaient été considérés comme présentant des prises de contraste intra-labyrinthiques sur la première imagerie (qui ne comportait pas de T1 sans injection) ; une seconde IRM réalisée après quelques semaines (en moyenne 8 semaines après le début des symptômes) a révélé l'hypersignal T1 spontané permettant de corriger le diagnostic. Cet hypersignal T1 spontané atteignait le labyrinthe entier dans 5 cas, la cochlée seule dans 1 cas et le labyrinthe postérieur entier (vestibule et canaux semi-circulaires) dans 2 cas. Pour ces 3 derniers cas où l'hypersignal était plus limité à une partie du labyrinthe, cet hypersignal ne se présentait jamais de manière bien délimitée et n'avait jamais une forme nodulaire. Dans tous les cas, la série 3D HR T2 a révélé une diminution très importante du signal liquidien intra-labyrinthique voire même une disparition complète de ce signal liquidien. Cette diminution atteignait le labyrinthe entier dans les 5 cas présentant un hypersignal T1 atteignant le labyrinthe entier. Une diminution très importante du signal liquidien de la cochlée entière a été observée pour le patient qui présentait un hypersignal T1 localisé à la cochlée et une diminution très importante du signal liquidien de l'ensemble du labyrinthe postérieur a été observée pour les deux patients qui présentaient un hypersignal spontané du labyrinthe postérieur ; dans ces trois derniers cas, les contours de cette diminution du signal intra labyrinthique n'étaient pas bien délimités et jamais de forme nodulaire.

Les symptômes initiaux comportaient une surdité brusque ou une surdité importante évoluant en quelques heures ou quelques jours dans tous les cas, associée à des vertiges dans 7 cas (87,7% en) et à des acouphènes dans 6 cas (75%).

Aucun patient n'a retrouvé une audition normale ou identique à celle d'avant le début des symptômes: 6 patients ont gardé une surdité totale et 2 une subcophose.

Trois patients ont bénéficié d'un implant cochléaire dans les mois qui ont suivi la surdité brusque (en moyenne trois mois) avec un bon résultat pour 2 patients.

Les 5 autres patients ont été suivis en IRM et en scanner: un hypersignal T1 spontané du labyrinthe a persisté pendant de nombreux mois (18 mois en moyenne), la diminution du signal liquidien intra-

labyrinthique est restée stable ou s'est accentuée. Une ossification partielle du labyrinthe a été observée en TDM pour ces 5 patients, cette ossification labyrinthique était présente lors du premier scanner réalisé en moyenne un an après le début des symptômes, elle s'est ensuite complétée affectant une partie importante du labyrinthe sur les imageries suivantes.

4) Discussion et Conclusion

Cette étude longitudinale incluant tous les hypersignaux du labyrinthe sur une séquence T1 après injection de gadolinium confirme que ces pathologies ne sont pas exceptionnelles : 37 cas en 12 ans dans notre centre.

Cette étude confirme également que ces pathologies sont mal connues et parfois mal explorées : 50% des hémorragies intra-labyrinthiques avaient été considérées initialement comme des prises de contraste labyrinthiques du fait de l'absence de séquence non injectée lors de la première IRM. D'autres cas possédant une séquence avant injection avaient également été classés comme des prises de contraste intra-labyrinthiques vraisemblablement du fait d'une mauvaise exploitation des données sans injection.

Le but de cette étude était de définir des critères précis de diagnostic afin de permettre une meilleure connaissance en imagerie des différentes pathologies intralabyrinthiques.

Toutes les labyrinthites ou hémorragies intra-labyrinthiques présentaient une surdité brusque ou très rapidement évolutive (66, 68, 73, 74, 75). Une telle symptomatologie nécessite une exploration IRM rapide avec une séquence sans injection de Gadolinium ce qui permet de faire le diagnostic différentiel entre les deux pathologies. Si cette séquence avant injection n'est pas réalisée, le diagnostic différentiel devient impossible à faire car sur la séquence T1 injectée ainsi que sur le T2 HR, ces 2 pathologies se ressemblent beaucoup : en particulier sur la séquence T1 après injection qui montre un hypersignal diffus non focalisé du labyrinthe concernant le plus souvent le labyrinthe complet (100% des labyrinthites et 62.5% des hémorragies intra-labyrinthiques)

Toutes les hémorragies intra-labyrinthiques présentaient, dans notre étude, une importante diminution du signal liquidien T2 haute résolution. Cet aspect n'est pas classiquement décrit dans la littérature (73, 76, 77).

62,5% des hémorragies atteignaient le labyrinthe complet, 37,5% étaient plus localisées au labyrinthe antérieur ou postérieur, dans ces cas l'hypersignal était diffus, mal limité, occupant toute la cochlée (rampe vestibulaire et tympanique) ou tout le labyrinthe postérieur (vestibule et canaux semi circulaires), l'aspect n'était jamais nodulaire ou bien limité. La localisation de l'hémorragie au sein du labyrinthe, ne semble pas intervenir dans le pronostic. En effet, 100 % des hémorragies intra-labyrinthiques ont eu un pronostic péjoratif sur l'audition (78, 79). La diminution importante persistante de l'hyposignal T2 du labyrinthe évoque l'installation précoce d'une fibrose du labyrinthe. Le suivi de ces patients montre que cette fibrose se transforme dans tous les cas en labyrinthite ossifiante débutant dans la première année, justifiant le diagnostic précoce de ces hémorragies ainsi que l'implantation cochléaire précoce de ces patients avant le stade de la labyrinthite ossifiante (79), en particulier en cas d'atteinte bilatérale ou sur oreille unique.

Dans notre étude, 13 patients présentaient en imagerie des signes de labyrinthite. Tous présentaient également une clinique rapidement évolutive : surdité brusque ou surdité rapidement évolutive associée dans tous les cas à des vertiges et des acouphènes.

Le nombre de 13 patients sur 12 ans présentant une labyrinthite paraît faible pour un centre important, ceci s'explique vraisemblablement par le fait que seuls les adultes ont été inclus et que des labyrinthites peu sévères répondant rapidement au traitement médical n'ont pas eu d'exploration en imagerie et n'ont donc pas été incluses dans cette étude. Seules les labyrinthites sévères avec des signes cliniques marqués et ne régressant pas rapidement sous traitement médical dans les 3 premiers jours ont été explorées.

L'imagerie apparaît intéressante dans les labyrinthites pour effectuer le diagnostic positif et faire le diagnostic différentiel avec les hémorragies qui présentent le même tableau clinique initial.

Rappelons que le diagnostic différentiel entre labyrinthite et hémorragie intra-labyrinthique n'est aisé que lorsqu'une série T1 sans injection a été réalisée.

Cette étude semble montrer un intérêt de l'imagerie dans le pronostic de ces patients : 100% de récupération complète de l'audition quand le signal liquidien du labyrinthe était normal ou faiblement diminué, persistance d'une surdité sévère dans 50% des cas lorsque les liquides intra-labyrinthiques étaient moyennement diminués et 100% de surdité sévère ou de cophose lorsque les liquides intra-labyrinthiques étaient diminués initialement de façon importante.

La diminution importante majeure du signal liquidien intra-labyrinthique semble ainsi corrélée avec une absence de récupération de l'audition. Par contre l'absence de modification initiale du signal liquidien labyrinthique ou la diminution très faible de ce signal liquidien, sur la séquence 3D HR T2, semble corrélé avec une bonne récupération auditive. La persistance d'un signal liquidien

normal peu modifié serait le témoin de l'absence de modification de ce liquide qui n'évoluerait pas par la suite vers de la fibrose. Par contre la diminution importante du signal liquidien pourrait traduire la perte de la viscosité normale du liquide intra-labyrinthique qui évoluerait ensuite vers le stade de fibrose et même ensuite vers l'ossification (60% des cas). Ce critère initial concernant l'aspect du signal liquidien intralabyrinthique en imagerie, pourrait donc être intéressant pour orienter les patients à risque de fibrose du labyrinthe vers une implantation cochléaire précoce (72, 80, 81) : les patients présentant en imagerie une diminution importante diffuse du signal liquidien intralabyrinthique sur la séquence 3D HR T2 (type Drive, CISS, Fiesta) associée à une surdité importante ne s'améliorant pas après quelques semaines, devraient être des candidats à une implantation cochléaire rapide (82) en particulier en cas de labyrinthite bilatérale ou sur oreille unique. Ce signe doit être cependant validé par des séries comportant un nombre plus important de cas.

Les neurinomes intra-labyrinthiques représentent une part importante de cette étude (15 cas sur 37, 40.5%) et représentent même 51.7 % des cas de prise de contraste intra-labyrinthique (15 cas sur 29).

Si l'on compare ce chiffre de 15 neurinomes intra-labyrinthiques sur 12 ans avec les 350 nouveaux cas de neurinomes du nerf cochléo-vestibulaire explorés durant la même période, on obtient un pourcentage de 4 %. Ce pourcentage apparaît moins important que dans une grande série récente de 52 neurinomes intra-labyrinthiques (83) qui estimait à 10 % le nombre de neurinomes intra-labyrinthiques par rapport aux neurinomes du nerf cochléo-vestibulaire découverts durant la même période.

Notre chiffre confirme cependant le fait que ces schwannomes intra-labyrinthiques ne sont pas exceptionnels, et sont parfois méconnus : 4 cas (28,6 %) de notre série n'avaient pas été diagnostiqués lors d'une première IRM même lorsque celle-ci avait été réalisée par des radiologues expérimentés. Ceci confirme le fait que le labyrinthe est probablement mal analysé lorsqu'une IRM d'oreilles est demandée. L'imagerie des neurinomes intra-labyrinthiques est pourtant typique et très différente des autres pathologies: une prise de contraste nodulaire bien limitée, localisée à une partie précise du labyrinthe : antérieur ou postérieur, associée à une perte nodulaire du signal liquidien intralabyrinthique sur la série 3D HR T2, également bien limitée avec des liquides adjacents normaux (84-94).

Sur le plan clinique, une surdité était présente dans tous les cas se révélant parfois par une surdité brusque (33.3 %). Dans les cas des neurinomes intra-cochléaires, la surdité est importante dans 66,6

% des cas, moyenne mais évolutive dans 33,3 % des cas, associée à des acouphènes et des vertiges dans 83,3 % des cas.

Dans les neurinomes du labyrinthe postérieur, la surdité est également présente dans tous les cas : importante et évolutive dans 50 % des cas, moyenne dans 25 % des cas, et légère dans 25 % des cas, associée à des vertiges dans 100 % des cas, souvent invalidants, dans 78 % des cas. Les acouphènes n'étaient présents que dans 21,4 % des cas.

L'imagerie des schwannomes intra-labyrinthiques est typique, permettant de faire facilement le diagnostic différentiel par rapport aux autres pathologies intra labyrinthiques :

Notre étude n'a pas retrouvé la prédominance des neurinomes intra-cochléaires comme dans la littérature (83), nous avons au contraire retrouvé une prédominance de neurinome du labyrinthe postérieur (60 % contre 40 % de neurinomes intra-cochléaires).

Nous avons retrouvé comme dans la littérature une évolutivité importante de ces neurinomes (83).

Neuf patients non opérés ont été suivis sur une période de plus de 5 ans en moyenne (2 à 9 ans), 1 cas sur 9 seulement est resté stable sur un suivi de 5 ans, 8 cas sur 9 par contre ont augmenté progressivement de volume atteignant les régions adjacentes. Concernant les neurinomes intra-cochléaires (voir le tableau page 60 pour la localisation précise), l'atteinte concernait le plus souvent uniquement la rampe tympanique lors du diagnostic initial et la surveillance a montré une extension progressive à la rampe vestibulaire ainsi qu'une augmentation de taille de la lésion.

Les neurinomes intra-vestibulaires présentaient également, pour les patients non opérés, une évolutivité : la majeure partie touchait la partie antérieure du vestibule lors du diagnostic initial et se sont étendus ensuite à tout le vestibule et même parfois à la partie initiale des canaux semi-circulaires adjacents.

L'intérêt de cette étude repose également sur le nombre important de chirurgies réalisées dans le cas des neurinomes intra-labyrinthiques : 6 cas sur 15 ont été opérés (2 neurinomes intra-cochléaires, 4 neurinomes intra-vestibulaires). La chirurgie a été réalisée en moyenne 2 ans après le diagnostic initial et après 2 IRM au minimum. La décision de chirurgie reposait principalement sur l'importance de la surdité et la présence de signes cliniques invalidants non maîtrisés par le traitement en particulier les vertiges. L'histologie a confirmé dans 100 % des cas le diagnostic de schwannome de type Fanconi.

