



كلية الطب
والصيدلة - مراكش
FACULTÉ DE MÉDECINE
ET DE PHARMACIE - MARRAKECH

Année 2023

Thèse N° 224

Les corrélations radio-chirurgicales de l'implantation cochléaire.

THÈSE

PRÉSENTÉE ET SOUTENUE PUBLIQUEMENT LE 25 /10 /2023

PAR

Mr. Salah-eddine YOUBI

Né Le 03/03/1996 à Marrakech

POUR L'OBTENTION DU DOCTORAT EN MÉDECINE

MOTS-CLÉS

Implantation cochléaire- Tomodensitométrie- Imagerie par résonnance magnétique-Corrélation.

JURY

M.	S. AIT BENALI	PRESIDENT
	Professeur de Neurochirurgie.	
M.	A. RAJI	RAPPORTEUR
	Professeur d'Oto-Rhino-Laryngologie.	
M.	Y. ROCHDI	
	Professeur d'Oto-Rhino-Laryngologie.	
M.	B. BOUTAKIOUTE	
	Professeur de Radiologie.	
M.	M.D. EL AMRANI	
	Professeur d'Anatomie.	

} JUGES

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

﴿ قَالُوا سُبْحَانَكَ لَا عِلْمَ لَنَا إِلَّا مَا عَلَمْتَنَا إِنَّكَ أَنْتَ
الْعَلِيمُ الْحَكِيمُ ﴾ ٣٦

صَلَّى اللَّهُ عَلَيْهِ وَسَلَّمَ

[سُورَةُ الْبَقَرَةِ ٣٩٠]

Serment d'Hippocrate



Au moment d'être admis à devenir membre de la profession médicale, je m'engage solennellement à consacrer ma vie au service de l'humanité.

Je traiterai mes maîtres avec le respect et la reconnaissance qui leur sont dus.

Je pratiquerai ma profession avec conscience et dignité. La santé de mes malades sera mon premier but. Je ne trahirai pas les secrets qui me seront confiés.

Je maintiendrai par tous les moyens en mon pouvoir l'honneur et les nobles traditions de la profession médicale.

Les médecins seront mes frères. Aucune considération de religion, de nationalité, de race, aucune considération politique et sociale, ne s'interposera entre mon devoir et mon patient.

Je maintiendrai strictement le respect de la vie humaine dès sa conception. Même sous la menace, je n'userai pas mes connaissances médicales d'une façon contraire aux lois de l'humanité.

Déclaration Genève, 1948





*LISTE DES
PROFESSEURS*



UNIVERSITE CADI AYYAD
FACULTE DE MEDECINE ET DE PHARMACIE
MARRAKECH

Doyens Honoriaires : Pr. Badie Azzaman MEHADJI
: Pr. Abdelhaq ALAOUI YAZIDI

ADMINISTRATION

Doyen : Pr. Mohammed BOUSKRAOUI
Vice doyenne à la Recherche et la Coopération : Pr. Hanane RAISS
Vice doyenne aux Affaires Pédagogiques : Pr. Ghizlane DRAISS
Vice doyen chargé de la Pharmacie : Pr. Said ZOUHAIR
Secrétaire Générale : Mr. Azzeddine EL HOUDAIGUI

LISTE NOMINATIVE DU PERSONNEL ENSEIGNANTS CHERCHEURS PERMANANT

N°	Nom et Prénom	Cadre	Spécialité
01	BOUSKRAOUI Mohammed (Doyen)	P.E.S	Pédiatrie
02	CHOULLI Mohamed Khaled	P.E.S	Neuro pharmacologie
03	KHATOURI Ali	P.E.S	Cardiologie
04	NIAMANE Radouane	P.E.S	Rhumatologie
05	AIT BENALI Said	P.E.S	Neurochirurgie
06	KRATI Khadija	P.E.S	Gastro-entérologie
07	SOUIMANI Abderraouf	P.E.S	Gynécologie-obstétrique
08	RAJI Abdelaziz	P.E.S	Oto-rhino-laryngologie
09	KISSANI Najib	P.E.S	Neurologie
10	SARF Ismail	P.E.S	Urologie
11	MOUTAOUKIL Abdeljalil	P.E.S	Ophtalmologie
12	AMAL Said	P.E.S	Dermatologie
13	ESSAADOUNI Lamiaa	P.E.S	Médecine interne
14	MANSOURI Nadia	P.E.S	Stomatologie et chirurgie maxillo faciale
15	MOUTAJ Redouane	P.E.S	Parasitologie
16	AMMAR Haddou	P.E.S	Oto-rhino-laryngologie
17	ZOUHAIR Said	P.E.S	Microbiologie
18	CHAKOUR Mohammed	P.E.S	Hématologie biologique
19	EL FEZZAZI Redouane	P.E.S	Chirurgie pédiatrique
20	YOUNOUS Said	P.E.S	Anesthésie-réanimation

21	BENELKHAIA BENOMAR Ridouan	P.E.S	Chirurgie générale
22	ASMOUKI Hamid	P.E.S	Gynécologie-obstétrique
23	BOUMZEBRA Drissi	P.E.S	Chirurgie Cardio-vasculaire
24	CHELLAK Saliha	P.E.S	Biochimie-chimie
25	LOUZI Abdelouahed	P.E.S	Chirurgie-générale
26	AIT-SAB Imane	P.E.S	Pédiatrie
27	GHANNANE Houssine	P.E.S	Neurochirurgie
28	ABOULFALAH Abderrahim	P.E.S	Gynécologie-obstétrique
29	OULAD SAIAD Mohamed	P.E.S	Chirurgie pédiatrique
30	DAHAMI Zakaria	P.E.S	Urologie
31	EL HATTAOUI Mustapha	P.E.S	Cardiologie
32	ELFIKRI Abdelghani	P.E.S	Radiologie
33	KAMILI El Ouafi El Aouni	P.E.S	Chirurgie pédiatrique
34	MAOULAININE Fadl mrabih rabou	P.E.S	Pédiatrie (Néonatalogie)
35	MATRANE Aboubakr	P.E.S	Médecine nucléaire
36	AIT AMEUR Mustapha	P.E.S	Hématologie biologique
37	AMINE Mohamed	P.E.S	Epidémiologie clinique
38	EL ADIB Ahmed Rhassane	P.E.S	Anesthésie-réanimation
39	MANOUDI Fatiha	P.E.S	Psychiatrie
40	CHERIF IDRISI EL GANOUNI Najat	P.E.S	Radiologie
41	BOURROUS Monir	P.E.S	Pédiatrie
42	ADMOU Brahim	P.E.S	Immunologie
43	TASSI Noura	P.E.S	Maladies infectieuses
44	NEJMI Hicham	P.E.S	Anesthésie-réanimation
45	LAOUAD Inass	P.E.S	Néphrologie
46	EL HOUDZI Jamila	P.E.S	Pédiatrie
47	FOURAIJI Karima	P.E.S	Chirurgie pédiatrique
48	ARSALANE Lamiae	P.E.S	Microbiologie-virologie
49	BOUKHIRA Abderrahman	P.E.S	Biochimie-chimie
50	KHALLOUKI Mohammed	P.E.S	Anesthésie-réanimation
51	BSIISI Mohammed Aziz	P.E.S	Biophysique
52	EL OMRANI Abdelhamid	P.E.S	Radiothérapie
53	SORAA Nabila	P.E.S	Microbiologie-virologie
54	KHOUCHANI Mouna	P.E.S	Radiothérapie
55	JALAL Hicham	P.E.S	Radiologie
56	OUALI IDRISI Mariem	P.E.S	Radiologie
57	ZAHLANE Mouna	P.E.S	Médecine interne
58	BENJILALI Laila	P.E.S	Médecine interne
59	NARJIS Youssef	P.E.S	Chirurgie générale
60	RABBANI Khalid	P.E.S	Chirurgie générale
61	HAJJI Ibtissam	P.E.S	Ophtalmologie
62	EL ANSARI Nawal	P.E.S	Endocrinologie et maladies métabolique
63	ABOU EL HASSAN Taoufik	P.E.S	Anesthésie-réanimation

64	SAMLANI Zouhour	P.E.S	Gastro-entérologie
65	LAGHMARI Mehdi	P.E.S	Neurochirurgie
66	ABOUSSAIR Nisrine	P.E.S	Génétique
67	BENCHAMKHA Yassine	P.E.S	Chirurgie réparatrice et plastique
68	CHAFIK Rachid	P.E.S	Traumato-orthopédie
69	MADHAR Si Mohamed	P.E.S	Traumato-orthopédie
70	EL HAOURY Hanane	P.E.S	Traumato-orthopédie
71	ABKARI Imad	P.E.S	Traumato-orthopédie
72	EL BOUIHI Mohamed	P.E.S	Stomatologie et chirurgie maxillo faciale
73	LAKMICHI Mohamed Amine	P.E.S	Urologie
74	AGHOUTANE El Mouhtadi	P.E.S	Chirurgie pédiatrique
75	HOCAR Ouafa	P.E.S	Dermatologie
76	EL KARIMI Saloua	P.E.S	Cardiologie
77	EL BOUCHTI Imane	P.E.S	Rhumatologie
78	AMRO Lamyae	P.E.S	Pneumo-phtisiologie
79	ZYANI Mohammad	P.E.S	Médecine interne
80	GHOUNDALE Omar	P.E.S	Urologie
81	QACIF Hassan	P.E.S	Médecine interne
82	BEN DRISS Laila	P.E.S	Cardiologie
83	MOUFID Kamal	P.E.S	Urologie
84	QAMOUSS Youssef	P.E.S	Anesthésie réanimation
85	EL BARNI Rachid	P.E.S	Chirurgie générale
86	KRIET Mohamed	P.E.S	Ophtalmologie
87	BOUCHENTOUF Rachid	P.E.S	Pneumo-phtisiologie
88	ABOUCHADI Abdeljalil	P.E.S	Stomatologie et chirurgie maxillo faciale
89	BASRAOUI Dounia	P.E.S	Radiologie
90	RAIS Hanane	P.E.S	Anatomie Pathologique
91	BELKHOU Ahlam	P.E.S	Rhumatologie
92	ZAOUI Sanaa	P.E.S	Pharmacologie
93	MSOUGAR Yassine	P.E.S	Chirurgie thoracique
94	EL MGHARI TABIB Ghizlane	P.E.S	Endocrinologie et maladies métaboliques
95	DRAISS Ghizlane	P.E.S	Pédiatrie
96	EL IDRISI SLITINE Nadia	P.E.S	Pédiatrie
97	RADA Noureddine	P.E.S	Pédiatrie
98	BOURRAHOUAT Aicha	P.E.S	Pédiatrie
99	MOUAFFAK Youssef	P.E.S	Anesthésie-réanimation
100	ZIADI Amra	P.E.S	Anesthésie-réanimation
101	ANIBA Khalid	P.E.S	Neurochirurgie
102	TAZI Mohamed Illias	P.E.S	Hématologie clinique
103	ROCHDI Youssef	P.E.S	Oto-rhino-laryngologie
104	FADILI Wafaa	P.E.S	Néphrologie
105	ADALI Imane	P.E.S	Psychiatrie
106	ZAHLANE Kawtar	P.E.S	Microbiologie-virologie

107	LOUHAB Nisrine	P.E.S	Neurologie
108	HAROU Karam	P.E.S	Gynécologie-obstétrique
109	BASSIR Ahlam	P.E.S	Gynécologie obstétrique
110	BOUKHANNI Lahcen	P.E.S	Gynécologie obstétrique
111	FAKHIR Bouchra	P.E.S	Gynécologie-obstétrique
112	BENHIMA Mohamed Amine	P.E.S	Traumatologie-orthopédie
113	HACHIMI Abdelhamid	P.E.S	Réanimation médicale
114	EL KHAYARI Mina	P.E.S	Réanimation médicale
115	AISSAOUI Younes	P.E.S	Anesthésie-réanimation
116	BAIZRI Hicham	P.E.S	Endocrinologie et maladies métaboliques
117	ATMANE El Mehdi	P.E.S	Radiologie
118	EL AMRANI Moulay Driss	P.E.S	Anatomie
119	BELBARAKA Rhizlane	P.E.S	Oncologie médicale
120	ALJ Soumaya	P.E.S	Radiologie
121	OUBAHA Sofia	P.E.S	Physiologie
122	EL HAOUATI Rachid	P.E.S	Chirurgie Cardio-vasculaire
123	BENALI Abdeslam	P.E.S	Psychiatrie
124	MLIHA TOUATI Mohammed	P.E.S	Oto-rhino-laryngologie
125	MARGAD Omar	P.E.S	Traumatologie-orthopédie
126	KADDOURI Said	P.E.S	Médecine interne
127	ZEMRAOUI Nadir	P.E.S	Néphrologie
128	EL KHADER Ahmed	P.E.S	Chirurgie générale
129	LAKOUICHMI Mohammed	P.E.S	Stomatologie et chirurgie maxillo faciale
130	DAROUASSI Youssef	P.E.S	Oto-rhino-laryngologie
131	BENJELLOUN HARZIMI Amine	P.E.S	Pneumo-phtisiologie
132	FAKHRI Anass	P.E.S	Histologie-embyologie cytogénétique
133	SALAMA Tarik	P.E.S	Chirurgie pédiatrique
134	CHRAA Mohamed	P.E.S	Physiologie
135	ZARROUKI Youssef	P.E.S	Anesthésie-réanimation
136	AIT BATAHAR Salma	P.E.S	Pneumo-phtisiologie
137	ADARMOUCH Latifa	P.E.S	Médecine communautaire (médecine préventive, santé publique et hygiène)
138	BELBACHIR Anass	P.E.S	Anatomie pathologique
139	HAZMIRI Fatima Ezzahra	P.E.S	Histologie-embyologie cytogénétique
140	EL KAMOUNI Youssef	P.E.S	Microbiologie-virologie
141	SERGHINI Issam	P.E.S	Anesthésie-réanimation
142	EL MEZOUARI El Mostafa	P.E.S	Parasitologie mycologie
143	ABIR Badreddine	P.E.S	Stomatologie et chirurgie maxillo faciale
144	GHAZI Mirieme	P.E.S	Rhumatologie
145	ZIDANE Moulay Abdelfettah	P.E.S	Chirurgie thoracique
146	LAHKIM Mohammed	P.E.S	Chirurgie générale
147	MOUHSINE Abdelilah	P.E.S	Radiologie
148	TOURABI Khalid	P.E.S	Chirurgie réparatrice et plastique