Cinq patients sur les 6 opérés ont présenté une nette amélioration des symptômes avec en particulier une nette diminution des vertiges. Un patient a présenté des crises vertigineuses invalidantes dans les suites et la surveillance en imagerie a montré une récurrence du neurinome détectée 3 ans après la chirurgie.

Le granulome inflammatoire du vestibule retrouvé dans cette étude est rare (95). Les signes radiologiques sont proches d'un neurinome avec un aspect d'hyposignal nodulaire en T2 haute résolution au sein des liquides intra-labyrinthiques normaux avec une prise de contraste localisée de cette formation nodulaire. La prise de contraste était cependant moins intense que dans les cas de neurinome intra-labyrinthique et il n'y avait pas de discrète augmentation du signal en T1 avant injection. De plus, la clinique était évocatrice, avec une apparition des symptômes en post-chirurgical, l'association avec le scanner qui montrait un débord du piston dans le labyrinthe permettait d'effectuer le diagnostic différentiel avec un schwannome. Ce diagnostic de granulome inflammatoire a été confirmé par l'intervention chirurgicale.

Nous n'avons pas observé dans notre série publiée d'autres étiologies d'hypersignal T1 du labyrinthe en particulier aucun cas de méningiome isolé (96). Nous avons déjà observé des méningiomes de l'angle ponto-cérébelleux et du conduit auditif interne étendus en intralabyrinthique et des méningiomes temporaux avec une extension intralabyrinthique mais ces pathologies par extension au labyrinthe étaient exclues du fait des critères d'inclusion.

Nous n'avons observé aucun cas de lipome (97, 98).

Depuis la fin de cette série, clôturée en janvier 2008 pour permettre un recul de 2 ans minimum dans le suivi, nous avons mis en évidence un nouveau schwannome du vestibule et deux cas de labyrinthites dont une sévère bilatérale chez un adolescent de 16 ans dans un contexte de méningite, ce patient a bénéficié d'une implantation cochléaire unilatérale rapide, à trois mois, étant donné l'absence de récupération auditive et la disparition quasi-complète des liquides intra-labyrinthiques. Ce patient présente un bon résultat auditif sur le côté implanté. Une implantation controlatérale est à l'étude.

Nous avons également observé notre premier cas de lipome intra-labyrinthique situé dans le vestibule, en hypersignal T1 spontané de forme nodulaire, sans modification après injection de gadolinium et avec une disparition complète sur une séquence 3D HR T1 Fat Sat HR (Thrive) avec une diminution localisée focale nodulaire des liquides intra-labyrinthiques au niveau du lipome sans modification des liquides adjacents (97, 98). Sans une série T1 sans injection, ce lipome aurait été confondu avec un schwannome, rappelant là encore l'intérêt d'une série T1 sans injection pour l'étude du labyrinthe ou d'une série avec saturation de la graisse en cas d'hypersignal du labyrinthe ou du conduit auditif interne découvert après injection de gadolinium. Nos derniers chiffres actualisés sont donc de 41 patients adultes (plus de 16 ans) présentant une pathologie intra-labyrinthique isolée sans pathologie adjacente du conduit auditif interne, du rocher

ou du lobe temporal comportant: 16 schwannomes, 15 labyrinthites, 8 hémorragies intra labyrinthiques, 1 granulome intra-labyrinthique, 1 lipome intra-labyrinthique.

Au final nous pouvons conclure de cette large série, que la description précise des pathologies intra-labyrinthiques permet de faire la différence en imagerie entre les schwannomes et les labyrinthites. La série spin écho T1 HR sans injection est essentielle dans l'exploration des surdités brusques ou rapidement évolutives, elle permet de différencier les hémorragies intra labyrinthiques, des labyrinthites.

Dans les labyrinthites, l'étude du signal liquidien intra-labyrinthique sur la série 3D HR T2 apporte des critères pronostiques majeures: si le signal liquidien intra-labyrinthique est fortement ou totalement diminué, les chances de récupération auditive apparaissent nulles; en accord avec la clinique ces patients peuvent alors être dirigés rapidement vers une implantation cochléaire avant le stade d'ossification du labyrinthe en particulier en cas d'atteinte bilatérale ou sur oreille unique. Les hémorragies intra-labyrinthiques apparaissent quant à elles toujours de mauvais pronostic pour la récupération auditive avec une ossification intra-labyrinthique rapide nécessitant, là également, une orientation rapide vers l'implantation avant le stade de fibrose ossifiante.

5) Article

Cette étude a fait l'objet d'une publication :

Differential diagnosis and prognosis of T1-weighted post-gadolinium intralabyrinthine hyperintensities.

Dubrulle F, Kohler R, Vincent C, Puech P, Ernst O.

Eur Radiol. 2010 Volume 20 (11), 2628-2636

IV.2. ETUDE EN IMAGERIE HR DES SYNDROMES DE DEHISCENCE DU CANAL SEMI CIRCULAIRE SUPERIEUR

1) Problématique

Le syndrome de déhiscence du canal semi-circulaire supérieur est une pathologie de découverte récente, décrite par Minor en 1998 (99). Cliniquement, il se traduit par une surdité mixte ou de transmission à tympan normal, le plus souvent accompagnée de phénomènes vertigineux plus ou moins marqués. Un phénomène de Tullio peut également être présent (100).

L'ensemble des symptômes est souvent déclenché ou majoré par des variations pressionnelles (avion, plongée...) (101).

L'imagerie a montré son intérêt pour le diagnostic de ce syndrome grâce au scanner hélicoïdal multi-barrettes qui permet de bien analyser le défaut de couverture osseuse du canal semi-circulaire supérieur dans tous les plans de l'espace mais surtout dans le plan sagittal oblique dans l'axe du canal semi-circulaire supérieur (plan de Pöschl) (102, 103). Cette déhiscence est le plus souvent large à contours un peu flous, correspondant à un défaut de couverture osseuse isolé.

2) Matériel et Méthode

Nous avons revu et analysé les 20 derniers cas de déhiscence du CSC supérieur diagnostiqués entre 2007 et 2009 en scanner hélicoïdal HR. Une étude TDM précise a permis d'analyser la taille de la déhiscence dans le plan de Pöschl, l'association à d'autres anomalies en particulier une déhiscence associée du tegmen tympani et /ou antri ou une déhiscence vasculaire. Une corrélation a été faite avec la clinique et les circonstances de découverte en collaboration avec le service d'Otologie avec confrontation clinique et radiologique.

Une IRM a été réalisée lorsque la déhiscence osseuse du CSC supérieur ne paraissait pas simple, avec en particulier, une séquence 3D T2 HR (Drive) et une séquence vasculaire 3D TOF HR après injection de gadolinium permettant des reconstructions multiplanaires y compris dans le plan de Pöschl et une fusion de ces images HR : fusion entre la séquence Drive (coupes reconstruites de 0.4 mm) et la séquence 3D TOF (coupes reconstruites de 0.4 mm) permettant de visualiser dans le même temps le signal liquidien du CSC supérieur et les vaisseaux, en particulier le sinus pétreux supérieur.

Paramètres de la séquence 3D TOF HR (Time of Flight) avec injection de gadolinium:

3D FFE

TR 26

TR 6.9

FOV 200

Matrice 496 x 283

140 coupes de 1 mm

voxel à l'acquisition 0.4 x 0.7 x 1

temps d'acquisition 5mn 23 s

Paramètres de l'acquisition spiralée en TDM : constantes osseuses

vitesse de rotation 0,5 mm/s

durée d'acquisition 60s

hauteur explorée 30 mm

résolution UHR

collimation 2 x 0,5

épaisseur de coupe 0,6 mm

reconstruction 0,3 mm

FOV 200

140 kV – 350 mAs

rotation 1s

matrice 768 x 768

DLP 500 mGy/cm

3) Résultats

20 patients; 7 hommes, 13 femmes, moyenne d'âge 30,5 ans

Sur le plan clinique :

Présence de vertiges dans 75 % des cas, d'un phénomène de Tullio dans 35 % des cas, une surdité était aussi présente dans tous les cas correspondant à une surdité mixte dans 55 % des cas et à une surdité de transmission à tympan normal dans 45 % des cas. Un acouphène était présent dans 60 % des cas, pulsatile dans 45 %. On retrouvait la notion d'une apparition brutale des signes cliniques lors de variations de pression dans 60 % des cas et des symptômes fluctuants lors de variations pressionnelles dans 35 % des cas.

Sur le plan de l'imagerie :

18 cas semblaient classiques en imagerie avec une déhiscence osseuse plus ou moins large en regard du CSC supérieur. Dans 13 cas (65%), cette déhiscence était isolée sans autre anomalie décelable, dans 5 cas (25 %) cette déhiscence osseuse en regard du CSC supérieur, s'accompagnait d'un aspect très fin du tegmen tympani et antri et 2 cas (10%) apparaissaient plus particuliers : évoquant une déhiscence vasculaire localisée au niveau de l'arche du canal semi-circulaire supérieur.

Quatre de ces 18 patients, présentant une déhiscence osseuse isolée, ont été opérés en raison de vertiges et d'acouphènes invalidants. La chirurgie a confirmé la déhiscence osseuse isolée découverte en TDM ; l'intervention pratiquée par voie sus-pétreuse consistait à interposer du fascia, de la poudre d'os, des fragments osseux pour combler la déhiscence et combler le canal à ce niveau (canal plugging ou canal resurfacing) (104, 105).

Dans les 4 cas opérés, l'amélioration clinique a été spectaculaire avec une disparition quasi complète des signes cliniques.

En ce qui concerne les 2 cas plus particuliers de déhiscence vasculaire :

Cas n°1 :

Patiente de 55 ans présentant une surdité de transmission droite, fluctuante, associée à des sensations ébrieuses et surtout à des acouphènes pulsatiles droits mal supportés. Il existait un signe de Hennebert (l'augmentation de pression dans le conduit auditif externe entraînant un nystagmus vertical).

Le scanner réalisé montrait un trajet vasculaire large au niveau du toit du rocher droit au contact du CSC supérieur, les reconstructions MPR montraient que ce vaisseau réalisait une déhiscence localisée avec une encoche nette bien délimitée de 3 mm au niveau de la partie supérieure de l'arche du CSC supérieur, cette encoche était particulièrement bien visualisée sur la reconstruction sagittale oblique.

Une IRM réalisée avec des séquences classiques HR : Drive, Spin Echo T1 avant puis après injection de gadolinium, séquence 3D TOF HR avec gadolinium a révélé que le vaisseau correspondait au sinus pétreux supérieur. La reconstruction sagittale oblique dans l'axe du canal semi-circulaire supérieur réalisée sur la séquence 3D TOF HR confirmait que le sinus pétreux

supérieur était responsable de cette déhiscence localisée. Le signal liquidien était normal sur la séquence Drive au niveau du canal semi-circulaire supérieur comme dans l'ensemble du labyrinthe.

Cas n°2 :

Patiente de 43 ans ayant présenté, dans les suites immédiates d'un premier saut en parachute, une surdité mixte droite associée à des vertiges et à un acouphène droit pulsatile.

Le scanner montrait la présence d'un trajet vasculaire sur le toit du rocher droit réalisant une déhiscence, une encoche bien visualisée sur la reconstruction sagittale oblique.

L'IRM réalisée avec les mêmes séquences que pour le cas précédent montrait, dans ce cas également, que le sinus pétreux supérieur était responsable de cette déhiscence localisée. La fusion entre la séquence Drive et la séquence 3D TOF HR avec gadolinium montrait le contact direct entre le sinus pétreux supérieur et le canal semi-circulaire supérieur. Les liquides intra-labyrinthiques étaient normaux en particulier au niveau du CSC supérieur.

4) Discussion et Conclusion

Sur une série de 20 cas de déhiscence du canal semi-circulaire supérieur découverts et étudiés dans notre service en 3 ans, 18 correspondaient à des déhiscences classiques avec défaut de couverture osseuse du CSC supérieur. Cette déhiscence était plus ou moins large parfois bilatérale mais sans encoche localisée.

Les 2 derniers cas, présentés dans cet article, sont particuliers puisqu'il ne s'agit pas d'un défaut de couverture osseuse comme dans les déhiscences classiques. Il s'agit dans ces deux cas d'un trajet inhabituel du sinus pétreux supérieur qui est situé en position plus antérieure que son trajet normal ; ce canal vasculaire crée alors une encoche au contact du canal semi-circulaire supérieur entraînant la symptomatologie retrouvée classiquement dans les déhiscences osseuses du canal semi-circulaire supérieur comme décrite initialement par Minor (99). Dans les 2 cas, un acouphène pulsatile invalidant était présent.