149	NADER Youssef	Pr Ag	Traumatologie-orthopédie
150	SEDDIKI Rachid	Pr Ag	Anesthésie-réanimation
151	ARABI Hafid	Pr Ag	Médecine physique et réadaptation fonctionnelle
152	BELHADJ Ayoub	Pr Ag	Anesthésie-réanimation
153	BOUZERDA Abdelmajid	Pr Ag	Cardiologie
154	ARSALANE Adil	Pr Ag	Chirurgie thoracique
155	ABDELFETTAH Youness	Pr Ag	Rééducation et réhabilitation fonctionnelle
156	REBAHI Houssam	Pr Ag	Anesthésie-réanimation
157	BENNAOUI Fatiha	Pr Ag	Pédiatrie
158	ZOUIZRA Zahira	Pr Ag	Chirurgie Cardio-vasculaire
159	SEBBANI Majda	Pr Ag	Médecine Communautaire (Médecine préventive, santé publique et hygiène
160	ABDOU Abdessamad	Pr Ag	Chirurgie Cardio-vasculaire
161	HAMMOUNE Nabil	Pr Ag	Radiologie
162	ESSADI Ismail	Pr Ag	Oncologie médicale
163	MESSAOUDI Redouane	Pr Ag	Ophtalmologie
164	ALJALIL Abdelfattah	Pr Ag	Oto-rhino-laryngologie
165	LAFFINTI Mahmoud Amine	Pr Ag	Psychiatrie
166	RHARRASSI Issam	Pr Ag	Anatomie-pathologique
167	ASSERRAJI Mohammed	Pr Ag	Néphrologie
168	JANAH Hicham	Pr Ag	Pneumo-phtisiologie
169	NASSIM SABAH Taoufik	Pr Ag	Chirurgie réparatrice et plastique
170	ELBAZ Meriem	Pr Ag	Pédiatrie
171	BELGHMAIDI Sarah	Pr Ag	Ophtalmologie
172	FENANE Hicham	Pr Ag	Chirurgie thoracique
173	GEBRATI Lhoucine	Pr Hab	Chimie
174	FDIL Naima	Pr Hab	Chimie de coordination bio-organique
175	LOQMAN Souad	Pr Ass	Microbiologie et toxicologie environnementale
176	BAALLAL Hassan	Pr Ag	Neurochirurgie
177	BELFQUIH Hatim	Pr Ag	Neurochirurgie
178	MILOUDI Mouhcine	Pr Ag	Microbiologie-virologie
179	AKKA Rachid	Pr Ag	Gastro-entérologie
180	BABA Hicham	Pr Ag	Chirurgie générale
181	MAOUJOUD Omar	Pr Ag	Néphrologie
182	SIRBOU Rachid	Pr Ag	Médecine d'urgence et de catastrophe
183	EL FILALI Oualid	Pr Ag	Chirurgie Vasculaire périphérique
184	EL- AKHIRI Mohammed	Pr Ag	Oto-rhino-laryngologie
185	HAJJI Fouad	Pr Ag	Urologie
186	OUMERZOUK Jawad	Pr Ag	Neurologie
187	JALLAL Hamid	Pr Ag	Cardiologie

188	ZBITOU Mohamed Anas	Pr Ag	Cardiologie
189	RAISSI Abderrahim	Pr Ag	Hématologie clinique
190	BELLASRI Salah	Pr Ag	Radiologie
191	DAMI Abdallah	Pr Ass	Médecine Légale
192	AZIZ Zakaria	Pr Ass	Stomatologie et chirurgie maxillo faciale
193	ELOUARDI Youssef	Pr Ag	Anesthésie-réanimation
194	LAHLIMI Fatima Ezzahra	Pr Ag	Hématologie clinique
195	EL FAKIRI Karima	Pr Ass	Pédiatrie
196	NASSIH Houda	Pr Ag	Pédiatrie
197	LAHMINI Widad	Pr Ag	Pédiatrie
198	BENANTAR Lamia	Pr Ag	Neurochirurgie
199	EL FADLI Mohammed	Pr Ag	Oncologie mé0dicale
200	AIT ERRAMI Adil	Pr Ag	Gastro-entérologie
201	CHETTATTI Mariam	Pr Ag	Néphrologie
202	SAYAGH Sanae	Pr Ass	Hématologie
203	BOUTAKIOUTE Badr	Pr Ag	Radiologie
204	DOUIREK Fouzia	Pr Ass	Anesthésie-réanimation
205	EL HAKKOUNI Awatif	Pr Ass	Parasitologie mycologie
206	BELARBI Marouane	Pr Ass	Néphrologie
207	AMINE Abdellah	Pr Ass	Cardiologie
208	CHETOUI Abdelkhalek	Pr Ass	Cardiologie
209	WARDA Karima	Pr Ass	Microbiologie
210	EL AMIRI My Ahmed	Pr Ass	Chimie de Coordination bio-organique
211	CHAHBI Zakaria	Pr Ass	Maladies infectieuses
212	MEFTAH Azzelarab	Pr Ass	Endocrinologie et maladies métaboliques
213	ROUKHSI Redouane	Pr Ass	Radiologie
214	EL GAMRANI Younes	Pr Ass	Gastro-entérologie
215	ARROB Adil	Pr Ass	Chirurgie réparatrice et plastique
216	SALLAHI Hicham	Pr Ass	Traumatologie-orthopédie
217	ACHKOUN Abdessalam	Pr Ass	Anatomie
218	DARFAOUI Mouna	Pr Ass	Radiothérapie
219	EL-QADIRY Rabiy	Pr Ass	Pédiatrie
220	ELJAMILI Mohammed	Pr Ass	Cardiologie
221	HAMRI Asma	Pr Ass	Chirurgie Générale
222	ELATIQI Oumkeltoum	Pr Ass	Chirurgie réparatrice et plastique
223	BENZALIM Meriam	Pr Ass	Radiologie
224	ABOULMAKARIM Siham	Pr Ass	Biochimie
225	LAMRANI HANCHI Asmae	Pr Ass	Microbiologie-virologie
226	HAJHOUJI Farouk	Pr Ass	Neurochirurgie
227	EL KHASSOUI Amine	Pr Ass	Chirurgie pédiatrique
228	SBAAI Mohammed	Pr Ass	Parasitologie-mycologie
229	FASSI FIHRI Mohamed jawad	Pr Ass	Chirurgie générale
230	BENCHAFAI Ilias	Pr Ass	Oto-rhino-laryngologie

231	SLIOUI Badr	Pr Ass	Radiologie
232	EL JADI Hamza	Pr Ass	Endocrinologie et maladies métaboliques
233	AZAMI Mohamed Amine	Pr Ass	Anatomie pathologique
234	YAHYAOUI Hicham	Pr Ass	Hématologie
235	ABALLA Najoua	Pr Ass	Chirurgie pédiatrique
236	MOUGUI Ahmed	Pr Ass	Rhumatologie
237	SAHRAOUI Houssam Eddine	Pr Ass	Anesthésie-réanimation
238	AABBASSI Bouchra	Pr Ass	Pédopsychiatrie
239	SBAI Asma	Pr Ass	Informatique
240	HAZIME Raja	Pr Ass	Immunologie
241	CHEGGOUR Mouna	Pr Ass	Biochimie
242	RHEZALI Manal	Pr Ass	Anesthésie-réanimation
243	ZOUTA Btissam	Pr Ass	Radiologie
244	MOULINE Souhail	Pr Ass	Microbiologie-virologie
245	AZIZI Mounia	Pr Ass	Néphrologie
246	BENYASS Youssef	Pr Ass	Traumato-orthopédie
247	BOUHAMIDI Ahmed	Pr Ass	Dermatologie
248	YANISSE Siham	Pr Ass	Pharmacie galénique
249	DOULHOUSNE Hassan	Pr Ass	Radiologie
250	KHALLIKANE Said	Pr Ass	Anesthésie-réanimation
251	BENAMEUR Yassir	Pr Ass	Médecine nucléaire
252	ZIRAOUI Oualid	Pr Ass	Chimie thérapeutique
253	IDALENE Malika	Pr Ass	Maladies infectieuses
254	LACHHAB Zineb	Pr Ass	Pharmacognosie
255	ABOUDOURIB Maryem	Pr Ass	Dermatologie
256	AHBALA Tariq	Pr Ass	Chirurgie générale
257	LALAOUI Abdessamad	Pr Ass	Pédiatrie
258	ESSAFTI Meryem	Pr Ass	Anesthésie-réanimation
259	RACHIDI Hind	Pr Ass	Anatomie pathologique
260	FIKRI Oussama	Pr Ass	Pneumo-phtisiologie
261	EL HAMDAOUI Omar	Pr Ass	Toxicologie
262	EL HAJJAMI Ayoub	Pr Ass	Radiologie
263	BOUMEDIANE El Mehdi	Pr Ass	Traumato-orthopédie
264	RAFI Sana	Pr Ass	Endocrinologie et maladies métaboliques
265	JEBRANE Ilham	Pr Ass	Pharmacologie
266	LAKHDAR Youssef	Pr Ass	Oto-rhino-laryngologie
267	LGHABI Majida	Pr Ass	Médecine du Travail
268	AIT LHAJ El Houssaine	Pr Ass	Ophtalmologie
269	RAMRAOUI Mohammed-Es-said	Pr Ass	Chirurgie générale
270	EL MOUHAFID Faisal	Pr Ass	Chirurgie générale

LISTE ARRETEE LE 04/10/2023



DEDICACES



Je tiens tout d'abord à exprimer ma profonde gratitude envers Allah, miséricordieux et tout puissant, pour la clarté d'esprit et la persévérence qu'il m'a accordé tout au long de mon parcours.

Je le remercie de m'avoir inspiré et guidé sur le droit chemin.

A ma très chère maman

Tous les mots du monde ne sauraient exprimer l'amour et l'attachement que je te porte très chère maman, toi qui m'as porté, accompagné, éduqué et surtout comblé d'amour et d'affection. Tes conseils ont toujours réussi à éclairer mon chemin, et tes prières à accomplir mes rêves. Tu m'as toujours pris par la main, apporté ton soutien et consolé mes chagrins. Je n'aurais jamais pu en arriver là sans toi. Grâce à ton amour, ta douceur, ta bienveillance et ta générosité, j'ai réussi à surmonter les moments les plus difficiles. Tu as toujours été mon réconfort, mon guide, mon repère et ma certitude. Tu es ma source inépuisable de courage et de motivation, tu m'as toujours aidé à me relever à chaque fois que je tombais, et à persévéérer à chaque fois que je ne voyais plus la lumière au bout du tunnel. Pour toutes les peines que tu as endurées en m'accompagnant durant ce long parcours, je ne peux qu'exprimer ma gratitude absolue. Merci pour ton sacrifice maternel inégalable. Merci pour toutes ces qualités humaines que tu ne cesses de nous inculquer. Puisse Dieu le tout puissant te préserver de tout mal, te combler de santé, de bonheur et t'accorder une longue et heureuse vie afin que je puisse te rendre un minimum de ce que je te dois.

Je t'aime très fort Maman.

A mon cher papa

À celui qui m'a indiqué la bonne voie en me rappelant que la volonté trouve les moyens.

Tu es et tu resteras mon premier exemple : l'exemple du courage, du dévouement, de l'honnêteté, de la persévérence et du sacrifice. Tu m'as appris comment affronter la vie, et c'est grâce à ton enseignement des valeurs et du devoir que j'ai pu m'accomplir.

J'espère de tout cœur être le petit fils dont tu as toujours rêvé, et couronner tes années de sacrifice et d'espoir. Aucun mot ne saurait exprimer toute ma reconnaissance et ma gratitude à ton égard. Pour tous tes encouragements et tout le réconfort qui n'ont cessé de m'épauler, je te dédie ce travail en témoignage de mon grand amour.

Je t'aime papa.

A mon grand frère Hicham

Tu m'as toujours inspiré et poussé à me surpasser, tu m'as protégé et soutenu tout au long de ma vie.

Tout petit, je t'ai toujours accompagné tard la nuit dans tes aventures et tes entraînements.

Je suis très fier de ce que tu es devenu aujourd'hui, malgré les doutes et les difficultés.

Ta persévérance, ta vivacité d'esprit et ta joie de vivre te mèneront vers les meilleurs horizons.

Que ce travail soit le témoignage de mon grand amour et respect.

A ma grande sœur Souraya

Depuis notre enfance, nous avons partagé tellement de moments mémorables ensemble, et je suis tellement reconnaissant d'avoir une sœur aussi merveilleuse.

Ton amour inconditionnel, et ton soutien indéfectible m'ont toujours poussé à poursuivre mes rêves.

Je te dédie ce travail en témoignage de ma profonde affection et gratitude.

A ma précieuse Yasmine Yassine

Mon rayon de soleil, mon bonheur quotidien, et mon refuge favori.

À la meilleure amie de tous les temps, au plus beau cadeau que la vie m'aït offert.

Merci pour ta patience, ton soutien et ta compréhension.

Tu as toujours su me révéler, me sublimer à tes yeux, et me réconcilier avec moi-même.

Ton dévouement, et ta persévérance m'ont toujours poussé à poursuivre mes rêves et à croire en mes ambitions.

Pour tous les moments formidables que nous avons partagés, pour les précieux souvenirs que nous avons créés, gravés à jamais dans ma mémoire et que je chéri profondément.

À la Femme exceptionnelle que tu es

Je dédie ce travail.

En témoignage de ma reconnaissance, et de mon respect.

En témoignage de mon admiration, et de mon amour profond.

Je t'aimais, je t'aime et je t'aimerai.

A tous les membres de ma famille

Tous les mots ne sauraient exprimer la gratitude, l'amour, le respect, et la reconnaissance sincères que j'ai pour vous.

Merci pour vos encouragements et votre soutien tout au long de ces années. Je vous dédie ce travail et je vous souhaite une vie pleine de bonheur, de santé et de prospérité.

A Mme Nabila Alami et Mr Samir Alami

Recevez ce travail en témoignage de mon estime, de mon respect et de mon attachement.

Votre gentillesse et générosité sont telles qu'aucun remerciement ne pourra les gratifier.

Je vous souhaite une vie pleine de santé, de bonheur et de réussite.

A mes très chers amis

Mehdi Saadoune, Youssef Houmair, Houssam Chait, Reda Mouflah, Abdelskafi Salami, Soulaïmane Ahbabi, Younes Aarab, Néjmeddine Kharbouch, Marouane Slimani

Je ne saurais trouver une expression témoignant de ma reconnaissance et des sentiments de fraternité que je vous porte.

En témoignage de l'amitié qui nous unit et des souvenirs de tous les moments que nous avons partagés ensemble, je vous dédie ce travail et je vous souhaite une vie pleine de santé et de réussite.

A mes très chers amis

Zakaria ait hmiti, Anas Iddir, Haitham Mouahid, Khalil Tber.

À tous ces bons moments passés ensemble, à tous nos éclats de rire, à nos souvenirs.

Je vous dédie ce travail en témoignage de ma reconnaissance et de mon respect.

A mon ami et co-équipier Mohammed Amine Makhoukhi

Je te dédie ce travail en hommage à ton courage, à ta force et ta résilience. Je n'oublierai jamais nos trajets à pied ou à bicyclette tard la nuit, après la fin de nos entraînements.

Je suis très heureux que tu sois enfin guéri, et capable de revenir sur le terrain, toujours avec le sourire et la bonne humeur.

Au trio Alî Jakani, Jaâfar Benrahemoune et Oussama Belmokadem.

*La dream team qui m'a inspiré à jouer au basket.
En souvenir de tous les moments agréables passés ensemble, nos uns contre un sans fin, notre « Dunk Contest » quotidien, et notre passion pour la NBA.
Je vous dédie ce travail en témoignage de mon respect et des sentiments de fraternité que je vous porte.*

A mon maître Professeur Othmane Benhoummad

Je tiens à vous remercier pour votre patience, votre soutien, et votre encadrement de qualité, sans vous ce travail n'aurait jamais vu le jour.

A mon maître Professeur Al Jalil.

*Vous étiez toujours là pour me guider, me pousser à me surpasser et à donner le meilleur de moi-même.
Je vous dédie ce travail en témoignage de ma reconnaissance, de mon profond respect et de mon admiration.*

A mon Mentor Professeur Hanine.

*Tu étais pour moi mon grand frère et tu le resteras à jamais.
Ta force, ton courage, et ta résilience ont toujours été une source d'inspiration pour moi.*

*Grace à toi, j'ai appris avant tout à être un homme.
J'espère que tu trouveras dans ce travail le témoignage de ma très haute considération et de mon profond respect.*

*A toute l'équipe du service d'ORL de l'Hôpital Militaire Avicenne de Marrakech
Des gens merveilleux sans pareil, je remercie Professeur Darouassi, Professeur Touati, Professeur El Akhiri, Professeur Benchaïfa, Dr Mosaab, Dr Chebraoui pour leur bienveillance, et leur soutien durant mon passage.*

Je vous dédie ce travail en témoignage de ma reconnaissance et de mes sentiments distingués.

A mon maître Professeur Oulghoul, Professeur Chehbouni et Professeur Lakhdar.

*Je vous remercie pour vos efforts, votre engagement, votre soutien, et votre encadrement.
J'espère un jour être un grand chirurgien comme vous.*

*À toute l'équipe du service d'ORL du CHU Mohammed VI de Marrakech.
Je remercie Dr Rochd, Dr Berrada, Dr Zaroual, Dr Kajai, Dr Khalifa, Dr Salhi,
Dr Rizkou, Dr Idrissi, Dr Benjalloune, Dr Zantaoui, Dr Yafi, Dr Liqali, Dr
Hafdi, Dr Agouassif, Dr Bourhi, Dr Jaouhari, Dr Rami, Dr Ait Lhadj, Dr
Sarda, Dr Moufannane, Dr Lamoih, Dr Seddik, Dr Kabuiku, Dr Elboussouni,
Dr Baala, Dr Addi, Dr Amou, Dr Kabbaj, Dr Boutaba, Dr Laghrib, Dr
Hasnassi, Dr Boutraih, Dr Meryam, Dr Abou.*

*À toute l'équipe du service de Neurochirurgie du CHU Mohammed VI de
Marrakech.*

*Professeur Laghmari, Professeur Ghanane, Professeur Farouk, Dr Griche, Dr
Arrad, Dr Lamyae, Dr Fah, Dr Arsène, Dr Malak, Dr Arjdal, Dr Belih, Dr
Turpin, Dr Nahla, Dr Luke, Dr Moad.*

*Merci de m'avoir épaulé, et accompagné durant mon passage. Merci pour votre
soutien et tous vos conseils
Recevez ce travail en témoignage de ma très haute considération.*

À mes meilleurs amis de la 19ème promotion des internes de Marrakech.

*Ichtiyak Amou, Samia Kabbaj, Rim Almagoussi, Kenza Barakate, Zineb
Aboudar, Nidae Mimouni, Jihane Hamdane, Amine Laalou, Anas Jouahri,
Faycal Idam ...*

*Recevez ce travail en témoignage de mon estime, de mon respect et de mon
attachement.*

*C'était un pur plaisir de vous côtoyer pendant notre internat et de passer deux
années de dur labeur, mais aussi de joie et de bonheur.*

À notre Florent Manaudou Marouane Jakani.

*À mes amis de chirurgie Maxilo-faciale Abdelghafour Jaifi, et Ghassane El
Idrissi.*

À mon coach et cher ami Ayoub Tamim.

*À tous ceux qui me sont chers et que j'ai involontairement omis de citer, toutes
les personnes avec lesquelles j'ai grandi et auprès desquelles je me suis construit.*



REMERCIEMENTS



*A Notre Maître et Président de Thèse : Monsieur le Professeur Saïd Aït Benali
Professeur d'enseignement supérieur
Professeur de Neurochirurgie*

*Chef de Service de Neurochirurgie du CHU Mohammed VI de Marrakech.
Vous nous avez fait l'honneur d'accepter la présidence du jury de cette thèse et
nous vous remercions de la confiance que vous avez bien voulu nous accorder.*

*Nous avons eu la chance de compter parmi vos étudiants et de profiter de
l'étendue de votre savoir. Vos remarquables qualités humaines et
professionnelles ont toujours suscité notre profonde admiration. Nous vous
prions d'accepter le témoignage de notre reconnaissance et l'assurance de nos
sentiments respectueux.*

*A Notre Maître et Rapporteur de Thèse : Monsieur le Professeur Abdelaziz
Raji.*

*Professeur d'enseignement supérieur
Professeur d'Otorhinolaryngologie et Chirurgie de la Face et du Cou.
Chef de Service d'Otorhinolaryngologie et Chirurgie de la Face et du Cou du
CHU Mohammed VI de Marrakech.*

*Merci de nous avoir confié la responsabilité de ce travail. Vous avez toujours su
nous communiquer le désir d'offrir le meilleur de nous-mêmes. Nous vous
sommes très reconnaissants pour tout le temps et les sacrifices que vous avez dû
faire aux dépens de votre travail et de vos obligations, ainsi que pour vos
encouragements inlassables, vos conseils judicieux, et vos remarques hors-pair.
En espérant avoir été à la hauteur de vos attentes, veuillez croire à l'expression
de notre reconnaissance et de notre profond respect.*

A Notre Maître et juge de Thèse : Monsieur le Professeur Youssef Rochdi.
Professeur d'enseignement supérieur

Professeur d'Otorhinolaryngologie et Chirurgie de la Face et du Cou.

Nous sommes particulièrement touchés par la gentillesse et la bienveillance avec lesquelles vous nous avez accueilli et bien voulu juger notre modeste travail. Nous vous remercions pour le grand honneur que vous nous avez fait. Votre savoir et votre sagesse suscitent toute notre admiration. Veuillez trouver ici, cher maître, le témoignage de notre grande estime et de notre sincère reconnaissance.

A Notre Maître et juge de Thèse : Monsieur le Professeur Moulay Driss El Armani

Professeur d'enseignement supérieur en anatomie

Nous vous remercions vivement pour l'honneur que vous nous faites en acceptant de juger ce travail. Votre gentillesse et votre accueil très aimable nous ont particulièrement marqué. Que ce travail soit pour nous l'occasion de vous exprimer notre admiration ainsi que notre gratitude. Veuillez croire, cher maître, en nos sentiments les plus respectueux.

A Notre Maître et juge de Thèse : Monsieur le Professeur Badr Boutakioute
Professeur de radiologie.

Nous sommes infiniment sensibles à l'insigne honneur que vous nous avez fait en acceptant de juger notre thèse. Votre modestie et votre courtoisie demeurent pour nous des qualités exemplaires. Veuillez accepter, cher Maître, l'expression de notre reconnaissance et notre profonde estime.



ABREVIATIONS



Liste des abréviations :

APC	:	Angle ponto-cérébelleux.
ATT	:	Aérateur transtympanique.
CAE	:	Conduit auditif externe.
CAI	:	Conduit auditif interne.
CC	:	Cavité commune.
CHU	:	Centre Hospitalier Universitaire.
CISS	:	Constructive Interference in Steady State.
CSC	:	Canal semi-circulaire.
FLAIR	:	Fluid Attenuated Inversion Recovery.
FO	:	Fenêtre ovale.
FR	:	Fenêtre ronde.
HRCT	:	High Resolution Computed Tomography.
IC	:	Implant cochléaire.
IRM	:	Imagerie par résonnance magnétique.
LCS	:	Liquide cérébro-spinal.
LO	:	Labyrinthite ossifiante.
OI	:	Oreille interne.
OMC	:	Otite moyenne chronique.
ORL-CCF	:	Oto-Rhino-Laryngologie et Chirurgie Cervico-Faciale.
OSM	:	Otite séro-muqueuse.
Se	:	Sensibilité.
Sp	:	Spécificité.
SS	:	Sinus sigmoïde.
STH	:	St Thomas' Hospital.
TDM	:	Tomodensitométrie.
VJI	:	Veine jugulaire interne.
VPN	:	Valeur prédictive négative.
VPP	:	Valeur prédictive positive.



PLAN



INTRODUCTION	1
PATIENTS ET MÉTHODES	4
I. Cadre de l'étude :	5
II. Patients :	5
1. Critères d'inclusion :	5
2. Critères d'exclusion :	6
III. Méthodes :	6
1. Collecte des données :	6
2. Analyse des données :	19
IV. Considérations éthiques :	21
RÉSULTATS	22
I. Données épidémiologiques :	23
1. Répartition selon l'âge :	23
2. Répartition selon le sexe :	23
II. Caractéristiques de la surdité :	24
1. Age de survenue :	24
2. Degré de la surdité :	25
3. Étiologie de la surdité :	26
III. Données radiologiques :	26
1. TDM des rochers :	26
2. Imagerie par résonnance magnétique :	42
IV. Les données opératoires :	49
V. Corrélations radio-chirurgicales : étude analytique	54
1. La mastoïde :	55
2. Le sinus sigmoïde :	56
3. Les méninges temporales :	57
4. Le nerf facial :	59
5. Le récessus facial :	59
6. La visibilité de la FR :	61
7. Les ossifications cochléaires :	65
8. Geyser et malformations de l'oreille interne :	67
DISCUSSION	69
I. Imagerie de l'implantation cochléaire :	69
1. Intérêt de l'imagerie dans la chirurgie de l'implantation cochléaire :	69
2. Résultats de l'imagerie :	72
II. Chirurgie de l'implantation cochléaire :	129
1. Temps préparatoires et prévention des risques opératoires :	129
2. Technique opératoire :	131
3. Situations anatomiques particulières et difficultés opératoires :	146
III. Corrélations radio-chirurgicales de l'implantation cochléaire :	166
1. La Mastoïdectomie :	166
2. La tympanotomie postérieure :	175

3. La visibilité de la FR :	182
4. Geyser et malformations de l'oreille interne :	211
5. Les ossifications cochléaires :	217
CONCLUSION	221
RESUMES	224
BIBLIOGRAPHIE	230



INTRODUCTION



Les implants cochléaires (IC) sont des prothèses électriques qui ont pour rôle de palier une déficience bilatérale de l'oreille interne, qu'elle soit sévère ou profonde, acquise ou congénitale. Contrairement aux prothèses auditives conventionnelles, qui agissent par l'intermédiaire de l'organe de Corti, les implants cochléaires stimulent directement les fibres du nerf auditif.¹

Le principe de fonctionnement repose sur le codage, par un processeur externe, des sons et des bruits de l'environnement en stimuli électriques, capable d'agir directement sur les afférences du nerf auditif, via un faisceau d'électrodes placé chirurgicalement à l'intérieur de la cochlée.

Les implants cochléaires sont indiqués dans les formes les plus sévères des atteintes auditives, pour lesquelles le bénéfice obtenu avec les prothèses conventionnelles reste insuffisant pour le développement du langage, ou le maintien d'une communication orale. La décision d'implantation cochléaire est prise par une équipe multidisciplinaire comportant un chirurgien, un audiographe, un orthophoniste, un psychologue et un audioprothésiste. Cette décision va dépendre du bilan pré-implantation, de l'investissement familial et du contexte psycho-social.²

L'imagerie joue un rôle capital dans le bilan pré-implantation : D'une part, elle participe à la sélection des candidats, en éliminant les contre-indications de cette chirurgie, à savoir l'agénésie du nerf cochléaire, l'aplasie cochléaire, l'aplasie complète du labyrinthe dite « aplasie de Michel », et les ossifications cochléaires majeures. D'autre part, elle permet de dépister les éventuelles difficultés chirurgicales, et informe le chirurgien otologiste sur certaines situations à risque, susceptible de compromettre la faisabilité du geste, pouvant conduire ainsi à modifier le choix du côté à planter et de la voie d'abord chirurgicale.

La tomodensitométrie (TDM) des rochers et l'imagerie par résonnance magnétique (IRM) sont les 2 examens de référence utilisés en routine : La TDM des rochers évalue la pneumatisation des cavités tympano-mastoidiennes, la position du sinus sigmoïde et des méninges temporales, le trajet du nerf facial, l'accessibilité de la fenêtre ronde (FR), la position du golfe de la veine jugulaire, et le trajet de la carotide interne intra-pétreuse. Elle permet également d'analyser le labyrinthe osseux à la recherche d'ossifications cochléaires, ou de malformations cochléo-vestibulaires. L'IRM étudie à la fois la morphologie et le signal du labyrinthe membraneux. Elle permet de vérifier l'intégrité des paquets acoustico-faciaux et l'absence de pathologie rétro-cochléaire. L'étude du parenchyme cérébral permet de dépister des anomalies associées pouvant, d'une part, orienter sur l'origine de la surdité, et d'autre part compromettre les résultats fonctionnels de cette chirurgie.³

L'objectif de notre travail est d'évaluer la corrélation entre les données radiologiques et les constatations chirurgicales chez les patients implantés cochléaires, et d'étudier l'impact des données de l'imagerie sur la chirurgie de l'implantation cochléaire.



*PATIENTS
ET
MÉTHODES*



I. Cadre de l'étude :

Il s'agit d'une étude rétrospective descriptive et analytique, étalée sur une période de 6 ans, du 1^{er} Janvier 2017 au 1^{er} Janvier 2023, portant sur **254** cas de surdité de perception sévère ou profonde bilatérale, implantés au service d'oto-rhino-laryngologie et chirurgie cervico-faciale (ORL-CCF) du centre hospitalier universitaire (CHU) Mohammed VI de Marrakech.

II. Patients :

Nos patients ont été sélectionnés selon des critères d'inclusion et d'exclusion.

1. Critères d'inclusion :

- Patients atteints de surdité de perception sévère ou profonde bilatérale, implantés au service d'ORL-CCF du CHU Mohammed VI de Marrakech.
- Bilan radiologique préopératoire récent fait d'une tomodensitométrie (TDM) des rochers en coupes axiales fines, infra-millimétriques haute résolution, avec des reconstructions coronales, et d'une imagerie par résonnance magnétique (IRM) encéphalique avec étude de l'oreille interne, du conduit auditif interne, et de l'angle ponto-cérébelleux, séquence T1, T2 haute résolution avec des acquisitions volumiques en coupes infra-millimétriques (CISS, FIESTA, DRIVE) et T2 FLAIR (comptes rendus détaillés, clichés radiologiques de bonne qualité, et CD-ROM).
- Enregistrements et comptes rendus opératoires mettant le point sur les principaux repères et temps opératoires, ainsi que les difficultés chirurgicales constatées pendant le geste.

2. Critères d'exclusion :

- Antécédents de chirurgie de l'oreille moyenne.
- Réimplantation cochléaire ou chirurgie de révision.
- Clichés radiologiques/CD-ROM de mauvaise qualité ou non disponibles.
- Compte rendus opératoires non disponibles.

III. Méthodes :

1. Collecte des données :

Le recueil des données radiologiques et des constatations chirurgicales, ainsi que des données cliniques et épidémiologiques a été réalisé de manière rétrospective à partir des dossiers d'hospitalisation des patients implantés au service d'ORL-CCF du CHU Mohammed VI de Marrakech.

1.1. Données radiologiques :

a. TDM des rochers :

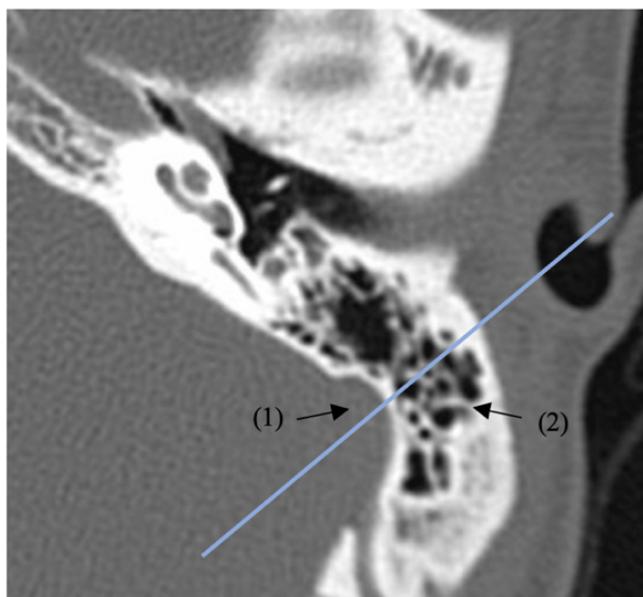
L'étude du scanner préopératoire a porté sur une série de paramètres permettant d'imaginer le trajet qu'empruntera le chirurgien au cours du geste, de dehors en dedans, en allant de la corticale mastoïdienne jusqu'à la fenêtre ronde (FR) et la rampe tympanique du tour basal de la cochlée.

a. 1 Pneumatisation des cavités mastoïdiennes :

La pneumatisation des cavités mastoïdiennes a été évaluée selon une méthode, proposée par Elzayat et al⁴, qui consiste à tracer, sur la TDM des rochers en coupes axiales, une ligne de

référence formant un angle de 45° par rapport au plan sagittal, et qui passe par le milieu du sinus sigmoïde (Figure 1)

Ainsi, la pneumatisation des cavités mastoïdiennes est considérée comme étant « favorable » si elle dépasse latéralement cette ligne, et « non favorable » lorsqu'elle reste limitée en dedans de celle-ci.