Le scanner montrait, dans les 2 cas, une encoche localisée correspondant au trajet vasculaire et l'IRM a permis de visualiser le vaisseau en cause et a montré que ce vaisseau était directement au contact des liquides intra-labyrinthiques du canal semi-circulaire supérieur. L'interprétation de l'IRM seule aurait été difficile car le sinus pétreux supérieur serpente de façon normale sur la face supérieure du rocher mais ne réalise pas de déhiscence osseuse. Si l'IRM avait été analysée de

façon isolée, la déhiscence n'aurait vraisemblablement pas été suspectée ; en effet seule une fusion d'images entre la séquence Drive et la séquence 3D TOF a permis de montrer le contact vasculaire associé à des reconstructions MPR sagittales obliques dans l'axe du canal semi-circulaire supérieur (correspondant au plan de Pöschl en TDM). C'est la confrontation entre le scanner et l'IRM qui a permis de positiver cette déhiscence vasculaire. La TDM avait permis de suspecter que la déhiscence était causée par un vaisseau, l'IRM a confirmé cette étiologie et a permis de visualiser le vaisseau en cause grâce à la séquence vasculaire.

La patiente correspondant à notre cas clinique n°1 a été opérée. La prise en charge chirurgicale a été différente d'une chirurgie classique réalisée dans les cas sans déhiscence vasculaire : la voie d'abord reste une voie sus-pétreuse mais nécessite un repérage et une dissection prudente du sinus pétreux supérieur puis interposition de fascia et de fragments de cartilage entre le sinus et le canal semi-circulaire supérieur qui a lui-même été comblé. Le but est d'éviter un saignement du sinus pétreux supérieur lors du comblement du canal. En post-opératoire, les acouphènes et les sensations ébrieuses avaient disparu, la surdité de transmission ne s'était pas modifiée de façon significative.

A notre connaissance, alors que les articles et les séries concernant le syndrome de déhiscence du canal semi-circulaire supérieur sont de plus en plus nombreux (106-110), seul un article dans la littérature révèle un cas clinique similaire de déhiscence du sinus pétreux supérieur (111). Les auteurs évoquent une étiologie inhabituelle et une prise en charge différente qui doit être adaptée.

Ces 2 nouveaux cas montrent que cette variante vasculaire du sinus pétreux supérieur n'est peut-être pas si exceptionnelle (2 cas sur 20 cas de déhiscence découverts en 3 ans dans notre service) et qu'elle doit être recherchée en cas de déhiscence localisée associée à des acouphènes pulsatiles. Le chirurgien pourra alors adapter son approche et sa dissection avec moins de risque de saignement per-opératoire.

Depuis la parution de notre article, un nouveau cas a été décrit dans la littérature (112).

Ainsi, devant une symptomatologie comportant une surdité de transmission à tympan normal ou une surdité mixte associée à une intolérance aux bruits, des épisodes d'instabilité atypique déclenchés par des phénomènes pressionnels, il faut penser à rechercher en TDM une déhiscence du canal semi-circulaire supérieur en réalisant en particulier des reconstructions MPR dans l'axe du canal semi-circulaire supérieur (plan de Pöschl).

Si la déhiscence est localisée, créée par un trajet vasculaire, il faut savoir associer une IRM en particulier une séquence vasculaire de type 3D TOF HR avec gadolinium qui peut révéler une déhiscence vasculaire localisée du sinus pétreux supérieur créant cette encoche. La prise en charge de ces patients, qui présentent souvent un acouphène pulsatile invalidant, peut être chirurgicale

nécessitant une chirurgie un peu différente de celle pratiquée lors d'un défaut de couverture osseuse isolé du canal semi-circulaire supérieur, pour éviter un saignement per-opératoire.

4) Article

Cette étude a fait l'objet d'une publication :

Deux cas particuliers de déhiscence du canal semi-circulaire supérieur par déhiscence du sinus pétreux supérieur.

F Dubrulle, R Kohler, C Vincent, J Casselman
Journal of Neuroradiology 2009, 36, 240-243

V. RECONSTRUCTION ET MODELISATION TRIDIMENSIONNELLES DES TUMEURS DE LA BASE DU CRANE. AIDE VIRTUELLE A LA PLANIFICATION CHIRURGICALE.

1) Problématique

Le but de l'imagerie tridimensionnelle des tumeurs de l'oreille et de la base du crâne est essentiellement d'aider les chirurgiens dans la planification de l'acte chirurgical (109-111)

La base du crâne est une région complexe, présentant de nombreuses structures vasculaires, nerveuses et fonctionnelles à respecter durant la chirurgie.

Une reconstruction tridimensionnelle en TDM de la tumeur exposant ses principales relations dans tous les plans de l'espace peut apporter une aide importante aux chirurgiens avant l'intervention, en particulier dans les tumeurs du foramen jugulaire et de la pointe du rocher. Cette reconstruction est possible grâce à l'acquisition en haute résolution : TDM HR

Ces reconstructions tridimensionnelles s'adressent principalement à la pathologie du foramen jugulaire (paragangliome, schwannome ...) et aux lésions de la pointe du rocher (kyste épidermoïde, granulome à cholestérine ...) ainsi qu'aux méningiomes de la base du crâne.

Le bilan en imagerie de la tumeur est réalisé préalablement, associant le plus souvent scanner et IRM.

2) Matériel et Méthode

Un angi-scanner spiralé de la base du crâne est réalisé pour la reconstruction tridimensionnelle sur un scanner Philips Brilliance 40 barrettes. Cet examen était déjà réalisé sur des scanners antérieurs double barrette (Philips Twinflash).

L'acquisition comprend une double spirale avec une phase artérielle et veineuse, les paramètres sont les suivants : pitch 1, déplacement de table 2mm/s, épaisseur de coupe 0,6mm reconstruction tous les 0,3mm, matrice 512, temps d'acquisition (variable en fonction de la hauteur d'exploration). 120 kV et 250 mAs.

L'injection de produit de contraste est réalisée par un injecteur automatique avec les paramètres suivants : 120cc à 3cc/s puis 30cc à 1cc/s, start délai à 30s pour la première spirale artérielle, 70s pour la deuxième spirale veineuse. Avec ce type d'injection, les vaisseaux sont bien opacifiés durant les deux acquisitions. En cas de tumeur prenant le produit de contraste au temps artériel, type paragangliome, la première spirale sera choisie pour les reconstructions, en cas de tumeur prenant le produit de contraste plus tardivement (méningiome ou neurinome), la deuxième spirale sera choisie.

La reconstruction tridimensionnelle est réalisée sur une console de traitement d'image (Brilliance Workspace) avec le logiciel Surface Schedid Display (SSD). Toutes les structures importantes de la base du crâne sont définies avec une couleur spécifique, les vaisseaux carotidiens en rouge, le système veineux, en particulier jugulaire et sigmoïdien, en bleu, les cavités de l'oreille interne en violet, le nerf facial en jaune et la tumeur, le plus souvent, en vert. Cette couleur spécifique est appliquée par méthode de surfacage. Lorsque celle-ci est possible, une définition automatique est réalisée par une méthode de seuillage (pour les vaisseaux principalement). Pour les autres structures qui concernent le plus souvent la tumeur elle-même, le nerf facial et les cavités de l'oreille interne, un contourage manuel est réalisé coupe à coupe.

3) Résultats et Illustrations

Après cette étape de délimitation des structures, le logiciel permet une visualisation tridimensionnelle de ces éléments au travers des structures osseuses. Des vues dans les trois plans de l'espace sont réalisées, (une vue supérieure ou inférieure, une vue latérale et une vue frontale antérieure).

Cependant, l'intérêt principal de cette reconstruction tridimensionnelle est la possible simulation de l'approche chirurgicale en position opératoire, le plus souvent décubitus dorsal avec rotation latérale de la tête. On visualise premièrement le crâne en externe, en position opératoire, puis pas à pas, selon différentes voies choisies, une progression peut être simulée mettant en évidence les principaux rapports en particulier les rapports vasculaires et nerveux, ainsi que les éléments à disséquer ou à dérouter pour l'abord de la tumeur.

Différentes voies d'abord peuvent être simulées (exemple : voie sus-pétreuse, voie latérale, voie de Fisch ...). Cette visualisation, de par sa nature dynamique, est réalisée avec l'équipe chirurgicale. L'intérêt de cette simulation est d'adapter la voie d'abord à l'extension tumorale et au statut fonctionnel du patient.

Trois exemples sont présentés pour illustrer l'intérêt de cette 3D:

Le premier cas (fig 1) est celui d'une patiente de 50 ans, présentant une tumeur du foramen jugulaire droit, cette tumeur lyse les parois du foramen jugulaire (fig 1a, 1b), la tumeur présente un rehaussement au temps artériel précoce (fig 1c, fig 1d), elle occupe tout le foramen jugulaire, s'étend à l'espace carotidien en refoulant la carotide interne vers l'avant et en l'englobant, la veine

jugulaire est refoulée vers l'arrière. Il existe également une petite extension à l'hypotympan. Il s'agit d'un paragangliome tympano-jugulaire.

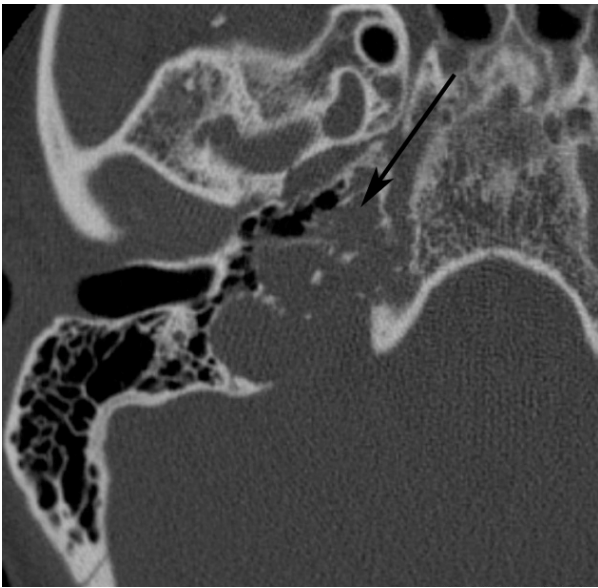


fig 1a

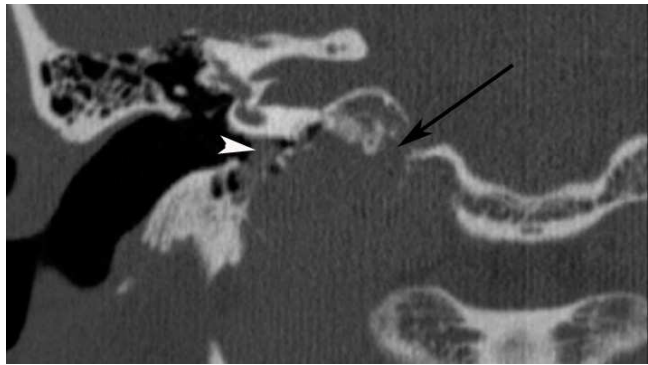


fig 1b



fig 1c

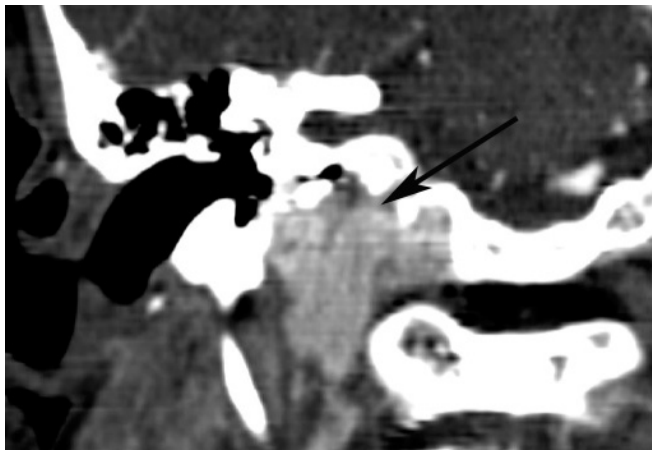
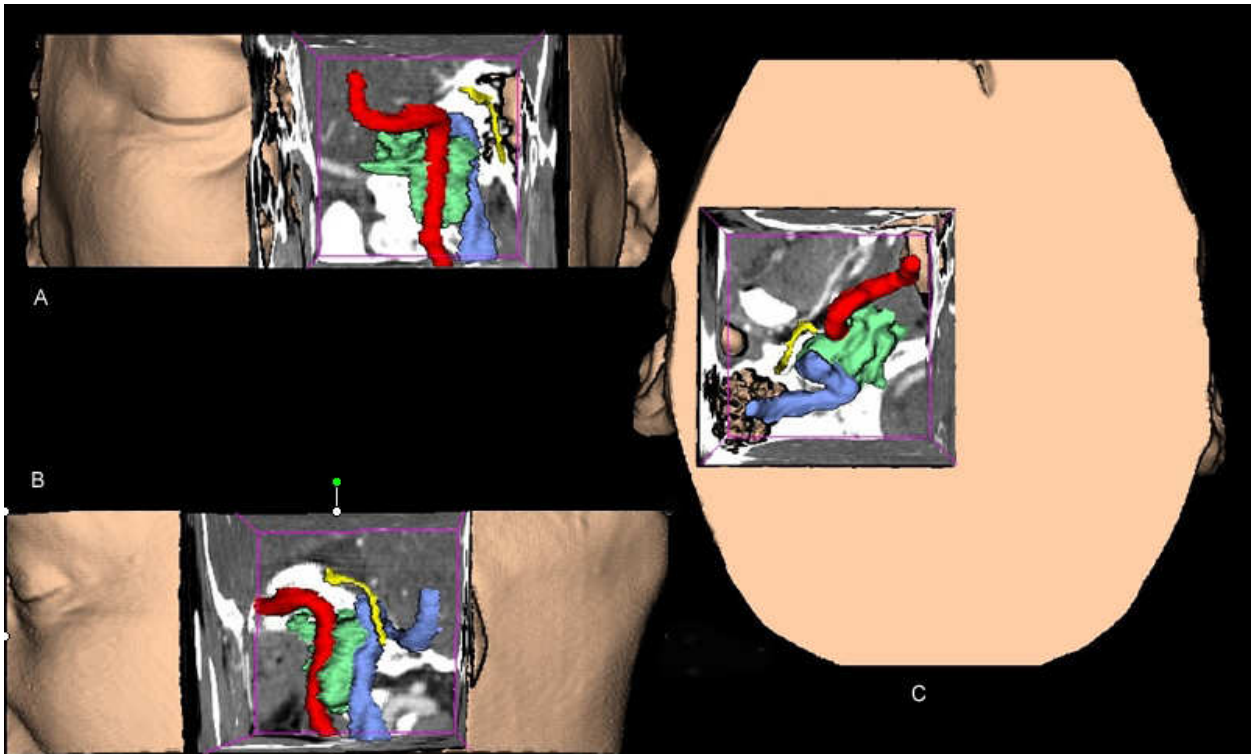


fig 1d

Les reconstructions 3D montrent les rapports de la tumeur avec la veine jugulaire interne, la carotide interne entourée par la tumeur. Sur les plans frontaux et sagittaux, le volume lésionnel est bien apprécié. La reconstruction tridimensionnelle dans les trois plans classiques (fig 1e A vue frontale antérieure, B vue latérale, C vue supérieure) montre les rapports étroits de la tumeur avec la carotide interne (en rouge), la veine jugulaire (en bleu) ainsi que la position exacte du nerf facial (en jaune) par rapport à la tumeur (en vert).

fig 1e



Le second cas est celui d'une patiente présentant une volumineuse tumeur du foramen jugulaire droit étendue à l'angle ponto cérébelleux, cette tumeur (flèche) ne rehausse pas au temps artériel (coupe axiale fig 2a, coupe coronale fig 2b), sa prise de contraste débute au temps veineux (fig 2c flèche), il s'agit d'un schwannome du foramen jugulaire avec une extension importante à l'angle ponto cérébelleux.



fig 2a

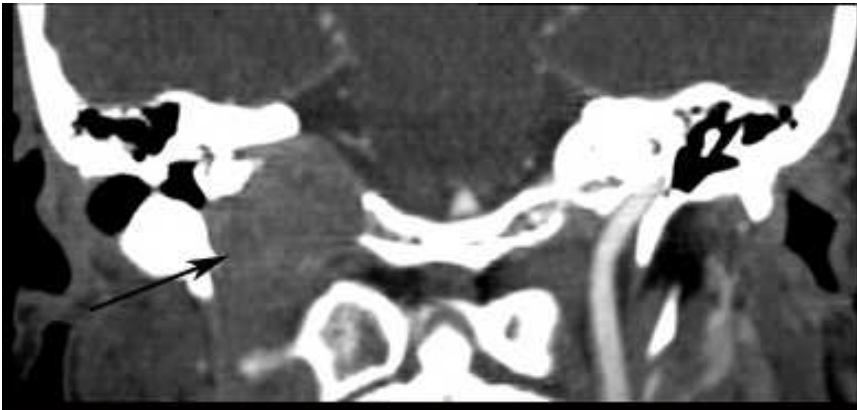
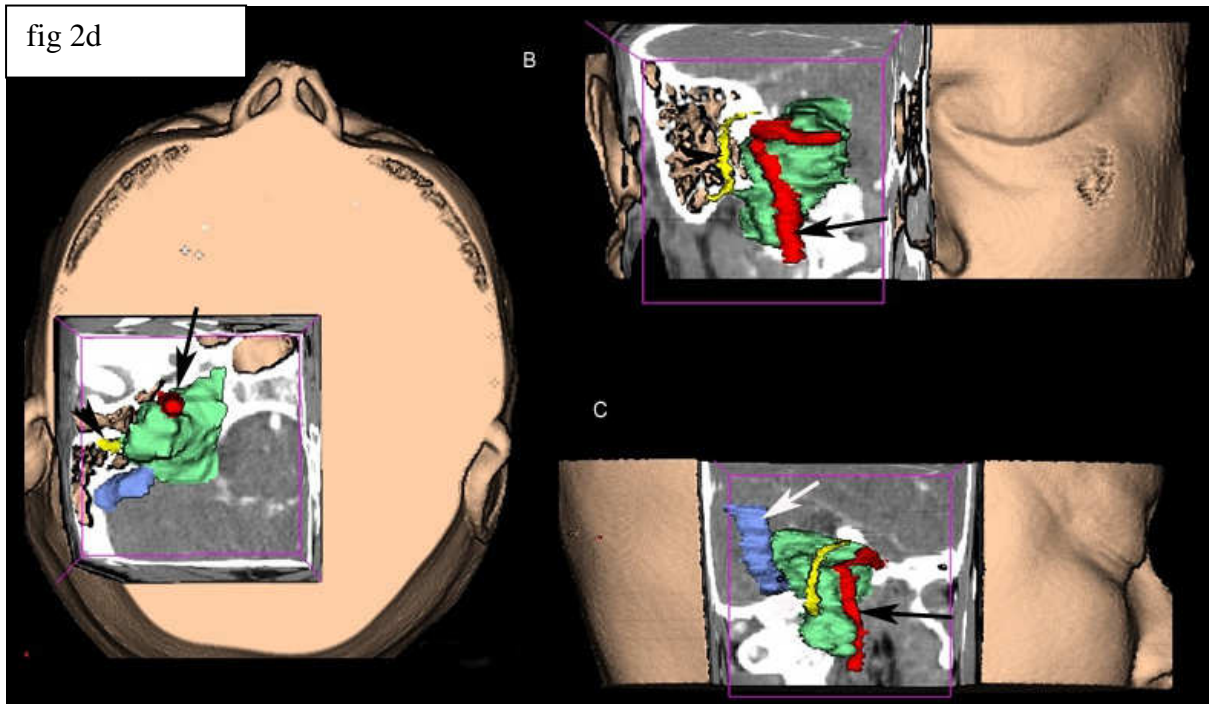


fig 2b



fig 2c

Les reconstructions tridimensionnelles dans les trois plans principaux (fig 2d vue inférieure A, vue antérieure B, vue latérale C) montrent le schwannome (en vert) et ses relations avec l'artère carotide interne (flèche noire), la veine jugulaire en bleu (flèche blanche) et le nerf facial en jaune, cette visualisation tridimensionnelle illustre bien l'englobement du segment vertical de la carotide interne (vue inférieure A).



La présentation en position chirurgicale (fig 2e) consiste en une voie infra temporale (intervention de Fisch type A). Cette simulation montre l'abord premier de la mastoïde (flèche), les rapports lors de la progression avec le sinus sigmoïde en arrière (flèche) qui devra être disséqué. Lors de sa progression, le chirurgien se trouve ensuite en présence de la troisième portion du nerf facial (flèche), qui devra être déplacé antérieurement puis, finalement, de la tumeur elle-même (flèche) et ses relations étroites avec la carotide interne.

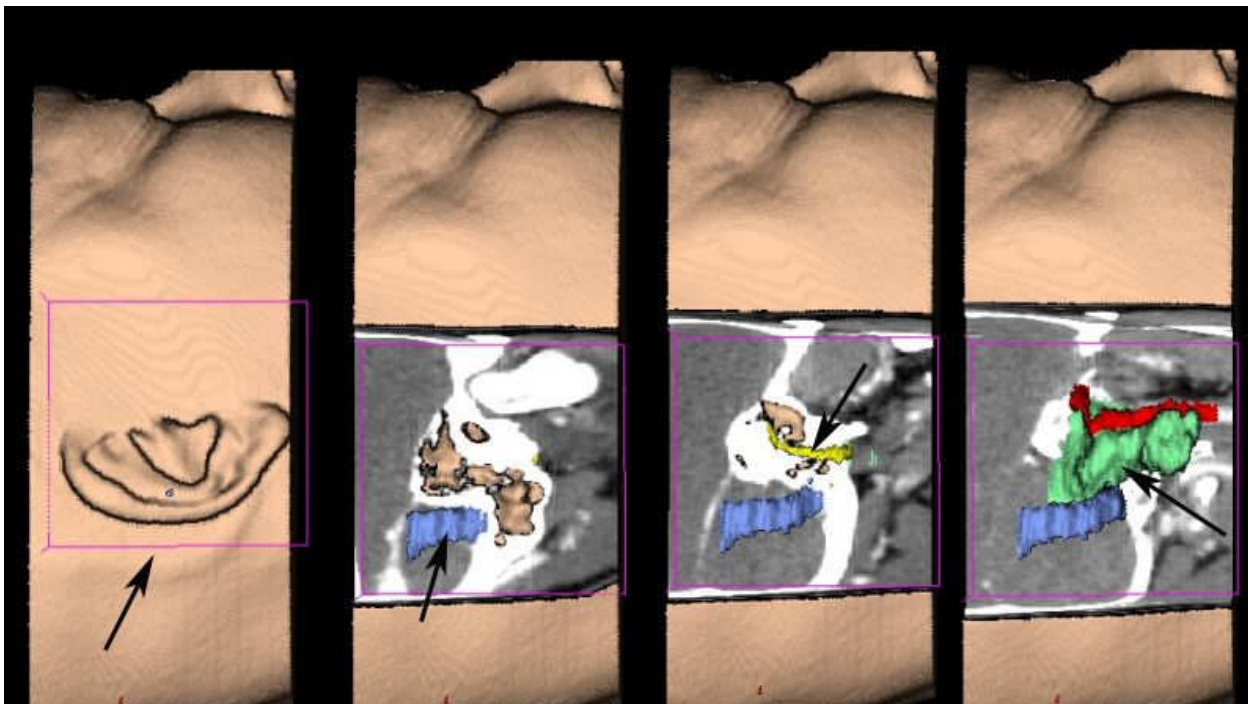


fig 2e

Le troisième cas est celui d'une patiente de 54 ans présentant une volumineuse tumeur lytique de l'apex pétreux droit. Le scanner montre la lyse importante de la pointe du rocher au contact du segment horizontal de la carotide interne (fig 3a), cette tumeur présente un hypersignal T1 spontané (fig3b, flèche), un signal hétérogène en T2 (fig 3c), elle présente des rapports étroits avec la carotide interne en avant et une extension en fosse postérieure vers l'arrière, avec refoulement du tronc cérébral et du paquet acoustico-facial (flèche). Les caractéristiques IRM évoquent un granulome à cholestérine.

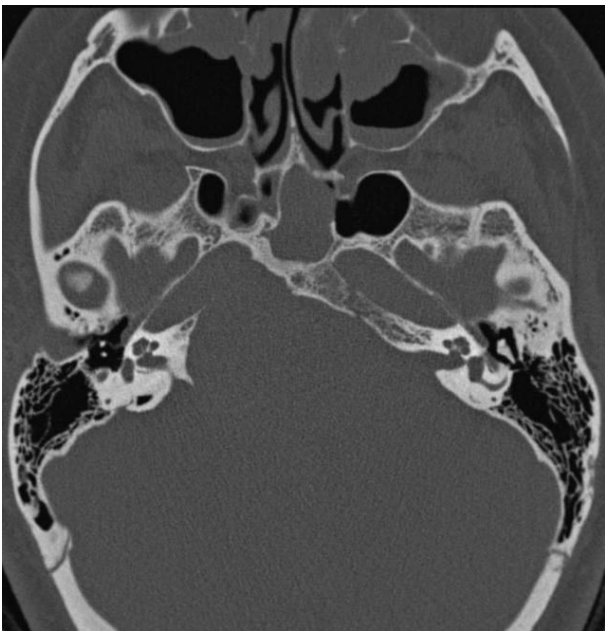


fig 3a



fig 3b



fig 3c

La reconstruction tridimensionnelle dans les trois plans classiques (fig 3d A vue supérieure, B vue antérieure, C vue latérale) confirme ces extensions et montre la position très antéro-supérieure de la tumeur.