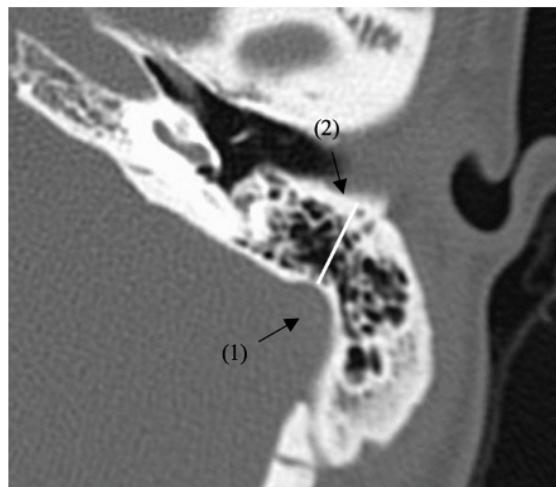
(1) : Sinus sigmoïde, (2) : Mastoïde, — : Ligne de référence

Figure 1 : méthode d'évaluation de la pneumatisation des cavités mastoïdiennes.

a. 2 Position du sinus sigmoïde :

La position du sinus sigmoïde (SS) a été déterminée en mesurant, sur des coupes scannographiques axiales, la distance entre son bord antérieur et le mur postérieur du conduit auditif externe dans sa partie osseuse (Figure 2).

Le SS est jugé en position « normale », lorsque cette distance est supérieure ou égale à 9 mm, et « procident » lorsque celle-ci est < 9 mm (méthode proposée par Júnior et al⁵).



(1) : Sinus sigmoïde, (2) : Mur postérieur du conduit auditif externe.

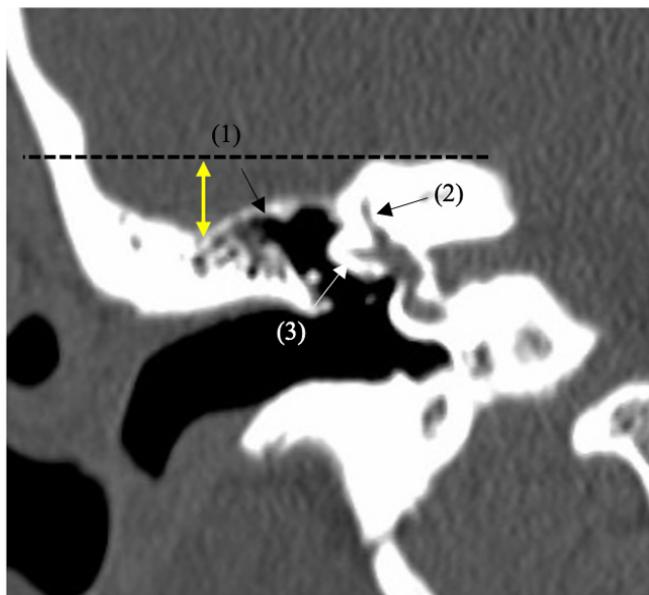
Figure 2 : TDM du rocher gauche en coupe axiale montrant la distance mesurée entre le bord antérieur du sinus sigmoïde, et le mur postérieur du conduit osseux.

Nous avons noté également la présence ou non d'une déhiscence de la coque osseuse qui sépare le SS des cavités mastoïdiennes.

a. 3 Position des méninges temporales :

Les tegmen tympani et antri siègent habituellement au même niveau ou légèrement en dessous du bord supérieur de la pyramide pétrouse.

Nous avons considéré qu'il existe une procidence des méninges lorsque la distance mesurée, sur la TDM des rochers en reconstructions coronales, entre le tegmen antri et le bord supérieur de la pyramide pétrouse est $>7\text{mm}$ (méthode proposée par Júnior et al⁵). (Figure 3)



(1) : Tegmen antri, (2) : CSC supérieur, (3) : CSC latéral.

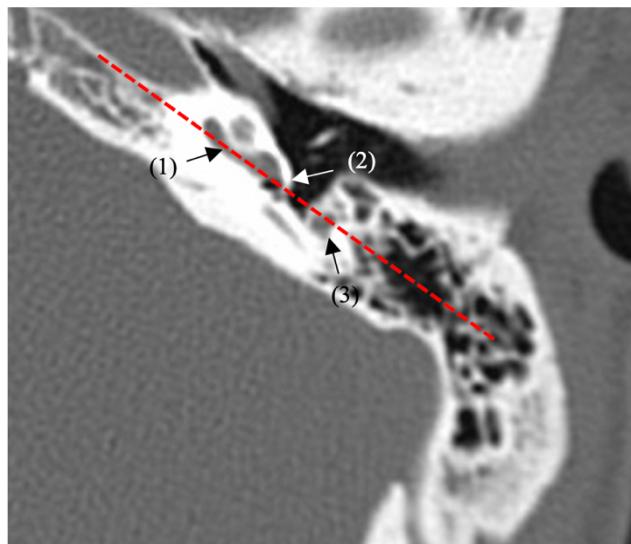
Figure 3 : TDM du rocher droit en reconstruction coronale montrant la distance mesurée entre le tegmen antri et le bord supérieur de la pyramide pétreuse.

Nous avons noté également la présence ou non d'une déhiscence du tegmen.

a. 4 Le trajet du nerf facial :

Nous avons étudié les 3 portions du nerf facial intra-pétreux, en accordant une attention particulière à sa portion mastoïdienne.

Afin de déterminer l'emplacement de la portion mastoïdienne du nerf facial par rapport à la FR, nous avons tracé, sur le scanner des rochers en coupes axiales, une ligne de référence passant par l'axe longitudinal du tour basal de la cochlée (Figure 4).



(1) : Tour basal de la cochlée, (2) : niche de la FR, (3) : nerf facial (portion mastoïdienne).

Figure 4 : TDM du rocher gauche en coupe axiale montrant la ligne de référence, tracée le long de l'axe longitudinal du tour basal de cochlée.

Nous avons considéré qu'il existe une procidence (trajet antérieur) de la portion mastoïdienne du nerf facial, lorsqu'elle siège en avant de cette ligne. Dans cette position, le nerf facial surplombe la FR et risque de compromettre son accessibilité à travers la tympanotomie postérieure.

Par ailleurs, nous avons précisé également la présence de tout autre anomalie pouvant intéresser l'une des 3 portions du canal facial (trajet anormal, déhiscences, bifurcations, hypoplasies...etc).

a. 5 Le récessus facial :

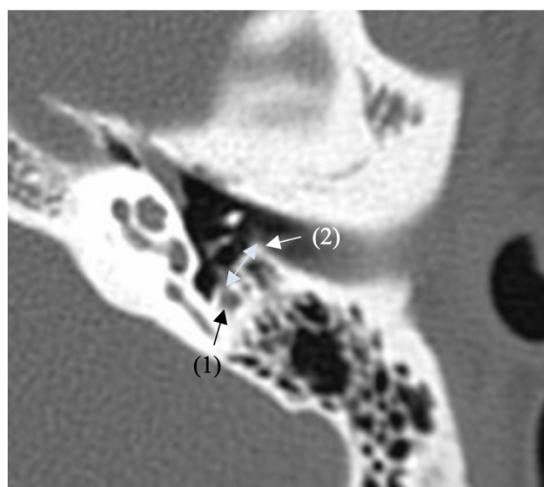
Le récessus facial est un espace triangulaire dans le retrotympانum bordé par la fossa incudis en haut, la 3^{ème} portion du nerf facial médialement, et la corde du tympan latéralement.

L'ouverture de cet espace donne accès à la caisse du tympan : c'est la tympanotomie postérieure, temps opératoire fondamental dans la chirurgie de l'implantation cochléaire.

L'étude du récessus facial au scanner a porté sur **2** paramètres :

- 1- La largeur du récessus facial.
- 2- La présence/absence de cellules aériennes dans le récessus facial.

La corde du tympan étant difficile à mettre en évidence au scanner, la largeur du récessus facial a été mesurée entre le nerf facial et le bord postérieur de l'annulus tympanique (Figure 5).



(1) : 3^{ème} portion du nerf facial, (2) : Annulus tympanique

Figure 5 : TDM du rocher gauche en coupe axiale, montrant la largeur du récessus facial mesurée entre la 3^{ème} portion du nerf facial, et le bord postérieur de l'annulus.

Nous avons considéré que le récessus facial est étroit lorsque sa largeur est **< 3 mm**, et large lorsque celle-ci est supérieure ou égale à **3 mm**.

a. 6 La caisse du tympan :

Nous avons précisé la présence ou non d'un comblement au niveau de la caisse du tympan.

a. 7 Les malformations de la chaîne ossiculaire :

Nous avons noté également la présence de malformations intéressant la chaîne ossiculaire.

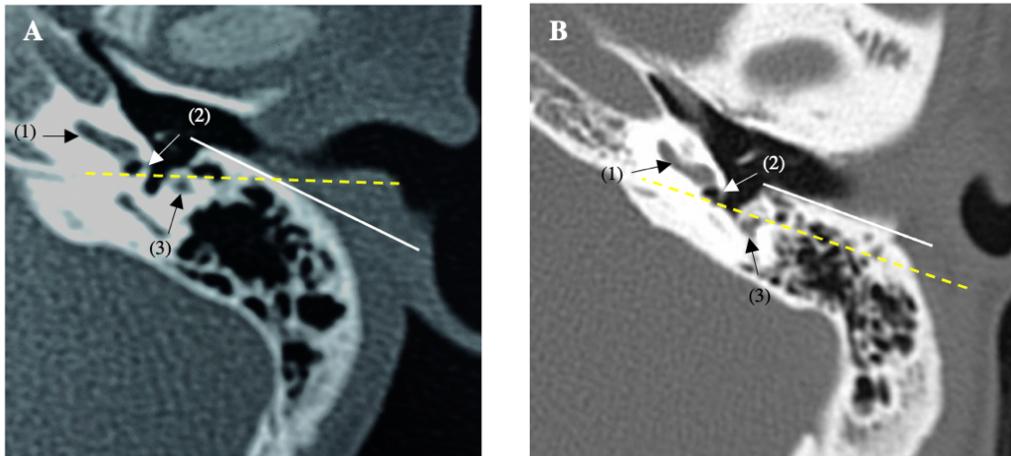
a. 8 La visibilité de la FR :

Dans le but de prévoir le degré de visibilité peropératoire de la FR, nous avons opté pour 3 méthodes, incluant chacune un certain nombre de paramètres susceptibles d'avoir un impact sur son accessibilité chirurgicale :

La première, proposée par Mandour et al⁶, étudie 2 paramètres importants et déterminants pour la visibilité de la FR à travers la tympanotomie postérieure :

- 1- Le mur postérieur du CAE.
- 2- Le trajet de la 3^{ème} portion du nerf facial.

La figure suivante illustre et explique brièvement cette méthode (Figure 6) :



TDM des rochers en coupes axiales.

(1) : Tour basal de la cochlée, (2) : niche de la FR, (3) : 3^{ème} portion du nerf facial.

- Une première ligne (blanche) est tracée le long du mur postérieur du CAE osseux → ligne du CAE
- Une deuxième ligne (en pointillé jaune) est tracée en passant par le bord antérieur de la 3^{ème} portion du nerf facial, et par le bord postérieur de la niche de la FR → ligne de prédition.

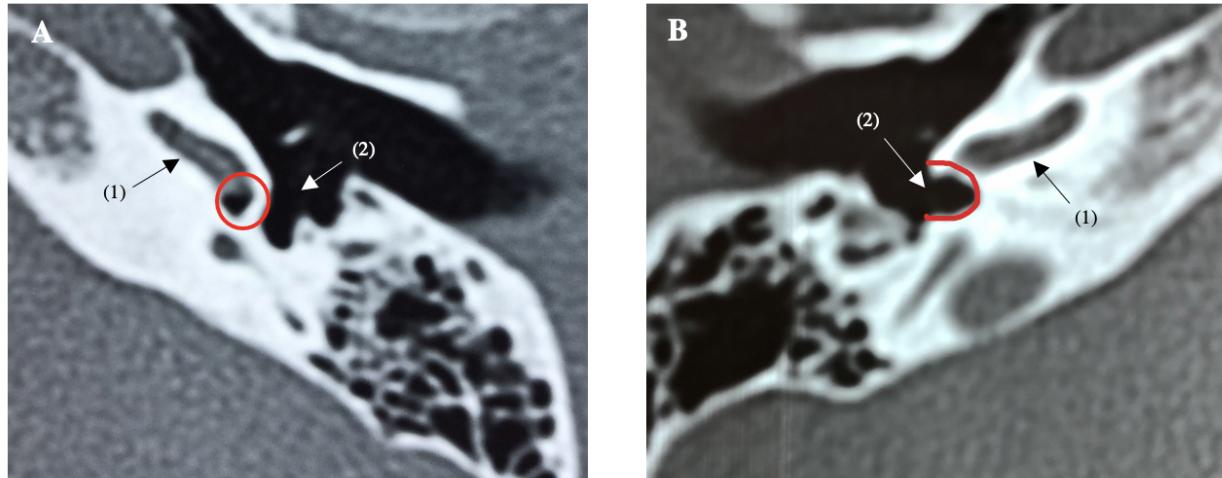
Lorsque ces 2 lignes sont parallèles (B), le champ de vision à travers la tympanotomie postérieure est libre, et la FR est classée « visible »

Dans le cas contraire, lorsque ces 2 lignes s'entrecroisent (A), la visibilité de la FR à travers la tympanotomie postérieure risque d'être limitée par :

- o Une inclinaison postérieure du CAE.
 - o Une procidence de la 3^{ème} portion du nerf facial
- La FR est donc classée « non visible ».

Figure 6 : Prédiction de la visibilité de la FR selon la méthode proposée par Mandour et al

La deuxième méthode, proposée par Elzayat et al⁷, consiste à imaginer la configuration externe de la niche à partir de son aspect scannographique sur des coupes axiales du rocher (Figure 7) :



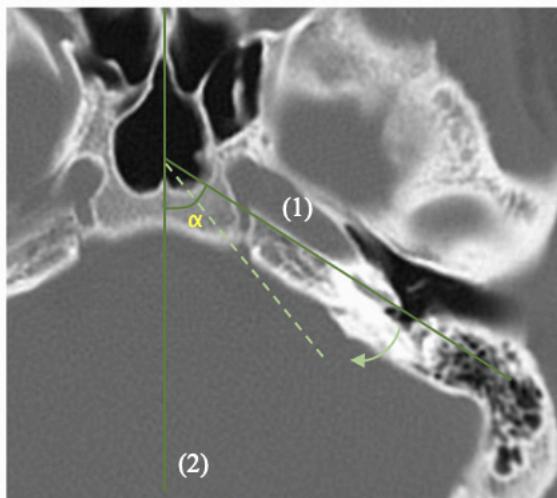
TDM des rochers en coupes axiales. (1) : Tour basal de la cochlée, (2) : niche de la FR.

Lorsque la niche de la FR présente un aspect arrondi (A), nous supposons qu'en peropératoire, elle sera orientée en bas, dans un plan horizontal parallèle au plan axial, et par conséquent, difficile à visualiser à travers la tympanotomie postérieure.

Dans le cas contraire, lorsque la niche présente un aspect arciforme (B), nous supposons que cette dernière sera orientée en dehors et en arrière, dans un plan vertical oblique, faisant face au récessus facial, et par conséquent, elle sera visible et accessible sans difficultés.

Figure 7 : Prédiction de la visibilité de la FR selon la méthode proposée par Elzayat et al

La troisième méthode consiste à mesurer, sur la TDM des rocher en coupes axiales, l'angle α entre l'axe longitudinal du tour basal de la cochlée et la ligne médiane (Figure 8) :



(1) : axe longitudinal du tour basal de la cochlée, (2) : ligne médiane, → : sens de rotation

Figure 8 : TDM du rocher gauche en coupe axiale montrant l'angle α mesuré entre l'axe longitudinal du tour basal de la cochlée et la ligne médiane.