La vue axiale révèle les relations de la tumeur avec le segment horizontal de la carotide interne en avant et avec le CAI en arrière. La vue frontale montre la tumeur (en vert), les vaisseaux, le CAI et les rapports avec l'oreille interne en violet dans notre illustration ; la position et les rapports avec le nerf facial (en jaune) sont parfaitement analysés.

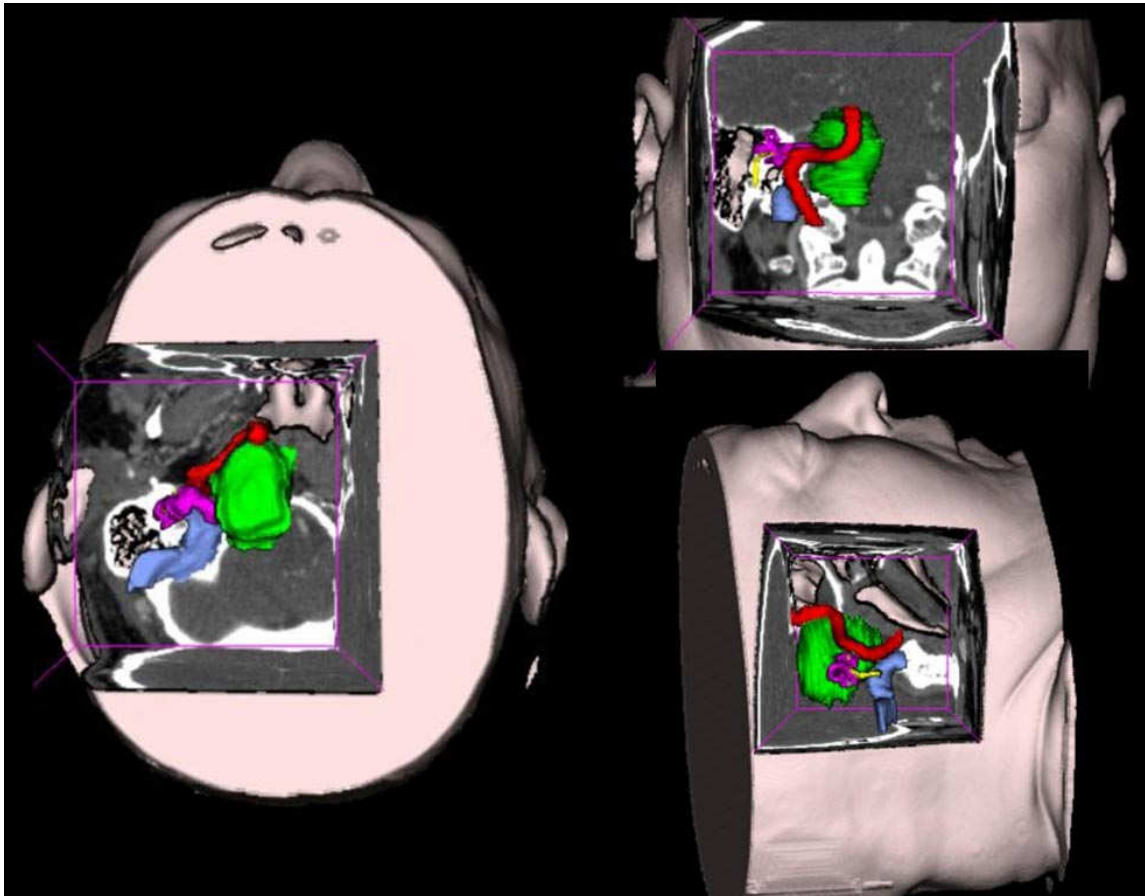
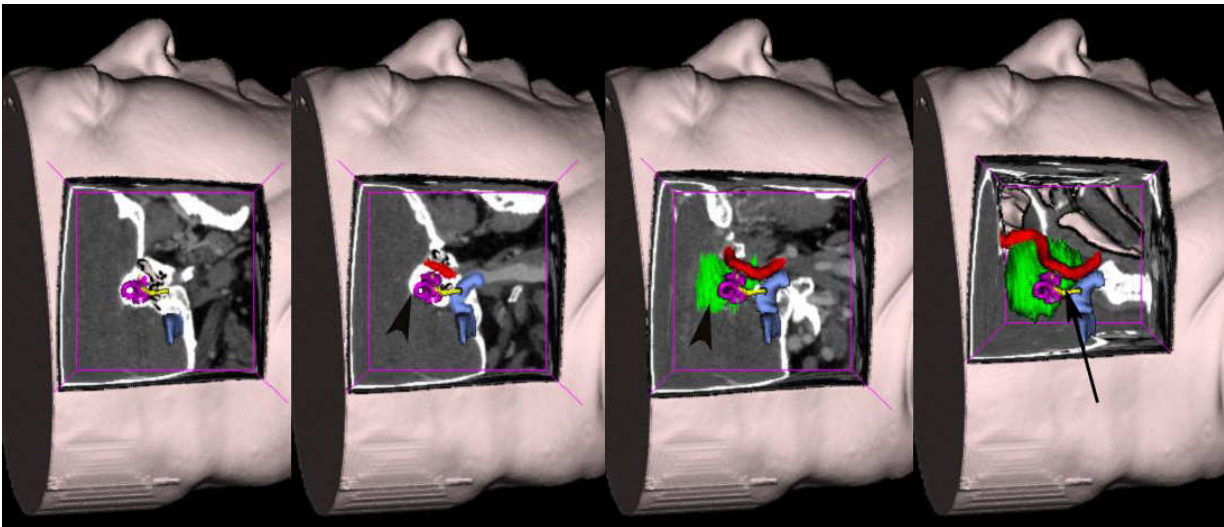


fig 3d

La vue progressive en position chirurgicale latérale (fig 3e) montre qu'une voie infra-labyrinthique ou infra-cochléaire ne permettra pas d'aborder correctement la lésion, une voie pré-auriculaire antérieure (tête de flèche) permettra par contre d'aborder la majeure partie de la lésion en étant le plus conservateur possible pour l'oreille interne et sans lésion du nerf facial. Cette voie pré-auriculaire antérieure abordera en premier l'articulation temporo-mandibulaire, la troisième portion du facial sera respectée en arrière, ensuite une approche au travers des cavités de l'oreille interne permettra de réséquer la tumeur entre la carotide interne en avant et la veine jugulaire en arrière.



4) Discussion – Conclusion

L'intérêt principal des reconstructions tridimensionnelles en TDM, dans la pathologie tumorale de l'oreille et de la base du crâne, est de visualiser dans différents plans de l'espace la tumeur et ses principaux rapports ; en particulier les rapports vasculaires et nerveux, afin de planifier la chirurgie (112-114).

Cette reconstruction tridimensionnelle permet également de simuler différentes voies d'abord chirurgicales pour choisir la voie la moins invasive (115-116).

Cette méthode requiert une bonne collaboration entre radiologues et chirurgiens (117-119), les simulations doivent être réalisées en présence du chirurgien lui-même.

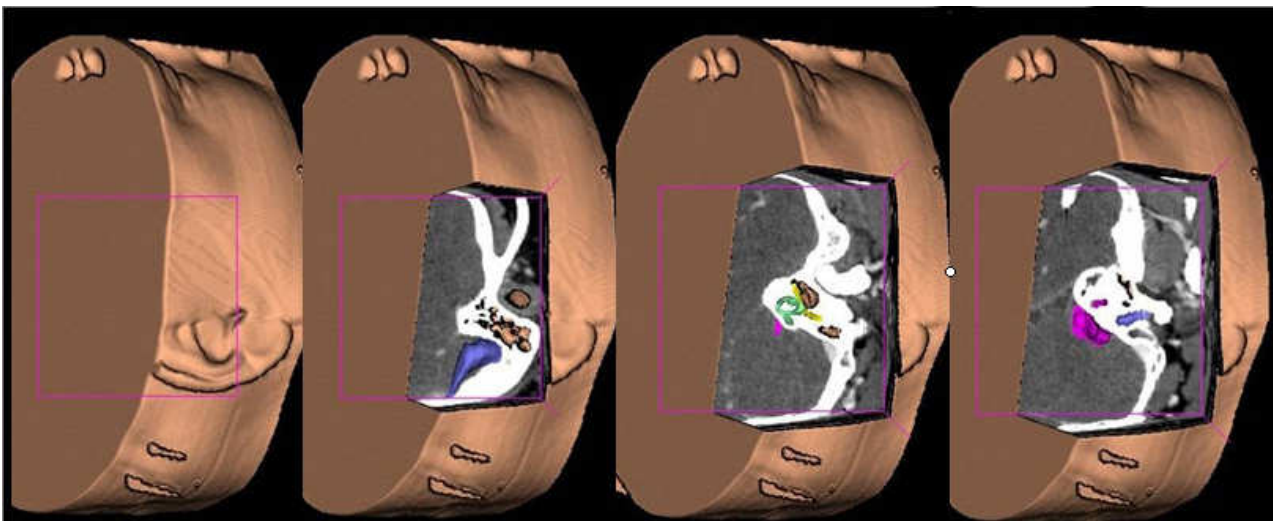
Cette méthode reste cependant longue dans sa réalisation, du fait d'un contour manuel nécessaire des éléments anatomiques à étudier.

Cette étude a été présentée à plusieurs reprises dans des congrès internationaux européens d'imagerie et d'ORL et fait l'objet d'un chapitre à paraître en 2011, dans le livre sur l'imagerie de l'oreille de Francis Veillon.

Depuis plus de 10 ans, toutes les tumeurs de la base du crâne opérées en collaboration oto-neurochirurgicale, en double équipe, dans notre établissement ont bénéficié d'une reconstruction 3D de ce type, 45 reconstructions 3D ont été réalisées en collaboration avec les chirurgiens, un article est en cours de rédaction sur l'apport des reconstructions 3D avant chirurgie de la base du crâne à propos de ces 45 cas.

Ces images 3D peuvent également avoir un intérêt pédagogique pour la description des voies d'abord chirurgicales classiques en base du crâne pour l'apprentissage des jeunes chirurgiens.

Par exemple, une reconstruction 3D d'un schwannome vestibulaire de grade 2 est illustrée en vue axiale et coronale avec ses rapports principaux (l'artère carotide interne, le nerf facial, l'oreille interne), une voie d'abord chirurgicale classique, la voie sus pétreuse, est illustrée : le chirurgien commence la dissection au dessus de l'oreille puis une approche antéro-supérieure de l'os temporal est réalisée, la veine jugulaire est juste en dessous, ensuite la reconstruction 3D permet de voir un repère important dans cette dissection qui est le canal semi circulaire supérieur (ici en vert) et finalement le chirurgien pourra aborder le schwannome directement dans le CAI jusqu'au fond de ce conduit.



D'autres voies d'abord peuvent être simulées à partir de cette même reconstruction 3D d'un schwannome vestibulaire, telles la voie translabyrinthique ou la voie rétro-sigmoïde.

VI. CONCLUSION ET PERSPECTIVES.

Les travaux effectués dans le cadre de cette thèse d'Université ont permis de mieux préciser l'intérêt de l'imagerie Haute Résolution de l'oreille et de la base du crâne.

Les perspectives d'avenir sont riches dans ce domaine, avec en particulier l'adaptation et la mise au point de séquences Haute Résolution en IRM 3 Tesla. En effet, l'augmentation du champ magnétique devrait permettre d'améliorer le rapport signal sur bruit, autorisant ainsi une diminution du voxel sans perte de signal, ce qui conduira à l'augmentation de la résolution spatiale.

Mes voies de recherche sur IRM 3 Tesla, pour l'oreille et la base du crâne, vont désormais s'orienter vers quatre axes principaux :

1. La mise au point d'une séquence 3D HR T2 en IRM 3 Tesla

Sur une IRM 3 Tesla Philips, il s'agit d'adapter et d'améliorer la résolution de la séquence DRIVE.

De premières études ont montré qu'il semble possible d'obtenir un excellent signal avec un voxel isométrique de l'ordre de 0,3 mm (124).

L'objectif est l'étude du labyrinthe intra-membraneux avec, dans un premier temps, la familiarisation avec l'anatomie de ce labyrinthe intra-membraneux en particulier les macules utriculaire et sacculaire (124).

Dans un second temps, cette séquence pourrait permettre de mieux analyser toutes les pathologies du labyrinthe, d'étudier les phénomènes d'hydrops intra-labyrinthiques en particulier dans la maladie de Menière (125, 126, 127, 128) et d'analyser encore plus finement les structures nerveuses du conduit auditif interne.