Cette mesure correspond en réalité à l'angle de rotation de la cochlée autour de l'axe vertical. Ainsi, lorsque cet angle diminue, cela témoigne d'une rotation de la cochlée dans le sens postéro-médial, mettant la FR en position très postérieure, qui devient par conséquent, hors de portée à travers le récessus facial.

Par ailleurs, nous avons noté également la présence de tout autre variante anatomique ou pathologie susceptible de modifier l'anatomie chirurgicale de la FR :

- Aplasie ou hypoplasie de la FR
- Épaississement ou sténose secondaire à une otospongiose ou à une labyrinthite ossifiante.
- Oblitération extrinsèque par une procidence du golfe de la veine jugulaire, un trajet anormal de la portion tympanique du nerf facial, un cholésteatome, ou un paragangliome tympano-jugulaire ...etc.

a. 9 Les variantes vasculaires :

En raison du risque hémorragique qu'elles encourent, la recherche de variantes vasculaires occupe une place importante dans le bilan anatomique préopératoire de toute chirurgie otologique.

Dans notre série, on s'est intéressé aux variantes vasculaires suivantes :

- Une déhiscence du canal carotidien avec ou sans procidence de la carotide interne.
- Une déhiscence de la coque osseuse du golfe de la veine jugulaire.
- Une procidence du golfe de la veine jugulaire.
- Une artère stapédiennne persistante.
- Une veine émissaire mastoïdienne.

a. 10 La pneumatisation infra-labyrinthique :

La mise en évidence de cellules aériennes infra-labyrinthiques sur le scanner a été précisée car celles-ci risquent d'être confondues avec la FR en peropératoire.

a. 11 La perméabilité cochléaire :

La cochlée a été jugée « perméable » ou « non perméable » en fonction de la présence ou non de calcifications cochléaires risquant de compromettre la qualité d'insertion du porte-electrode.

a. 12 Les malformations de l'oreille interne :

Nous avons étudié la structure du labyrinthe osseux, à la recherche de malformations cochléo-vestibulaires.

La classification adoptée dans notre série correspond à la dernière mise à jour publiée en 2017 par Sennaroglu et Bajin⁸.

La région de la fossette cochléaire, au niveau de la base du modiolus, a également fait l'objet d'une analyse soigneuse, à la recherche d'un élargissement ou d'un défaut osseux, faisant communiquer la cochlée avec le fond du CAI, pouvant être associé à un risque important de geyser en peropératoire.

b. Imagerie par résonnance magnétique :

Les variables analysées par cette modalité d'imagerie sont les suivantes :

- Morphologie et architecture interne du labyrinthe (dénombrement des tours de spires de la cochlée, aspect du modiolus, volume du conduit et du sac endolymphatique, malformations cochléo-vestibulaires...etc)
- Qualité du signal liquidien du labyrinthe (fibroses et ossifications cochléaires)
- Intégrité des paquets acoustico-faciaux.
- Étude du parenchyme cérébral (malformations cérébrales, maladie métabolique ou neurodégénérative, séquelles ischémiques néonatales, séquelles de méningite ...etc)

1.2. Données opératoires :

Le recueil des données chirurgicales a été réalisé de manière rétrospective à partir des compte-rendu et enregistrements opératoires des patients.

Nous avons relevé le coté implanté, la voie d'abord, la durée de l'intervention ainsi que les différentes difficultés chirurgicales rencontrées au cours du geste.

2. Analyse des données :

L'analyse statistique a été effectuée avec le logiciel SPSS© version 26.

1 ère étape :

Étude descriptive de la population cible :

- Description des différentes variables de l'étude dans l'ensemble de l'échantillon.
- Les variables qualitatives ont été décrites en termes de proportions.
- Les variables quantitatives ont été décrites en termes de moyenne et d'écart-type ou médiane.

2 ème étape :

Étude analytique des corrélations radio-chirurgicales de l'implantation cochléaire.

En confrontant les données radiologiques aux constatations chirurgicales, nous avons évalué la validité intrinsèque du scanner des rochers et de l'IRM labyrinthique. Pour ce faire, nous nous sommes basés sur le calcul de la sensibilité (Se), la spécificité (Sp), la valeur prédictive positive (Vpp) et la valeur prédictive négative (Vpn) de ces examens, afin d'apprécier leurs degrés de fiabilité, en termes d'analyse des repères anatomiques pertinents, et de prédition des différentes difficultés pouvant être rencontrées en peropératoire.

Nous avons également évalué le degré d'accord entre les données radiologiques et chirurgicales en calculant le coefficient kappa (κ) de Cohen, pour les différentes structures étudiées.

Il s'agit d'un test qui permet de mesurer le degré d'accord entre 2 observateurs : L'accord est d'autant plus élevé que la valeur du coefficient kappa (κ) est proche de 1. (Tableau I)

Tableau I : Interprétation du Coefficient Kappa proposée par Landis et Koch.

Coefficient kappa	Degré de concordance
0.8 à 1	Excellent
0.6 à 0.8	Bon
0.4 à 0.6	Modéré
0.2 à 0.4	Faible
0 à 0.2	Mauvais

Pour terminer, nous avons aussi utilisé des tests d'analyse statistique adéquats (Chi Carré, Fisher, Student, ANOVA ...etc), qui seront détaillés ultérieurement, afin de juger si le degré de difficulté annoté aux différentes étapes chirurgicales est significativement lié aux données de l'imagerie. Le test est considéré comme « significatif » lorsque la valeur **p** (degré de signification) est inférieure à **0,05**.

IV. Considérations éthiques :

L'étude a été validée par le comité d'éthique de la Faculté de Médecine et de Pharmacie de Marrakech.

Le recueil des données a été effectué avec respect de l'anonymat des patients, et de la confidentialité de leurs informations.



RÉSULTATS



I. Données épidémiologiques :

1. Répartition selon l'âge :

L'âge moyen de nos patients était de **5,2** ans, variant entre **14** mois et **52** ans, avec une médiane de **4,5** ans. (Figure 9)

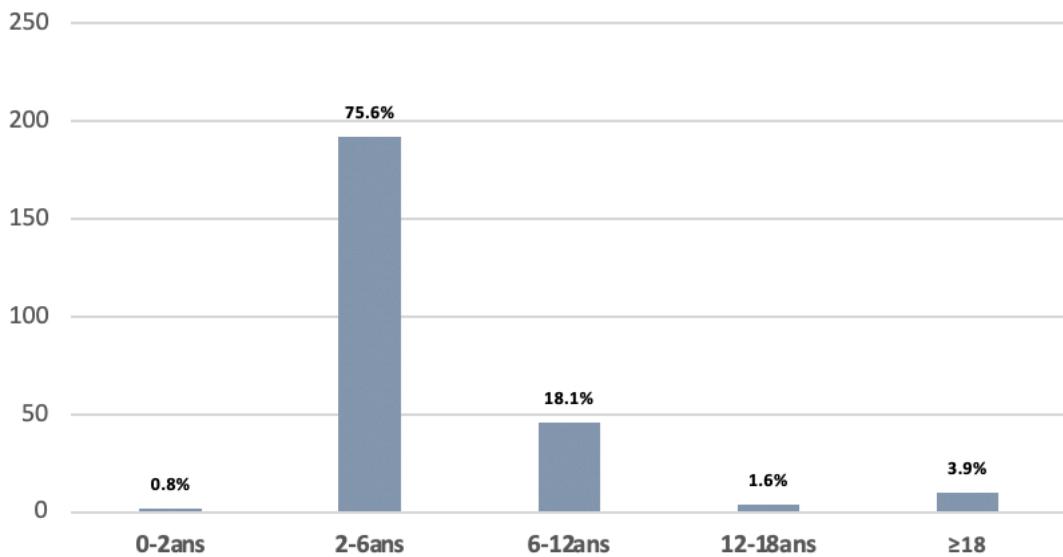


Figure 9 : Répartition des patients selon l'âge.

2. Répartition selon le sexe :

Dans notre série, on a noté une légère prédominance féminine.

Sur **254** patients, **134** étaient de sexe féminin (soit 52,8%), et **120** étaient de sexe masculin (soit 47,2%), avec un sexe-ratio de **0,9**. (Figure 10)

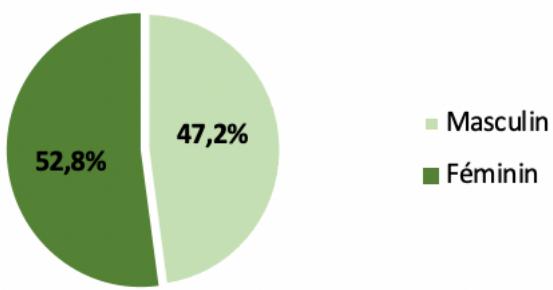


Figure 10 : Répartition des patients selon le sexe.

II. Caractéristiques de la surdité :

1. Age de survenue :

Dans notre série, **181** patients (soit 71,3%) avaient une surdité pré-linguale (apparue avant l'âge de 2 ans), dont **58** étaient atteints d'une surdité congénitale (présente dès la naissance).

Une surdité péri-linguale a été notée chez **52** patients (soit 20,5%), tandis qu'une surdité post-linguale a été retrouvée chez **21** patients (soit 8,2%). (Figure 11)

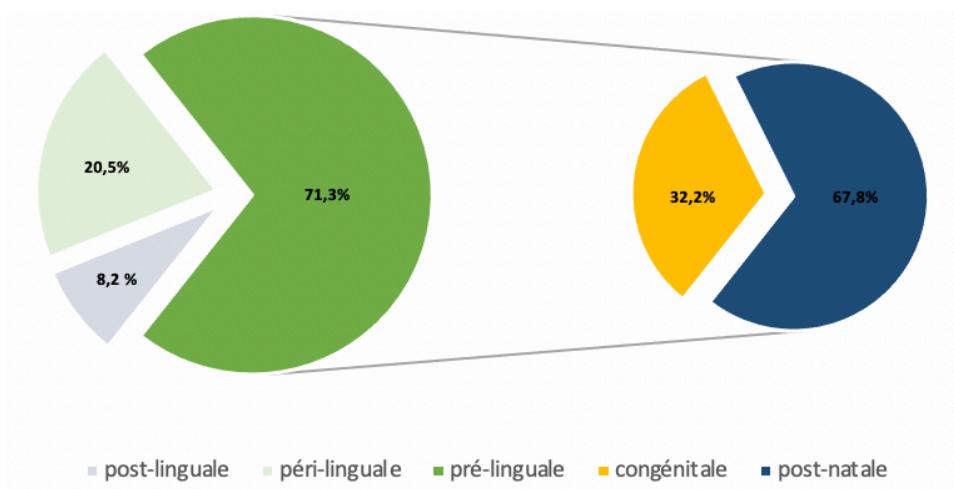


Figure 11 : Répartition des patients selon l'âge de survenue de la surdité.

2. Degré de la surdité :

La surdité était profonde chez **80,3%** et sévère chez **19,7%** de nos patients. (Figure 12)

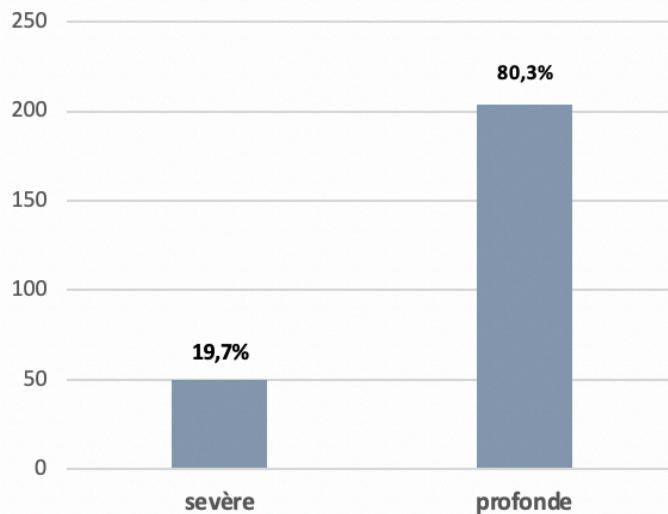


Figure 12 : Répartition des patients selon le degré de la surdité.

3. Étiologie de la surdité :

Une origine génétique de la surdité a été retrouvée chez **112** patients (soit **44,1%**). Parmi eux, nous avons relevé **5** cas de surdités syndromiques. (Figure 13)

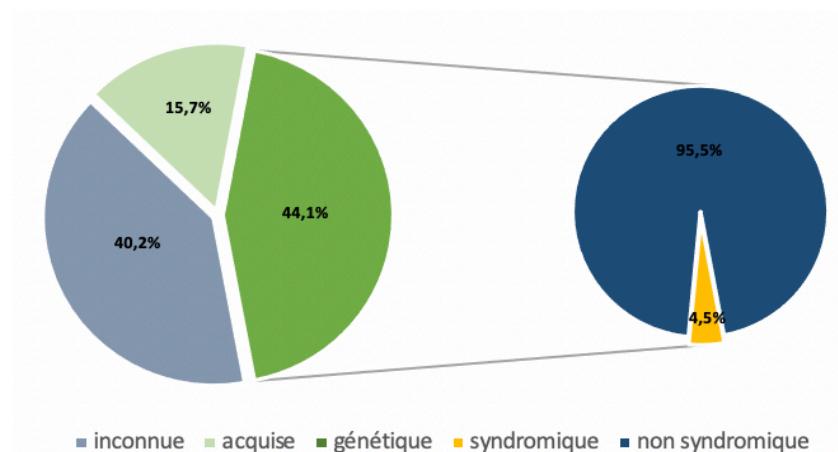


Figure 13 : Répartition des patients selon l'étiologie de la surdité.

Une surdité acquise a été notée chez **40** patients (soit 15,7%), tandis que chez **102** autres (40,2%), l'étiologie de la surdité restait inconnue. (Figure 13)

Le tableau ci-dessous présente le profil étiologique détaillé des patients inclus dans notre étude. (Tableau II).

Tableau II : Profil étiologique de la surdité dans notre série.

Étiologies	n	
Méningite bactérienne	18	
Traumatisme du rocher	2	
Souffrance néonatale	10	
Ictère néonatal	9	
Maladie de Lyme	1	
Syndrome de Pendred	2	
Syndrome de Waardenburg	1	
Syndrome CHARGE	1	
Syndrome d'Alström	1	
Surdité génétique non syndromique	107	
Étiologie inconnue	102	

Surdité acquise (n=40)

III. Données radiologiques :

1. TDM des rochers :

1.1. Pneumatisation des cavités mastoïdiennes :

Les cavités mastoïdiennes étaient pneumatisées chez **220** patients (soit 86,6%). Par contre, **34** patients avaient une mastoïde peu ou non pneumatisée (soit 13,4%), dont **4** cas d'éburnation mastoïdienne. (Figure 14).

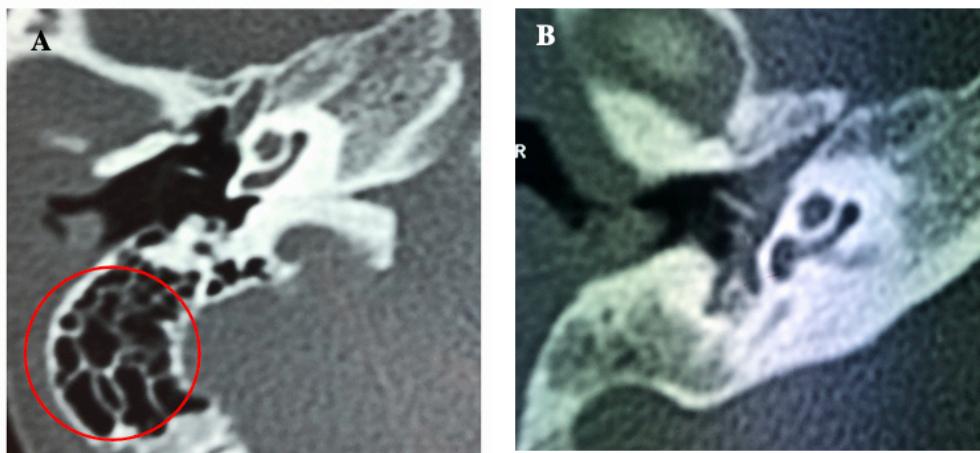


Figure 14 : TDM du rocher droit en coupes axiales. (A) : mastoïde bien pneumatisée, (B) : mastoïde éburnée.