L'analyse de ces structures nerveuses semble également intéressante dans les schwannomes du conduit auditif interne pour en préciser la localisation exacte sur l'une ou l'autre des structures nerveuses (vestibulaire inférieur, vestibulaire supérieur, cochléaire, facial), cette localisation précise du schwannome apparaît très importante dans la prise en charge thérapeutique, en particulier pour le choix entre chirurgie et radio-chirurgie et en cas de chirurgie pour le choix de la voie d'abord.

L'extension aux canaux de fond du conduit auditif interne devrait être encore mieux précisée et mieux délimitée, en particulier l'extension à la fossette cochléaire.

L'intérêt apparaît également grand pour la recherche et l'analyse des malformations du labyrinthe avec possibilité de reconstructions 3D d'excellente qualité. Une étude morphologique plus précise du nerf cochléaire semble aussi une voie de recherche très intéressante dans les bilans pré-implant

cochléaire avec une analyse précise du calibre de ce nerf (129), en corrélant ces résultats avec les résultats auditifs obtenus après implantation.

2. La mise au point de séquence 3D écho de gradient T1 HR en IRM 3 Tesla

Il s'agit d'adapter et d'améliorer la séquence 3D TFE (Thrive) : le but serait de diminuer de moitié l'épaisseur du voxel. La séquence Thrive permet actuellement un voxel de 1 mm sur IRM 1,5 Tesla, l'objectif serait de passer à 0,5 mm pour permettre de détecter des prises de contraste de plus petite taille dans le conduit auditif interne et dans le labyrinthe mais également d'analyser plus finement les extensions périnerveuses en base du crâne.

Une telle séquence avec un voxel isométrique de 0,5 mm devrait permettre également d'excellentes reconstructions bidimensionnelles et tridimensionnelles.

3. La mise au point d'une séquence de diffusion non EPI HR pour l'oreille en particulier dans la surveillance des cholestéatomes opérés.

Le but est d'obtenir une séquence de plus haute résolution que la séquence de diffusion TSE sur IRM 1.5 Tesla permettant la détection de plus petites récidives de cholestéatome de 2 à 3 mm, ce qui n'est pas possible actuellement.

Notre objectif est de réaliser une étude prospective afin de valider ce type de séquence, pour définir le diamètre minimum des récidives détectées par comparaison à la chirurgie et pour permettre éventuellement de supprimer définitivement les séquences tardives après injection de gadolinium.

Ce domaine de recherche apparaît très prometteur mais vraisemblablement complexe car les artefacts de susceptibilité magnétique au contact des cavités aériques sont plus importants sur 3 Tesla nécessitant une collaboration avec des ingénieurs de recherche physiciens comme cela avait été le cas pour la mise au point de la séquence de diffusion TSE HR sur IRM 1.5 Tesla publiée en 2006.

Des articles, récemment publiés (130, 131), semblent montrer une amélioration de la sensibilité, de la spécificité et des valeurs prédictives positive et négative; avec en particulier, un article sur 17 patients (131) qui obtient d'excellentes VPP et VPN pour la distinction entre cholestéatome et tissu non cholestéatomateux. Cependant, il s'agit d'une séquence de diffusion TSE single shot (HASTE). Nous souhaiterions pouvoir tester et adapter la séquence de diffusion TSE multishot sur 3 Tesla, afin de bénéficier d'un meilleur rapport signal/bruit et d'améliorer encore la résolution spatiale.

4. La réalisation de tests de compatibilité des implants cochléaires sur l'IRM 3Tesla.

De premières études, sur fantômes et cadavres, commencent à paraître sur l'analyse des implants cochléaires en IRM 3 Tesla (132, 133).

Nous avons commencé une étude en partenariat avec la société Neurelec, fabricant de l'implant cochléaire français Digisonic XP sur l'IRM 3 Tesla dédiée à la recherche du CHU de Lille.

Les quatre implants cochléaires, actuellement disponibles, sont compatibles avec un examen sur IRM 1,5 Tesla (134, 135). Le but de notre étude de recherche est d'analyser la compatibilité avec une IRM 3 Tesla.

Cette étude a comporté une première phase sur fantômes. Une deuxième phase commence sur volontaires sains chez lesquels le dispositif d'implant est maintenu par contention externe. Cette phase va permettre de tester différentes séquences IRM, différentes positions de la tête dans l'aimant, afin de vérifier ensuite l'électronique de l'implant mais surtout l'absence de désaimantation du dispositif ou les conditions entraînant cette désaimantation.

Notre objectif est de pouvoir valider ou non la compatibilité des implants cochléaires sur une IRM 3 Tesla et d'établir si nécessaire des recommandations pour le type de séquence et les conditions d'installation du patient dans la machine, comme nous l'avons fait au sein de la Société Française d'Imagerie Tête et Cou, le CIREOL, en juin 2008, pour un examen sur IRM 1,5T (136).

Le nombre d'implants cochléaires posés augmente en effet chaque année, les patients concernés nécessiteront peut-être une imagerie par IRM. Le parc d'IRM 3 T se développant de plus en plus, il apparaît utile de vérifier la compatibilité des implants sur 3 Tesla afin d'établir, si besoin, des recommandations sur la position du patient dans le champ magnétique afin d'éviter toute désaimantation.

VII. RÉFÉRENCES

- 1) Glasscock ME, Hays JW , Minor LB, Haynes DS, Carrasco VN. Preservation of hearing in surgery for acoustic neuromas. *J Neurosurg* 1993; 78: 864-870.
- 2) Haines SJ, Levine SC. Intracanalicular acoustic neuroma : early surgery for preservation of hearing. *J Neurosurg* 1993; 79: 515-520.
- 3) Koos WT, Spetzler RF , Böck FW. Microsurgery of cerebellopontine angle tumors. In : Stuttgart Georg Thieme. *Clinical Microneurosurgery*, 1976 ; 91-112.
- 4) Irving RM, Jackler RK, Pitts LH. J. Hearing preservation in patients undergoing vestibular schwannoma surgery: comparison of middle fossa and retrosigmoid approaches. *Neurosurg.* 1998 May;88(5):840-5;
- 5) Casselman JW, Kuhweide R, Deimling M, Ampe W, Dehaene I, Meeus L. Constructive interference in steady state-3DFT MR imaging of the inner ear and cerebellopontine angle. *AJNR Am J Neuroradiol* 1993; 14: 47-57.
- 6) Wade PJ, House WF. Hearing preservation in patients with acoustic neuromas via the middle fossa approach. *Otolaryngol Head Neck Surg* 1984; 92: 184-193.
- 7) Fischer G, Fischer C, Remond J. Hearing preservation in acoustic neurinoma surgery. *J Neurosurg* 1992; 76: 910-917.
- 8) Thomsen J, Tos M. Management of acoustic neuromas. *Ann Otolaryngol Chir Cervicofac* 1993; 110: 179-191.
- 9) E Louis, JP Lejeune, FM Vaneecloo, C Vincent, A Angot, JL Christiaens. Results of hearing preservation in surgery of vestibular schwannoma. Value of combined retrosigmoid and middle fossa approaches. *Neurochirurgie* 1997; 43: 8-14.

- 10) Eldridge R, Parry D. Summary : Vestibular schwannoma (acoustic neuroma). Consensus development conference. *Neurosurgery* 1992; 30: 962-963.
- 11) Monsell EM, Balkany TA, Gates GA, Goldenberg RA, Meyerhoff WL, House JW. Committee on Hearing and Equilibrium guidelines for the evaluation of hearing preservation in acoustic neuroma (vestibular schwannoma). *Otolaryngol Head Neck Surg* 1995; 113: 179-180.
- 12) Sekhar LN, Gormley WB, Wright DC. The best treatment for vestibular schwannoma (acoustic neuroma) : Microsurgery or Radiosurgery? *Am J Otol* 1996; 17: 676-682.
- 13) Sterkers O, Rey A, Kalamarides M, Matheron R, Bouccara D. Trans-petrous surgery in acoustic neuroma. Value of preoperative audiovestibular and facial investigation in the risk evaluation of facial nerve function. *Ann Otolaryngol Chir Cervicofac* 1997; 114: 176-183.
- 14) Vaneeckloo FM, Jomin M, Ton Van J, Janssen B, Angot A, Vilette L. Problem of the preservation of hearing in acoustic neuroma. Value of the mixed supra petrous and retrosigmoid approach. *Ann Otolaryngol Chir Cervicofac* 1989; 106: 5-11.
- 15) Atlas MD, Harvey C, Fagan PA. Hearing preservation in acoustic neuroma surgery : a continuing study. *Laryngoscope* 1992; 102: 779-783
- 16) Shelton C, Brackmann DE, House WF, Hitselberger WE. Acoustic tumor surgery. Prognostic factors in hearing conservation. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg* 1989; 115: 1213-1216.
- 17) Curtin HD. Rule out eighth nerve tumor: Contrast-enhanced T1-weighted or high-resolution T2-weighted MR? *AJNR* 1997; 18:1834-1838
- 18) Soulie D, Cordoliani YS, Derosier C, Jeanbourquin D, Vignaud J, Cosnard G. MRI of the internal auditory meatus. Is injection of gadolinium indispensable? *J Radiol* 1995; 76: 93-100
- 19) Jenkins HA. Hearing preservation in acoustic neuroma surgery. *Laryngoscope* 1992; 102: 125-128

- 20) Somers T, Casselman J, de Ceulaer G, Govaerts P, Offeciers E Prognostic value of magnetic resonance imaging findings in hearing preservation surgery for vestibular schwannoma. *Otol Neurotol*. 2001 Jan;22(1):87-94
- 21) Moriyama T, Fukushima T, Asaoka K, Roche PH, Barrs DM, McElveen JT Jr. Hearing preservation in acoustic neuroma surgery: importance of adhesion between the cochlear nerve and the tumor. *J Neurosurg*. 2002 Aug;97(2):337-40.
- 22) Jacob A, Robinson LL Jr, Bortman JS, Yu L, Dodson EE, Welling DB. Nerve of origin, tumor size, hearing preservation, and facial nerve outcomes in 359 vestibular schwannoma resections at a tertiary care academic center. *Laryngoscope*. 2007 Dec;117(12):2087-92.
- 23) S.K. Mukherji, A.A. Mancuso, I. Kotzur, W.H. Slattery, J.D. Swartz, R.P. Tart and A. Nall, CT of the temporal bone: findings after mastoidectomy, ossicular reconstruction, and cochlear implantation. *Am. J. Roentgenol*. 1994, 163, 1467–147
- 24) S. Kosling, F. Bootz, CT and MR imaging after middle ear surgery. *Eur J Radiol*. 2001 Nov;40(2):113-8
- 25) Czerny C, Turetschek K, Duman M, Imhof H. Imaging of the middle ear. CT and MRI. *Radiologe* 1997; 37:945-953.
- 26) Campbell JP, Pillsbury HC. The use of computerized tomographic imaging in revision mastoid surgery for chronic otitis media. *Am J Otol* 1990; 11:387-394.
- 27) Blaney SPA, Tierny P, Oyarazabal M, Bowdler DA. CT scanning in “second look” combined approach tympanoplasty. *Rev Laryngol Otol Rhinol* 2000; 121:79-81.
- 28) Wake M, Robinson JM, Witcombe JB, Bazerbachi S, Stansbie JM, Phelps PD. Detection of recurrent cholesteatoma by computerized tomography after “closed cavity” mastoid surgery. *J Laryngol Otol* 1992; 106:393-395.

- 29) Tierney PA, Pracy P, Blaney SP, Bowdler DA. An assessment of the value of the preoperative computed tomography scans prior to oto endoscopic “second look” in intact canal wall mastoid surgery. *Clin Otolaryngol* 1999; 24:274-276.
- 30) Vanden Abeele D, Coen E, Parizel PM, Van de Heyning P. Can MRI replace a second look operation in cholesteatoma surgery? *Acta Otolaryngol* 1999; 119:555-561.
- 31) Sheehy JL, Robinson JV. Revision tympanoplasty: residual and recurrent cholesteatoma: a report on 272 intact canal wall revisions. In: Sade J, ed. Cholesteatoma and Mastoid Surgery: II nd International Conference. Amsterdam: Kugler; 1982:443-448
- 32) Heran F, Williams M. MRI of the ear. *J Neuroradiol.* 2003 Jun; 30(3):131-145.
- 33) Kimitsuki T, Suda Y, Kawano H, Tono T, Komune S. Correlation between MRI findings and second-look operation in cholesteatoma surgery. *ORL J Otorhinolaryngol Relat Spec* 2001; 63:291-293
- 34) N. Martin, O. Sterkers, H. Nahum; Chronic inflammatory disease of the middle ear cavities: Gd-DTPA-enhanced MR imaging. *Radiology* 1990 Aug;176(2):399-405
- 35) Williams MT, Ayache D, Alberti C, et al. Detection of postoperative residual cholesteatoma with delayed contrast-enhanced MR imaging: initial findings. *European Radiology* 2003; 13:169-174.
- 36) F. Dubrulle, Surveillance en Imagerie d’un cholestéatome opéré, « Savoir faire en Imagerie ORL et cervico-faciale » tome 2 *Sauramps Médical* 2003 p 127-147
- 37) Fitzek C, Mewes T, Fitzek S, Mentzel HJ, Hunsche S, Stoeter P. Diffusion-weighted MRI of cholesteatomas of the petrous bone. *J Magn Reson Imaging* 2002 Jun; 15(6):636-41.
- 38) Fitzek CM, Fitzek S, Meves T, Mann W, Stoeter P. Ultrafast MRI examination of cholesteatomas of the petrous bone. *Eur Radiol* 2000; 10[suppl]:295.