1.2. Position du sinus sigmoïde :

On a noté 19 cas de procidence du sinus sigmoïde (soit 7,5%). Parmi eux, 1 patient avait un sinus à la fois procident et déhiscent.

Chez ces patients, la distance moyenne mesurée sur le scanner en coupes axiales, entre le bord antérieur du sinus sigmoïde et le mur postérieur du conduit auditif externe, était de **7,7 ± 0,7mm**, avec des extrêmes allant de **7mm à 8,8mm**. (Figure 15)



Figure 15 : TDM du rocher droit en coupe axiale montrant une procidence du sinus sigmoïde.

1.3. Position des méninges temporales :

Sur 254 patients, 9 avaient une procidence des méninges temporales (soit 3,5%). (Figure 16)

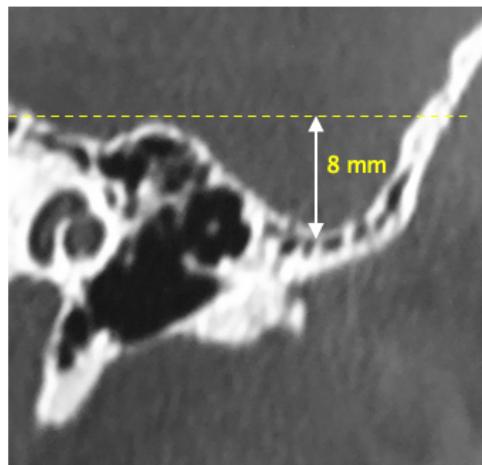


Figure 16 : TDM du rocher gauche en reconstruction coronale objectivant une procidence des méninges temporales.

Chez ces patients, la distance moyenne mesurée sur le scanner en reconstructions coronales entre le tegmen antri et le bord supérieur de la pyramide pétrouse était de **7,5±0,4mm**, avec des extrêmes allant de **7,1mm à 8 mm**.

Par ailleurs, aucun patient n'avait une déhiscence du tegmen.

1.4. Le trajet du nerf facial :

Dans notre série, le nerf facial dans sa portion mastoïdienne était procident (Figure 17) chez **22** patients (soit 8,7%).

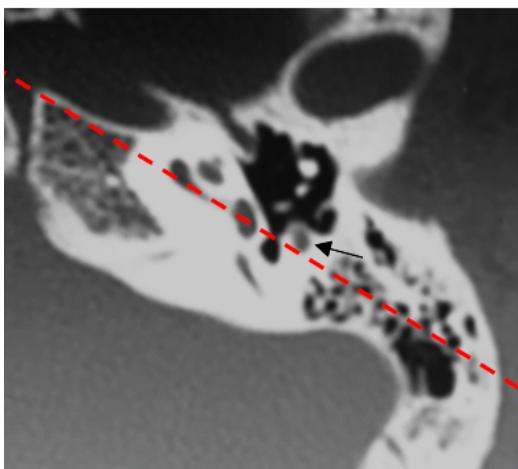


Figure 17 : TDM du rocher gauche en coupe axiale montrant une procidence du nerf facial dans sa portion mastoïdienne (flèche noire).

1.5. Le récessus facial :

Sur **254** patients, **2** avaient un récessus facial étroit. (Figure 18)

Chez ces patients-là, la distance mesurée sur le scanner en coupes axiales entre le nerf facial dans sa portion mastoïdienne et le bord postérieur de l'annulus tympanique était respectivement de **2.6 mm et 2.7 mm**.

Nous avons noté également, la présence de cellules aériennes dans le récessus facial chez **220** patients (86,6%), tandis qu'elles étaient absentes chez **34** patients (13,4%). (Figure 19)



Figure 18 : TDM du rocher gauche en coupe axiale montrant un récessus facial étroit : portion mastoïdienne du nerf facial (flèche noire) en position antéro-latérale très proche du bord postérieur de l'annulus tympanique.

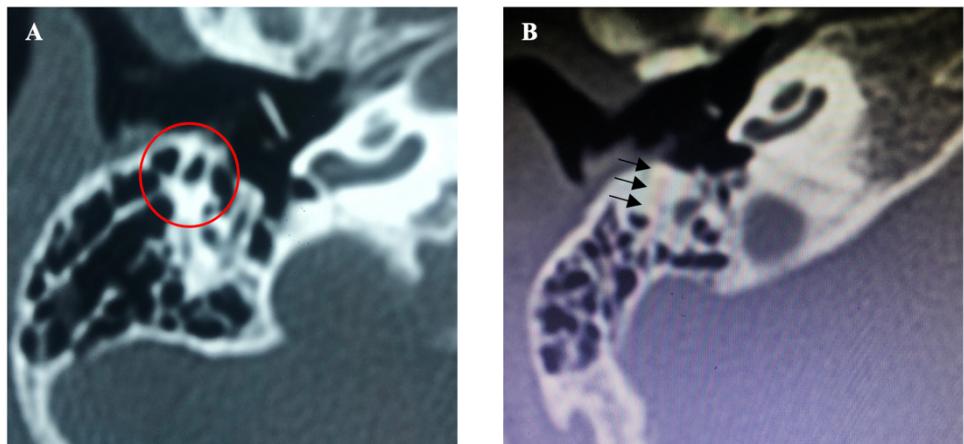


Figure 19 : TDM du rocher droit en coupes axiales. (A) : Cellules aériennes dans le récessus facial (véritable guide pour la tympanotomie postérieure). (B) : récessus acellulaire (contient de l'os compact).

1.6. La caisse du tympan :

La caisse du tympan était aérée chez 222 patients (87,4%), alors qu'un comblement tympanique a été objectivé chez 32 patients (12,6%). (Figure 20)

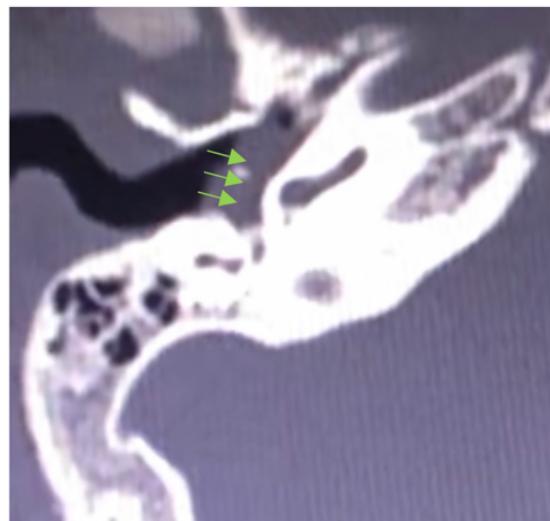


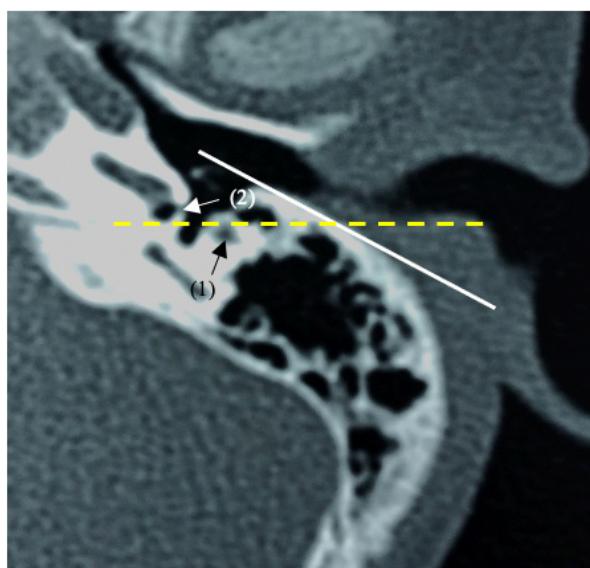
Figure 20 : TDM du rocher droit en coupe axiale montrant un comblement de la caisse du tympan.

1.7. Les malformations de la chaîne ossiculaire :

Sur **254** patients, nous avons noté un seul cas de malformation de l'étrier associé à une agénésie de la fenêtre ovale.

1.8. La visibilité de la FR :

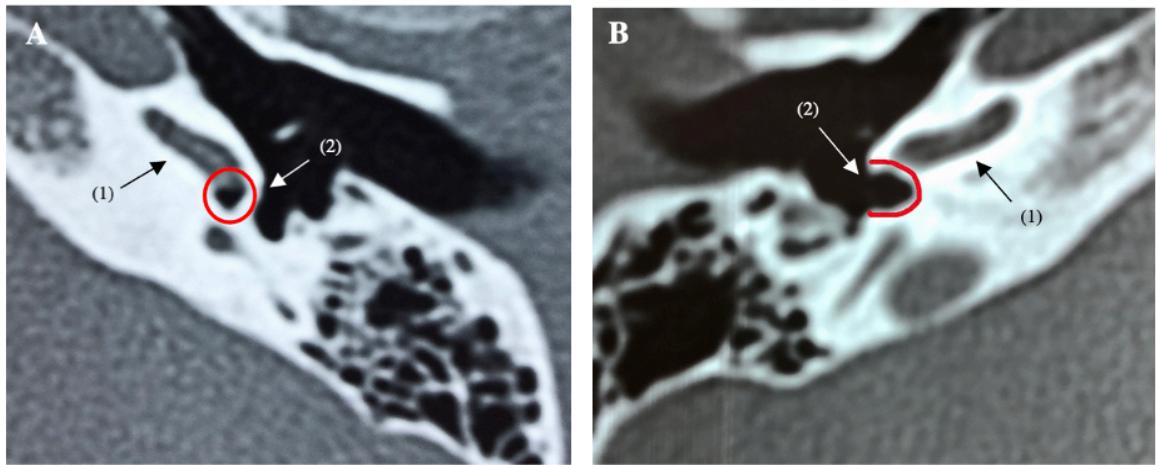
Selon la méthode Mandour, la FR était classée « visible » chez **204** patients (80,3%) et « non visible » chez **50** patients (19,7%). (Figure 21)



(1) : 3^{ème} portion du nerf facial, (2) : niche de la FR.

Figure 21 : TDM du rocher gauche en coupe axiale montrant un cas de FR classée « non visible » selon la méthode proposée par Mandour et al.

Selon la méthode Elzayat, la FR était classée « visible » (aspect arciforme) chez **203** patients (79,9%) et « non visible » (aspect arrondi) chez **51** patients (20,1%). (Figure 22)

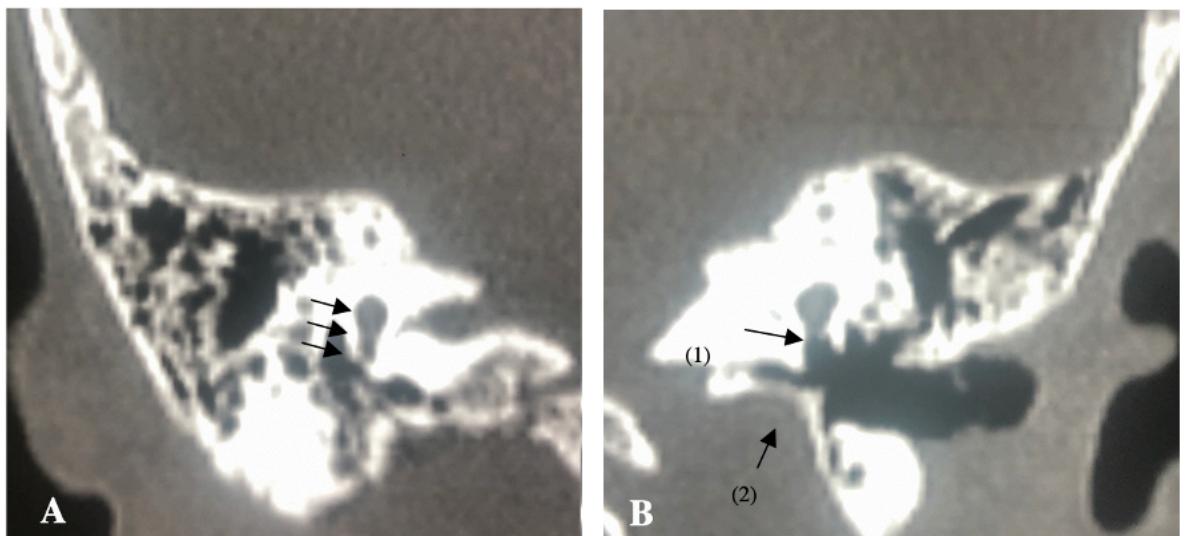


(1) : Tour basal de la cochlée, (2) : niche de la FR.

Figure 22 : TDM des rochers en coupes axiales passant par le tour basal de la cochlée, montrant un aspect arrondi de la niche de la FR à gauche (A) et un aspect arciforme à droite (B).

L'angle α , mesuré entre l'axe longitudinal du tour basal de la cochlée et la ligne médiane, avait une moyenne de $59,4 \pm 5,5^\circ$ avec des extrêmes allant de 45° à 72° .

Par ailleurs, nous avons noté 10 cas où la FR était anormale : sténosée, ossifiée, ou cachée par une procidence de la veine jugulaire interne. (Figure 23)



(1) : Fenêtre ronde, (2) : Golfe de la VJI.

Figure 23 : TDM des rochers en reconstructions coronales. La FR est ossifiée et sténosée dans le côté droit (A), comparé au côté gauche (B).

1.9. Les variantes vasculaires :

La figure 24 montre les différentes variantes vasculaires rencontrées dans notre série.

(Figure 24)

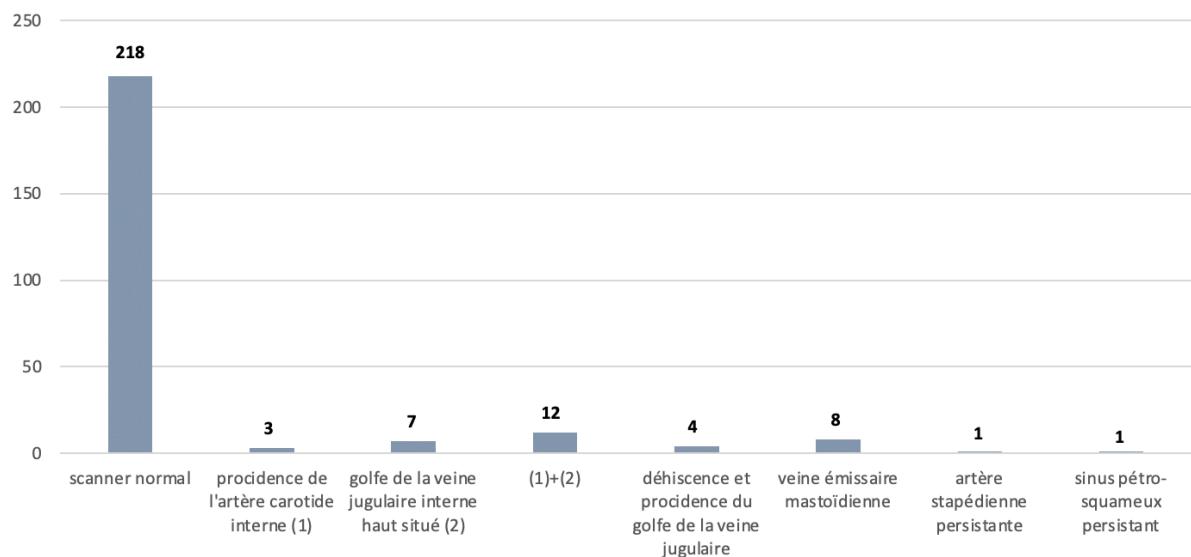


Figure 24 : Les variantes vasculaires.