- 39) Bergui M, Zhong J, Bradac GB, Sales S. Diffusion-weighted images of intracranial cyst-like lesions. *Neuroradiology* 2001; 43:824-829.
- 40) Joel D, Swartz H, Haensberger R. Imaging of temporal bone. Stuttgart: *Thieme Medical Publishers*; 1997:78.
- 41) Aikele P, Kittner T, Offergeld C, Kaftan H, Huttenbrink K-B, Laniado M. Diffusion-weighted MR imaging in pediatric and adult patients who have undergone middle ear surgery. *AJR* 2003; 181:261-265.
- 42) Le Bihan D, Breton E, Lallemand D, Grenier P, Cabanis E, Laval-Jeantet M. MR imaging in intravoxel incoherent motions: application to diffusion and perfusion in neurologic disorders. *Radiology* 1986; 161:401-407.
- 43) Schaefer PW, Grant PE, Gonzalez RG. Diffusion-weighted MR imaging of the brain. *Radiology* 2000; 217:331-345.
- 44) Annet L, Duprez T, Grandin C, Doms G, Collard A, Cosnard G. Apparent diffusion coefficient measurements within intracranial epidermoid cysts in six patients. *Neuroradiology* 2002; 44:326-328.
- 45) Chen S, Ikawa F, Kurisu K, Takaba J, Kanou Y. Quantitative MR evaluation of intracranial epidermoid tumors by fast fluid-attenuated inversion recovery imaging and echo-planar diffusion-weighted imaging. *AJNR* 2001; 22:1089-1096.
- 46) De Foer B, Vercruyse JP, Bernaerts A, Maes J, Deckers F, Michels J, Somers T, Pouillon M, Offeciers E, Casselman JW. The value of single-shot turbo spin-echo diffusion-weighted MR imaging in the detection of middle ear cholesteatoma. *Neuroradiology* 2007; 49: 841-8.
- 47) De Foer B, Vercruyse JP, Bernaerts A, Deckers F, Pouillon M, Somers T, Casselman J, Offeciers E. Detection of postoperative residual cholesteatoma with non-echo-planar diffusion-weighted magnetic resonance imaging. *Otol Neurotol.* 2008; 29:513-7.

- 48) Dhepnorarat RC, Wood B, Rajan GP. Postoperative non-echo-planar diffusion-weighted magnetic resonance imaging changes after cholesteatoma surgery: implications for cholesteatoma screening. *Otol Neurotol* 2008; 30: 54-58.
- 49) Lemmerling MM, De Foer B, VandeVyver V, Vercruyssen JP, Verstraete KL. Imaging of the opacified middle ear. *Eur J Radiol* 2008; 66: 363-71.
- 50) Sigal R. Tumeurs du nasopharynx; In *Imagerie Radiologique de la tête et du cou*. P Bourjat, F Veillon. *Vigot* 1995 ; 375-389
- 51) Chong VFH. Neoplasms of the nasopharynx. In “*Head and Neck Cancer Imaging*” R Hermans. *Collection Medical Imaging – Springer* 2006; 129-142
- 52) Harnsberger HR. Squamous cell carcinoma, Nasopharynx. In *Diagnostic Imaging Head and Neck*. Amirsys. 2004 III 1 16
- 53) Chong VFH, Mukherji SK, Ng SHH et al. Nasopharyngeal carcinoma: review of how imaging affects staging. *JCAT* 1999; 23: 984-993
- 54) Chong VF, Khoo JB, Fan YF. Imaging of the nasopharynx and skull base. *Neuroimaging Clin N Am*. 2004 Nov;14(4):695-719.
- 55) Lau KY et al. Magnetic resonance for T-staging of nasopharyngeal carcinoma, the most informative pair of sequences. *Jpn J Clin Oncol*. 2004; 34(4): 171-175
- 56) Rohl JL, Sung MW, Kim KH, Choi BY, Oh SH, Rhee CS, Ha JW. Nasopharyngeal carcinoma with skull base invasion: a necessity of staging subdivision. *Am J Otolaryngol*. 2004; 25(1): 26-32
- 57) Cohen F, Monnet O, Casalonga F, Jacquier A, Vidal V, Bartoli JM, Moulin G. Cancer du Nasopharynx. *J Radiol* 2008 ; 89 : 956-67
- 58) Chong VFH, Zhou JY, Khoo JBK, Huang J, Lim TK. Nasopharyngeal Carcinoma Tumor Volume Measurement . *Radiology* 2004; 231: 914-9219.

- 59) Mukherji SK, Schmalfuss IM, Castelijns J, Mancuso AA. Clinical applications of tumor volume measurements for predicting outcome in patients with squamous cell carcinoma of the upper aerodigestive tract. *AJNR* 2004; 25:1425-1432
- 60) Chong VF, Fan YF, Khoo JB. Retropharyngeal lymphadenopathy in nasopharyngeal carcinoma. *Eur J Radiol* 1995; 21:100-105
- 61) UICC, International Union Against Cancer. TNM Classification of malignant tumours, 2002; 6th edition. Wiley-Liss, New York 27-29
- 62) Sobin LH, Wittekind C, eds. UICC TNM classification of malignant tumors 6th ed. New York, NY: Wiley, 2002.
- 63) Gross ND, Ellingson TW, Wax MK, Cohen JI, Andersen PE. Impact of retropharyngeal lymph node metastasis in head and neck squamous cell carcinoma. *Arch Otolaryngol Head and Neck Surg*. 2004; 130(2): 169-173
- 64) Sham JST, Cheung YK, Chan FL, et al. Nasopharyngeal carcinoma: pattern of skeletal metastases. *Br J Radiol* 1990; 63: 202-205
- 65) Sobin LH, Gospodarowicz M, Wittekind C. UICC - TNM Classification of malignant tumors 7th edition, New York: Wiley & Sons; 2010
- 66) Seltzer S, Mark AS. Contrast enhancement of the labyrinth on MR scans in patients with sudden hearing loss and vertigo: evidence of labyrinthine disease. *AJNR Am J Neuroradiol*. 1991 Jan-Feb;12(1):13-6.
- 67) Mark AS, Seltzer S, Harnsberger HR. Sensorineural hearing loss: more than meets the eye? *AJNR Am J Neuroradiol*. 1993 Jan-Feb;14(1):37-45.

- 68) Mark AS, Seltzer S, Nelson-Drake J, Chapman JC, Fitzgerald DC, Gulya AJ. Labyrinthine enhancement on gadolinium-enhanced magnetic resonance imaging in sudden deafness and vertigo: correlation with audiologic and electronystagmographic studies. *Ann Otol Rhinol Laryngol*. 1992 Jun;101(6):459-64.
- 69) Casselman JW, Kuhweide R, Ampe W, Meeus L, Steyaert L. Pathology of the membranous labyrinth: comparison of T1- and T2-weighted and gadolinium-enhanced spin-echo and 3DFT-CISS imaging. *AJNR Am J Neuroradiol*. 1993 Jan-Feb;14(1):59
- 70) Mafee MF. MR imaging of intralabyrinthine schwannoma, labyrinthitis, and other labyrinthine pathology. *Otolaryngol Clin North Am*. 1995 Jun;28(3):407-30
- 71) Mafee MF. Magnetic resonance imaging for evaluation of otic labyrinth pathology. *Top Magn Reson Imaging*. 2000 Feb;11(1):25-37
- 72) Hegarty JL, Patel S, Fischbein N, Jackler RK, Lalwani AK. The value of enhanced magnetic resonance imaging in the evaluation of endocochlear disease. *Laryngoscope*. 2002 Jan;112(1):8-17.
- 73) Shinohara S, Yamamoto E, Saiwai S, Tsuji J, Muneta Y, Tanabe M, Sakamoto T, Kim T. Clinical features of sudden hearing loss associated with a high signal in the labyrinth on unenhanced T1-weighted magnetic resonance imaging. *Eur Arch Otorhinolaryngol*. 2000 Nov; 257(9):480-4.
- 74) Rosado WM Jr, Palacios E. Sudden onset of sensorineural hearing loss secondary to intralabyrinthine hemorrhage: MRI findings. *Ear Nose Throat J*. 2008 Mar;87(3):130-1
- 75) Kuzma BB, Goodman JM. Hemorrhagic lesions causing acute sensorineural hearing loss. *Surg Neurol*. 1998 Jun;49(6):660-1
- 76) Palacios E, Valvassori G. Hemorrhagic labyrinthitis. *Ear Nose Throat J*. 2000 Feb; 79(2):80.

- 77) Weissman JL, Curtin HD, Hirsch BE, Hirsch WL Jr. High signal from the otic labyrinth on unenhanced magnetic resonance imaging. *AJNR Am J Neuroradiol.* 1992 Jul-Aug; 13(4):1183-7.
- 78) Jang CH, Kim YH. Sudden hearing loss in intralabyrinthine haemorrhage in a child. *J Laryngol Otol.* 2004 Jun; 118(6):450-2.
- 79) Radeloff A, Unkelbach MH, Tillein J, Braun S, Helbig S, Gstöttner W, Adunka OF. Impact of intrascalar blood on hearing. *Laryngoscope.* 2007 Jan;117(1):58-62
- 80) Boorman D, Maggs J, McSporrán E, Cheshire I, Pearman K, Proops D. Case report: early bilateral simultaneous cochlear implantation in a five-year-old following head injury complicated by acute bacterial meningitis. *Cochlear Implants Int.* 2004 Sep;5(3):112-6.
- 81) Trimble K, Blaser S, James AL, Papsin BC. Computed tomography and/or magnetic resonance imaging before pediatric cochlear implantation? Developing an investigative strategy. *Otol Neurotol.* 2007 Apr; 28(3):317-24.
- 82) Novak MA, Fifer RC, Barkmeier JC, Firszt JB. Labyrinthine ossification after meningitis: its implications for cochlear implantation. *Otolaryngol Head Neck Surg.* 1990 Sep;103(3):351-6
- 83) Tieleman A, Casselman JW, Somers T, Delanote J, Kuhweide R, Ghekiere J, De Foer B, Offeciers EF. Imaging of intralabyrinthine schwannomas: a retrospective study of 52 cases with emphasis on lesion growth. *AJNR Am J Neuroradiol.* 2008 May;29(5):898-905
- 84) Deux JF, Marsot-Dupuch K, Ouayoun M, Tran Ba Huy P, Sterkers JM, Meyer B, Tubiana JM. Slow-growing labyrinthine masses: contribution of MRI to diagnosis, follow-up and treatment. *Neuroradiology.* 1998 Oct;40(10):684-9.
- 85) Fitzgerald DC, Grundfast KM, Hecht DA, Mark AS. Intralabyrinthine schwannomas. *Am J Otol.* 1999 May;20(3):381-5.
- 86) Kronenberg J, Horowitz Z, Hildesheimer M. Intracochlear schwannoma and cochlear implantation. *Ann Otol Rhinol Laryngol.* 1999 Jul;108(7 Pt 1):659-60.