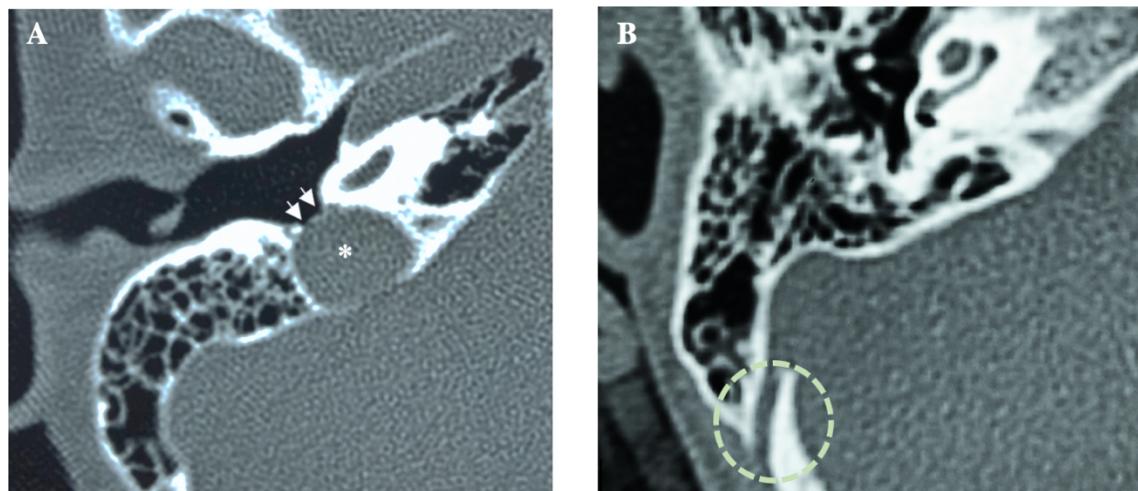


Figure 25 : TDM des rochers en coupes axiales. (A) : déhiscence (double flèche) avec procidence du golfe de la veine jugulaire interne (*). (B) : Veine émissaire mastoïdienne.

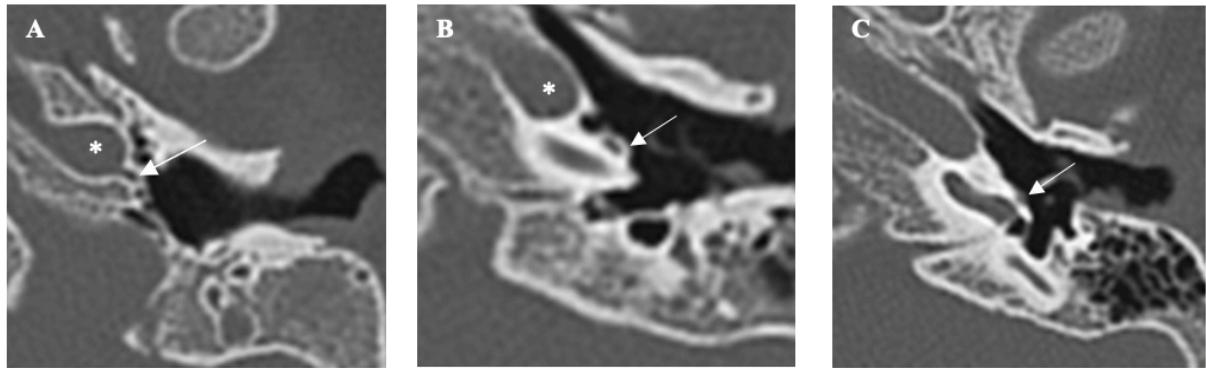
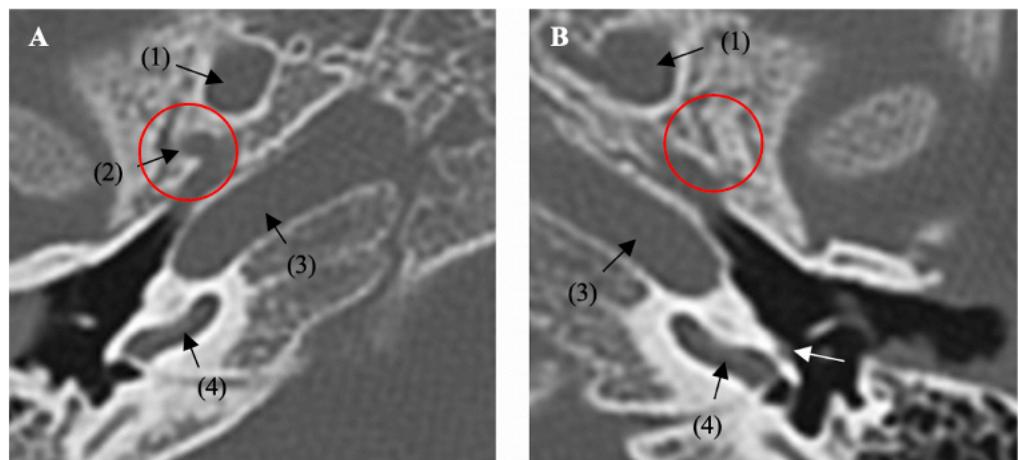


Figure 26 : TDM du rocher gauche en coupes axiales mettant en évidence un vaisseau aberrant (flèche blanche) issu de la portion verticale du canal carotidien (*), et qui traverse la caisse du tympan en longeant le promontoire. Le foramen spinosum est absent (C), faisant évoquer la persistance d'une artère stapédienne.



(1) : Foramen Ovale, (2) : Foramen Spinosum, (3) : Canal carotidien, (4) : Tour basal de la cochlée

Figure 27 : TDM des rochers objectivant l'absence du foramen spinosum du côté gauche (B), comparé au côté droit (A).

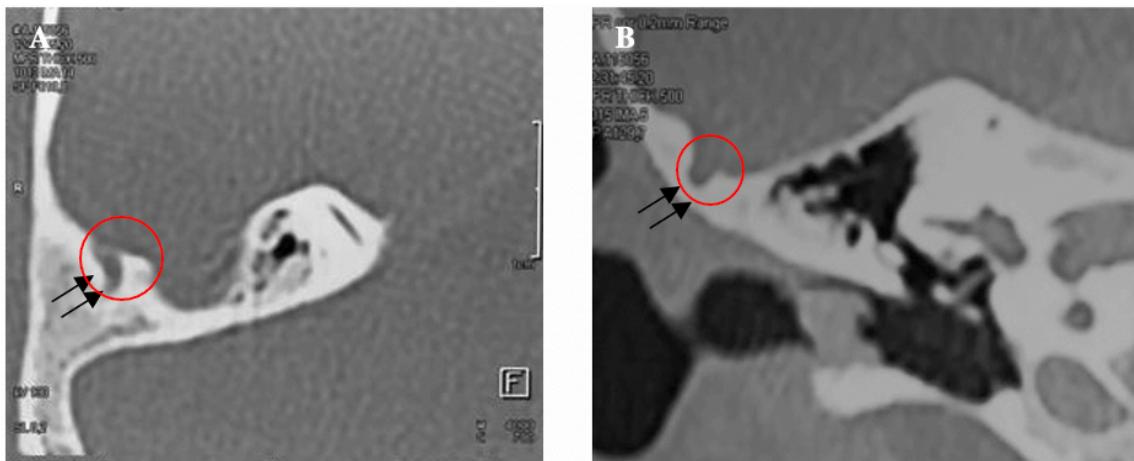


Figure 28 : TDM du rocher droit en coupe axiale (A) et en reconstruction coronale (B) mettant en évidence une structure d'allure vasculaire cheminant latéralement sur la face supérieure de la pyramide pétreuse (double flèche noire), faisant évoquer la persistance d'un sinus pétrósqueux.

1.10. La pneumatisation infra-labyrinthique :

Des cellules aériennes infra-labyrinthiques étaient présentes chez 25 patients (soit 9,8%).
(Figure 29)

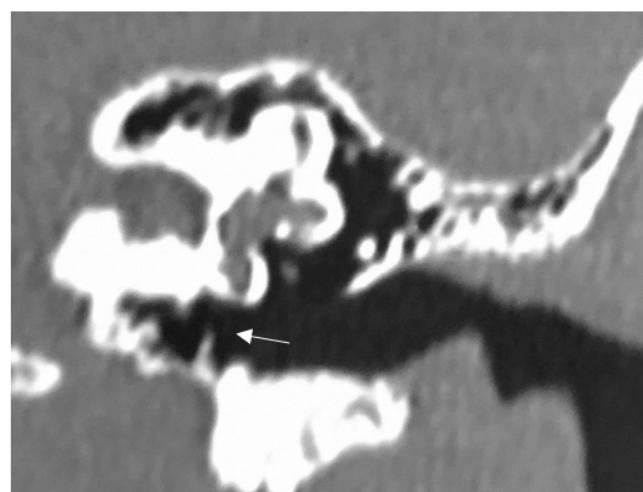


Figure 29 : TDM du rocher gauche en reconstruction coronale montrant des cellules aériennes infra-labyrinthiques.

1.11. La perméabilité cochléaire :

Sur 254 patients, nous avons relevé 7 cas d'ossification cochléaire, siégeant au niveau du tour basal de la cochlée (soit 2.8%). Tous, avaient une surdité post-méningitique. (Figure 30)



Figure 30 : TDM du rocher gauche en coupe axiale montrant une ossification du tour basal de la cochlée

1.12. Les malformations de l'oreille interne :

On a noté 15 cas de malformations de l'oreille interne (soit 5.9%).

La figure ci-dessous décrit les différents types de malformations rencontrées dans notre série. (Figure 31)

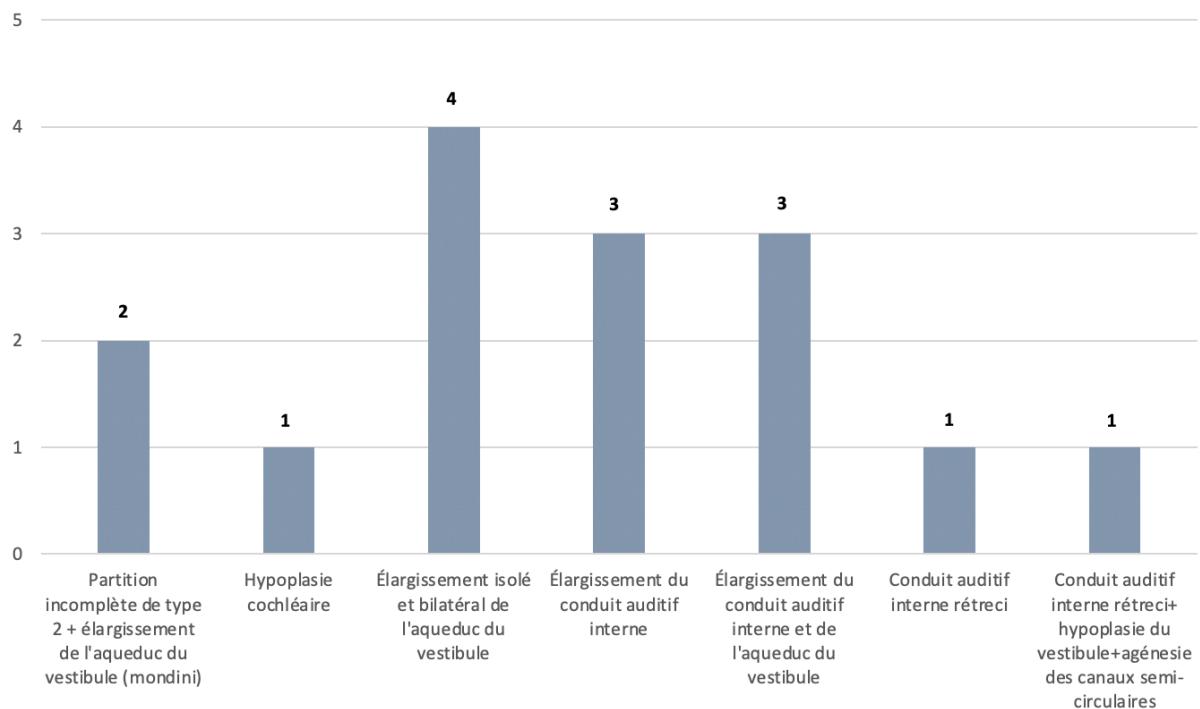
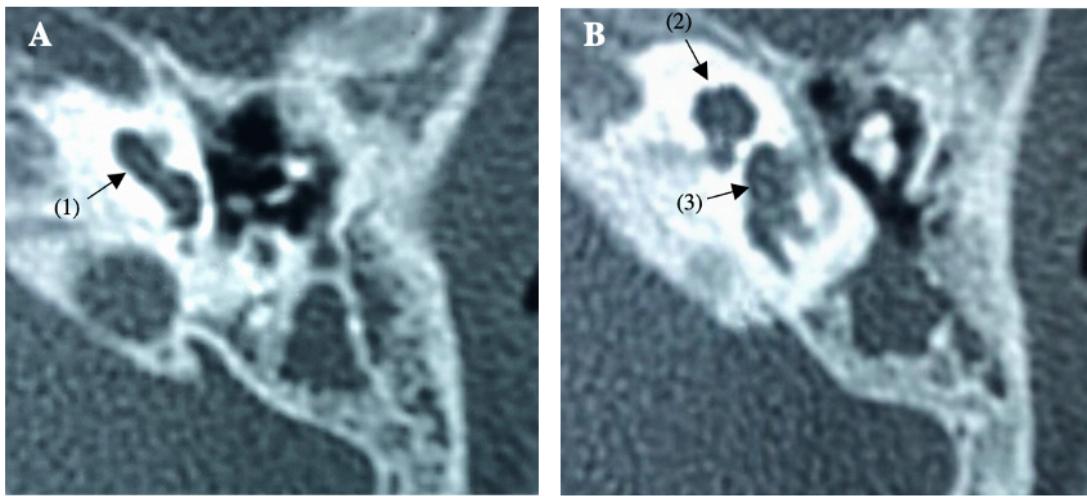


Figure 31 : Les malformations de l'oreille interne

Les figures suivantes illustrent un cas de malformation de Mondini. (Figure 32,33)



(1) : Tour basal de la cochlée. (2) : Tour moyen et apical fusionnés, (3) : Vestibule dilaté.

Figure 32 : TDM du rocher gauche en coupes axiales montrant une malformation de Mondini.

Chez ce patient, on note un aspect kystique de l'apex cochléaire suite à la coalescence du tour moyen et apical, et un modiolus incomplet dans sa partie apicale. Par contre, le tour basal présente un aspect normal. Ces anomalies font évoquer une partition incomplète de type 2, aussi appelée « malformation de Mondini » lorsque celle-ci est associée à une dilatation du vestibule et de son aqueduc.