- 87) Green JD Jr, McKenzie JD. Diagnosis and management of intralabyrinthine schwannomas. *Laryngoscope*. 1999 Oct; 109(10):1626-31.
- 88) Forton GE. Intralabyrinthine schwannomas. *Am J Otol*. 2000 May;21(3):456.
- 89) Montague ML, Kishore A, Hadley DM, O'Reilly BF. MR findings in intralabyrinthine schwannomas. *Clin Radiol*. 2002 May;57(5):355-8.
- 90) Neff BA, Willcox Jr TO, Sataloff RT. Intralabyrinthine schwannomas. *Otol Neurotol*. 2003 Mar;24(2):299-307
- 91) Jackson LE, Hoffmann KK, Rosenberg SI. Intralabyrinthine schwannoma: subtle differentiating symptomatology. *Otolaryngol Head Neck Surg*. 2003 Oct;129(4):439-40
- 92) Kennedy RJ, Shelton C, Salzman KL, Davidson HC, Harnsberger HR. Intralabyrinthine schwannomas: diagnosis, management, and a new classification system. *Otol Neurotol*. 2004 Mar;25(2):160-7.
- 93) Hamed A, Linthicum FH Jr. Intralabyrinthine schwannoma. *Otol Neurotol*. 2005 Sep;26(5):1085-6
- 94) Jia H, Marzin A, Dubreuil C, Tringali S. Intralabyrinthine schwannomas: symptoms and managements. *Auris Nasus Larynx*. 2008 Mar;35(1):131-6.
- 95) Pavillon-Maisonnier C, Faure F, Plouin-Gaudon I, Truy E. *Ann Otolaryngol Chir Cervicofac*. 2007 Dec;124(6):322
- 96) Aho TR, Daspit CP, Dean BL, Wallace RC. Intralabyrinthine meningioma. *AJNR Am J Neuroradiol*. 2003 Sep;24(8):1642-5
- 97) Dahlen RT, Johnson CE, Harnsberger HR, Biediger CP, Syms CA, Fischbein NJ, Schwartz JM. CT and MR imaging characteristics of intravestibular lipoma. *AJNR Am J Neuroradiol*. 2002 Sep;23(8):1413-7

- 98) Vernooij MW, Ikram MA, Vincent AJ, Breteler MM, van der Lugt A. Intravestibular lipoma: an important imaging diagnosis. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg*. 2008 Nov; 134(11):1225-8.
- 99) Minor LB, Solomon D, Zinreich JS, Zee DS. Sound- and/or pressure-induced vertigo due to bone dehiscence of the superior semicircular canal. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg*. 1998 Mar; 124(3):249-58
- 100) Minor LB. Superior canal dehiscence syndrome. *Am J Otol*. 2000 Jan; 21(1):9-19
- 101) Minor LB. Clinical manifestations of the superior semicircular canal dehiscence. *Laryngoscope*. 2005 Oct; 115(10):1717-27
- 102) Belden CJ, Weg N, Minor LB, Zinreich SJ. CT evaluation of bone dehiscence of the superior semicircular canal as a cause of sound- and/or pressure-induced vertigo. *Radiology*. 2003 Feb; 226(2):337-43.
- 103) Branstetter BF 4th, Harrigal C, Escott EJ, Hirsch BE; Superior semicircular canal dehiscence: oblique reformatted CT images for diagnosis. *Radiology*. 2006 Mar; 238(3):938-42.
- 104) Vlastarakos PV, Proikas K, Tavoulari E, Kikidis D, Maragoudakis P, Nikolopoulos TP. Efficacy assessment and complications of surgical management for superior semicircular canal dehiscence: a meta-analysis of published interventional studies. *Eur Arch Otorhinolaryngol*. 2009 Feb;266(2):177-86.
- 105) Limb CJ, Carey JP, Sireddy S, Minor LB. Auditory function in patients with surgically treated superior semicircular canal dehiscence. *Otol Neurotol*. 2006 Oct; 27(7):969-80
- 106) Martin C, Chahine P, Veyret C, Richard C, Prades JM, Pouget JF. Prospective radiological study concerning a series of patients suffering from conductive or mixed hearing loss due to superior semicircular canal dehiscence. *Eur Arch Otorhinolaryngol*. 2009 Aug;266(8):1175-81

- 107) Zhou G, Gopen Q, Poe DS. Clinical and Diagnostic Characterization of Canal Dehiscence Syndrome: A Great Otologic Mimicker. *Otol Neurotol*. 2007 Oct; 28(7):920-6
- 108) Ceylan N, Bayraktaroglu S, Alper H, Savaş R, Bilgen C, Kirazli T, Güzelmansur I, Ertürk SM. CT imaging of superior semicircular canal dehiscence: added value of reformatted images. *Acta Otolaryngol*. 2010 Mar 8. [Epub ahead of print]
- 109) Pfammatter A, Darrouzet V, Gärtner M, Somers T, Van Dinther J, Trabalzini F, Ayache D, Linder T. A superior semicircular canal dehiscence syndrome multicenter study: is there an association between size and symptoms? *Otol Neurotol*. 2010 Apr;31(3):447-54
- 110) Crovetto M, Whyte J, Rodriguez OM, Lecumberri I, Martinez C, Eléxpuru J. Anatomoradiological study of the Superior Semicircular Canal Dehiscence Radiological considerations of Superior and Posterior Semicircular Canals. *Eur J Radiol*. 2009 Jun 18. [Epub ahead of print]
- 111) Puwanarajah P, Pretorius P, Bottrill I. Superior semicircular canal dehiscence syndrome: a new aetiology. *J Laryngol Otol*. 2008 Jul; 122(7):741-4.
- 112) Koo JW, Hong SK, Kim DK, Kim JS. Superior semicircular canal dehiscence syndrome by the superior petrosal sinus. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*. 2010 Apr;81(4):465-7. Epub 2010 Feb 22.
- 113) Herman GT (1988) Three-Dimensional Imaging on a CT or MR Scanner. *J Comput Assist Tomogr*. 12 (3): 450-458
- 114) Vogl TJ, Assal J, Bergman C, Grevers G, Wustrow T, Hamburger C, McMahon C, Lissner J (1993) Three-Dimensional MR reconstruction images of skull base tumors. *J Magn Reson Imaging*. 3 (2): 357-364
- 115) Gandhe AJ, Hill DL, Studholme C, Hawkes DJ, Ruff CF, Cox TC, Gleeson MJ, Strong AJ (1994) Combined and three-dimensional rendered multimodal data for planning cranial base surgery: a prospective evaluation. *Neurosurgery*. 35 (3): 463-470

- 116) Takakura K (1995) Three-dimensional imaging diagnosis for cranial base lesions. *J Craniofac Surg.* 6 (1): 27-31
- 117) Grevers G, Assal J, Vogl T, Wilimzig C (1991) Three-Dimensional magnetic resonance imaging in skull base lesions. *Am J Otolaryngol.* 12 (3): 139-145
- 118) Hill DL, Hawkes DJ, Hussein Z, Green SE, Ruff CF, Robinson GP (1993) Accurate combination of CT and MR data of the head: validation and applications in surgical and therapy planning. *Comput Med Imaging Graph.* 17 (4-5): 357-363
- 119) Kikinis R, Gleason PL, Moriarty TM, Moore MR, Alexander E 3rd, Stieg PE, Matsumae M, Lorensen WE, Cline HE, Black PM, Jolesz FA (1996) Computer-assisted interactive three-dimensional planning for neurosurgical procedures. *Neurosurgery.* 38 (4): 640-649
- 120) Hu XP, Tan KK, Levin DN, Galhotra S, Mullan JF, Hekmatpanah J, Spire JP (1990) Three-dimensional magnetic resonance images of the brain: application to neurosurgical planning. *J Neurosurg.* 72 (3): 433-440
- 121) Leboucq N, Montoya P, Martinez Y, Castan P (1992) 3D imaging and pathology of the base of the skull in children. *Ann Radiol.* 35 (6): 424-429
- 122) Hill DL, Hawkes DJ, Gleason MJ, Cox TC, Strong AJ, Wong WL, Ruff CF, Kitchen ND, Thomas DG, Sofat A (1994) Accurate frameless registration of MR and CT images of the head: applications in planning surgery and radiation therapy. *Radiology* 191 (2): 447-457
- 123) Vogl TJ, Balzer JO, Mack MG, Steger W (1999) Differential Diagnosis in *Head and Neck Imaging*. Thieme, Stuttgart
- 124) Lane JJ, Witte RJ, Bolster B, Bernstein MA, Johnson K, Morris J. State of the art: 3T imaging of the membranous labyrinth. *AJNR Am J Neuroradiol.* 2008 Sep;29(8):1436-40. Epub 2008 Apr 3.

- 125) Carfrae MJ, Holtzman A, Eames F, Parnes SM, Lupinetti A. 3 Tesla delayed contrast magnetic resonance imaging evaluation of Ménière's disease. *Laryngoscope*. 2008 Mar;118(3):501-5.
- 126) Teranishi M, Naganawa S, Katayama N, Sugiura M, Nakata S, Sone M, Nakashima T. Image evaluation of endolymphatic space in fluctuating hearing loss without vertigo. *Eur Arch Otorhinolaryngol*. 2009 Dec;266(12):1871-7. Epub 2009 May 20.
- 127) Naganawa S, Satake H, Iwano S, Fukatsu H, Sone M, Nakashima T. Imaging endolymphatic hydrops at 3 tesla using 3D-FLAIR with intratympanic Gd-DTPA administration. *Magn Reson Med Sci*. 2008;7(2):85-91.
- 128) Naganawa S, Ishihara S, Iwano S, Sone M, Nakashima T. Three-dimensional (3D) visualization of endolymphatic hydrops after intratympanic injection of Gd-DTPA: optimization of a 3D-real inversion-recovery turbo spin-echo (TSE) sequence and application of a 32-channel head coil at 3T. *J Magn Reson Imaging*. 2010 Jan; 31(1):210-4.
- 129) Jaryszak EM, Patel NA, Camp M, Mancuso AA, Antonelli PJ. Cochlear nerve diameter in normal hearing ears using high-resolution magnetic resonance imaging. *Laryngoscope*. 2009 Oct; 119(10):2042-5.
- 130) Lehmann P, Saliou G, Brochart C, Page C, Deschepper B, Vallée JN, Deramond H. 3T MR imaging of postoperative recurrent middle ear cholesteatomas: value of periodically rotated overlapping parallel lines with enhanced reconstruction diffusion-weighted MR imaging. *AJNR Am J Neuroradiol*. 2009 Feb;30(2):423-7. Epub 2008 Oct 22.
- 131) Pizzini FB, Barbieri F, Beltramello A, Alessandrini F, Fiorino F. HASTE diffusion-weighted 3-Tesla magnetic resonance imaging in the diagnosis of primary and relapsing cholesteatoma. *Otol Neurotol*. 2010 Jun; 31(4):596-602.
- 132) Majdani O, Leinung M, Rau T, Akbarian A, Zimmerling M, Lenarz M, Lenarz T, Labadie R. Demagnetization of cochlear implants and temperature changes in 3.0T MRI environment. *Otolaryngol Head Neck Surg*. 2008 Dec; 139(6):833-9.

- 133) Majdani O, Rau TS, Götz F, Zimmerling M, Lenarz M, Lenarz T, Labadie R, Leinung M. Artifacts caused by cochlear implants with non-removable magnets in 3T MRI: phantom and cadaveric studies. *Eur Arch Otorhinolaryngol*. 2009 Dec; 266(12):1885-90. Epub 2009 Jul 23
- 134) Vincent C, Ruzza I, Vaneeckloo FM, Dubrulle F. Magnetic resonance imaging with the Digisonic SP Neurelec cochlear implant. *Eur Arch Otorhinolaryngol*. 2008 Sep; 265(9):1043-6. Epub 2008 Feb 23.
- 135) Crane BT, Gottschalk B, Kraut M, Aygun N, Niparko JK. Magnetic Resonance Imaging at 1.5 T after Cochlear Implantation. *Otol Neurotol*. 2010 Aug 20. [Epub ahead of print]
- 136) Dubrulle F, Veillon F. Mise au point sur l'IRM chez les patients porteurs d'implants cochléaires. Journée de Printemps du CIREOL, Paris, Hôpital Robert Debré, juin 2008, monographie.

VIII. ABRÉVIATIONS

ADP	Adénopathie
BIAP	Bureau International d'Audio Phonologie
CIREOL	Collège d'Imagerie pour la Recherche et l'Enseignement en Otorhino-Laryngologie
CISS	Constructive Interference in Steady State
CSC	Canal Semi Circulaire
3D	Tridimensionnel
EBV	Epstein Barr Virus
EPI	Echo Planar Imaging
FOV	Field of View
FP	Faux Positif
HASTE	Half-fourier Acquisition Single-shot Turbo spin Echo
HR	Haute Résolution – High Resolution
IRM	Imagerie par Résonance Magnétique
MPR	Multi Planar Reconstruction
SE	Spin Echo
SSD	Surface Schedid Display
TDM	Tomodensitométrie
TFE	Turbo Flash gradient Echo
TNM	Tumor Nodes Metastasis
TOF	Time of Fligh
TSE	Turbo Spin Echo
UCNT	Undifferentiated Carcinoma of Nasopharynx
UICC	Union for International Cancer Control
VADS	Voies Aéro Digestives Supérieures
VP	Vrai Positif
VPN	Valeur Prédictive Négative
VPP	Valeur Prédictive Positive