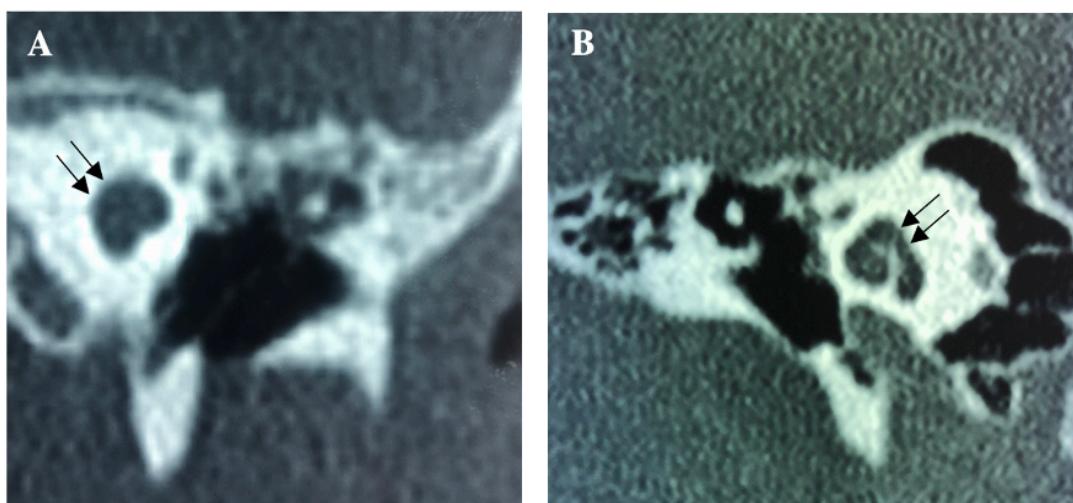


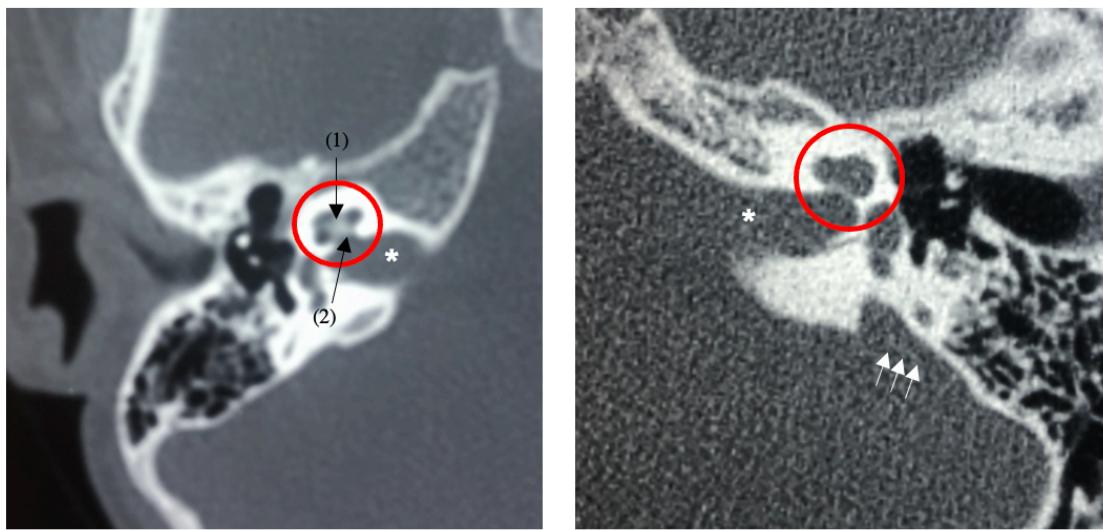
Figure 33 : TDM des rochers en reconstructions coronales. L'image (A) montre un aspect kystique de l'apex cochléaire comparé à l'image (B) qui montre une cochlée d'aspect normal.

La figure ci-dessous illustre un cas de dilatation de l'aqueduc du vestibule. (Figure 34)



Figure 34 : TDM du rocher gauche en coupe axiale montrant une dilatation de l'aqueduc du vestibule (flèches blanches).

Chez ce patient, le modiolus est absent, et on note aussi un élargissement du conduit auditif interne (*).



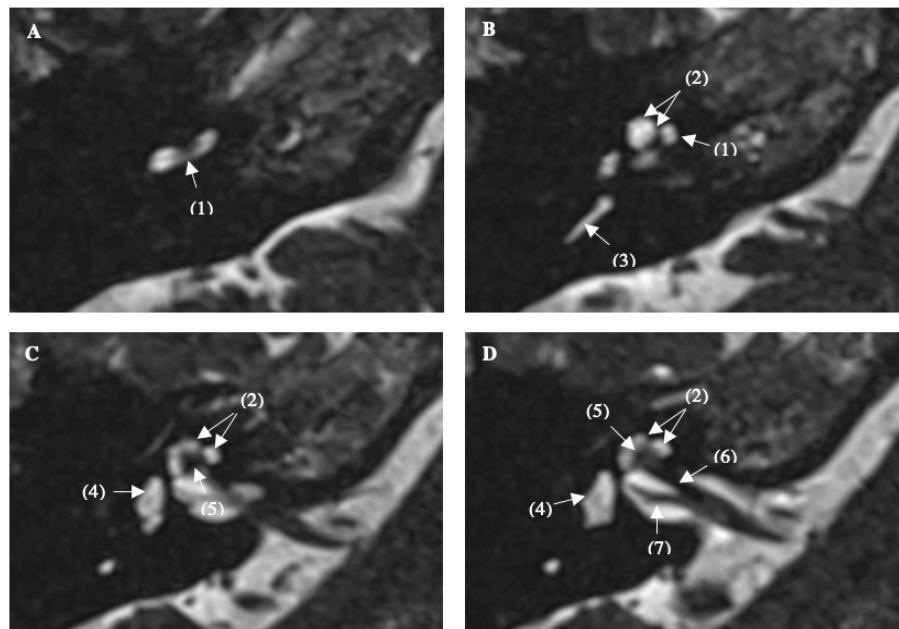
(1) : Modiolus, (2) : fossette cochléaire, (*) : conduit auditif interne.

Figure 35 : TDM des rochers en coupes axiales. Dans l'image (A) le conduit auditif interne (*) est élargi mais le diamètre de la fossette cochléaire reste normal et le modiolus est présent contrairement à l'image (B) qui associe élargissement du conduit auditif interne (*), dilatation de l'aqueduc du vestibule (flèches blanches), et absence de modiolus.

2. Imagerie par résonnance magnétique :

2.1 La morphologie du labyrinthe membraneux :

Des malformations labyrinthiques ont été retrouvées chez 11 patients (soit 4,3%), tandis que 243 patients (95,7%) avaient un labyrinthe membraneux de morphologie normale (Figure 36).



(1) : Tour basal de la cochlée, (2) : Tour moyen et apical, (3) : CSC postérieur, (4) : Vestibule, (5) : Modiolus, (6) : nerf cochléaire, (7) : Nerf vestibulaire inférieur.

Figure 36 : IRM labyrinthique, séquence T2, en coupe axiale montrant l'anatomie radiologique normale du labyrinthe membraneux.

La figure ci-dessous montre les différents types de malformations rencontrées dans notre série à l'IRM (Figure 37).

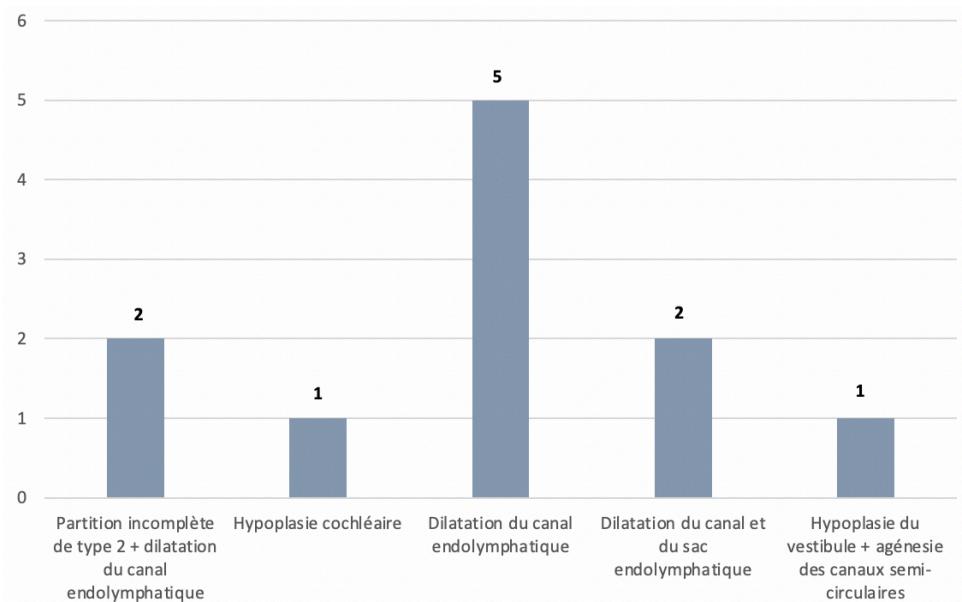


Figure 37 : Les malformations du labyrinthe membraneux.

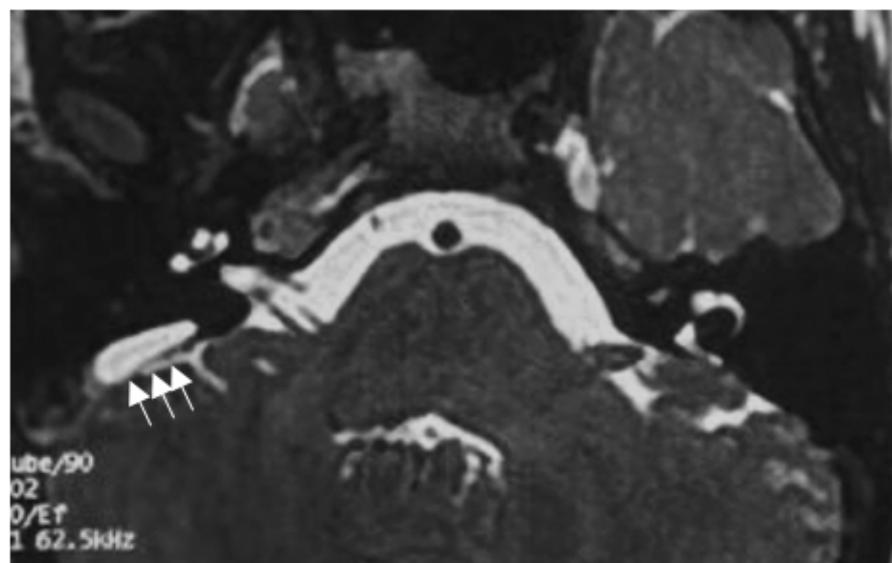


Figure 38 : IRM labyrinthique, séquence T2, en coupe axiale montrant une dilatation du sac endolymphatique.

2. 2 Les liquides labyrinthiques :

Le signal liquidien du labyrinthe membraneux était normal, identique à celui du liquide cérébrospinal (LCS), chez 243 patients (soit 95,7%). En revanche, nous avons noté une atténuation du signal (fibrose et ossification labyrinthique) en regard de la partie proximale du tour basal de la cochlée chez 9 patients (soit 3,5%) et en regard du CSC latéral chez un patient.

Par ailleurs, l'IRM a objectivé un cas d'hémorragie labyrinthique post-traumatique, avec préservation du signal liquidien au niveau cochléaire. (Figure 39).

Parmi les 9 patients ayant une cochlée ossifiée à l'IRM, nous avons noté 8 cas de surdité post-méningitique, et un cas de surdité post-traumatique.

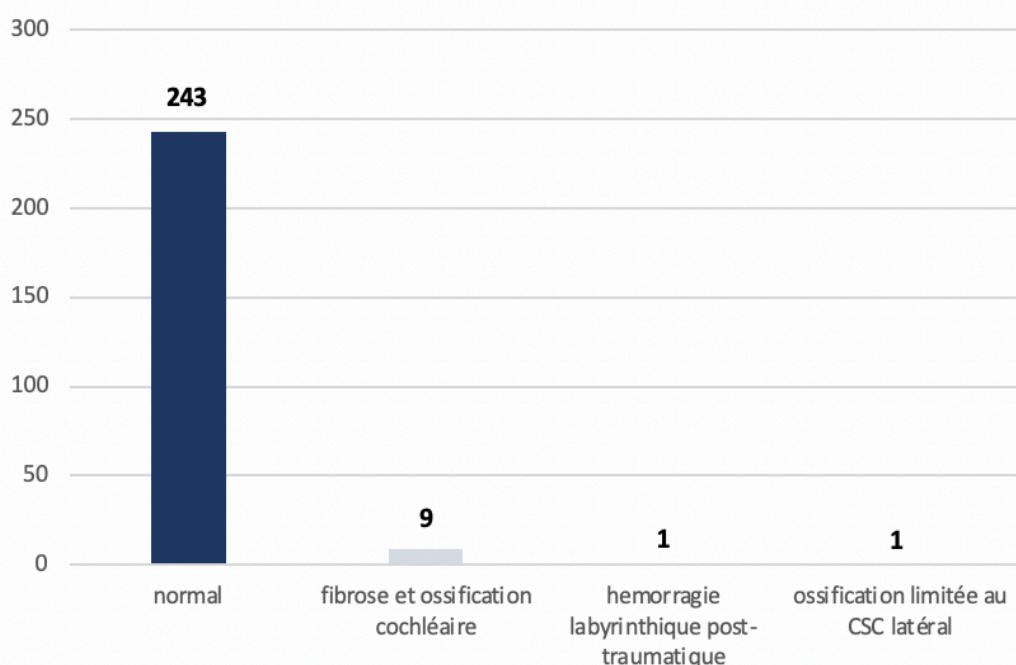


Figure 39 : anomalies de signal du labyrinthe membraneux.

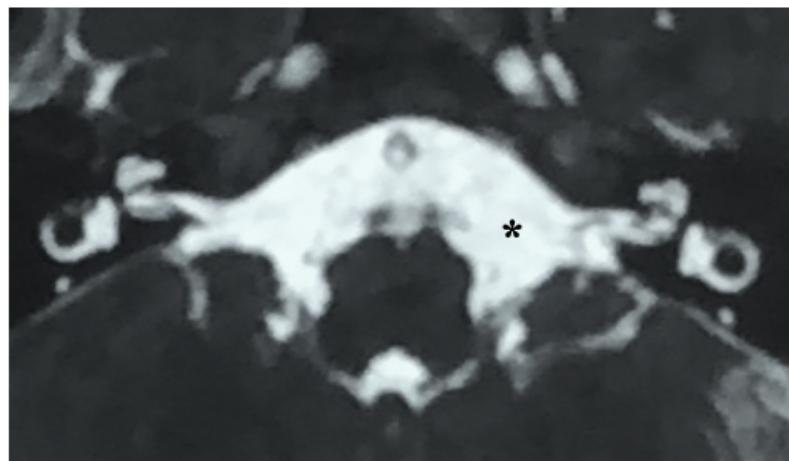


Figure 40 : IRM labyrinthique, séquence T2 en coupe axiale qui montre un aspect normal du labryrinthe membraneux, en hypersignal T2 identique à celui du LCS présent dans la citerne ponto-cérébelleuse (*).

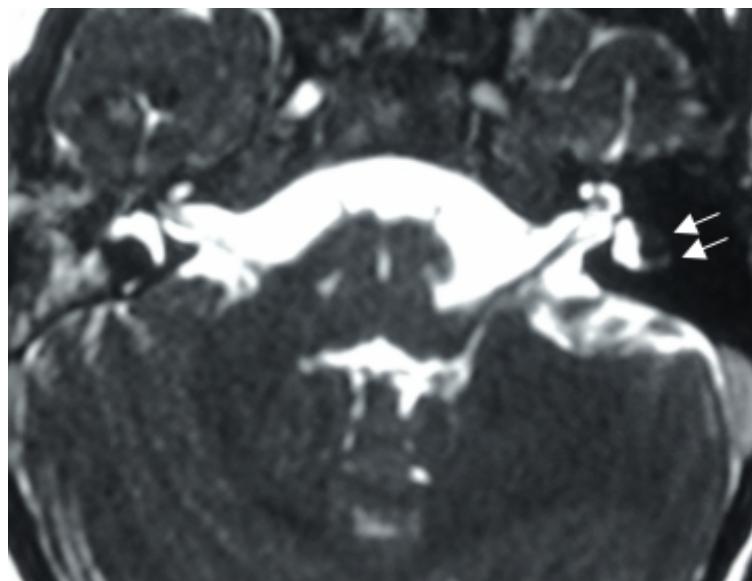
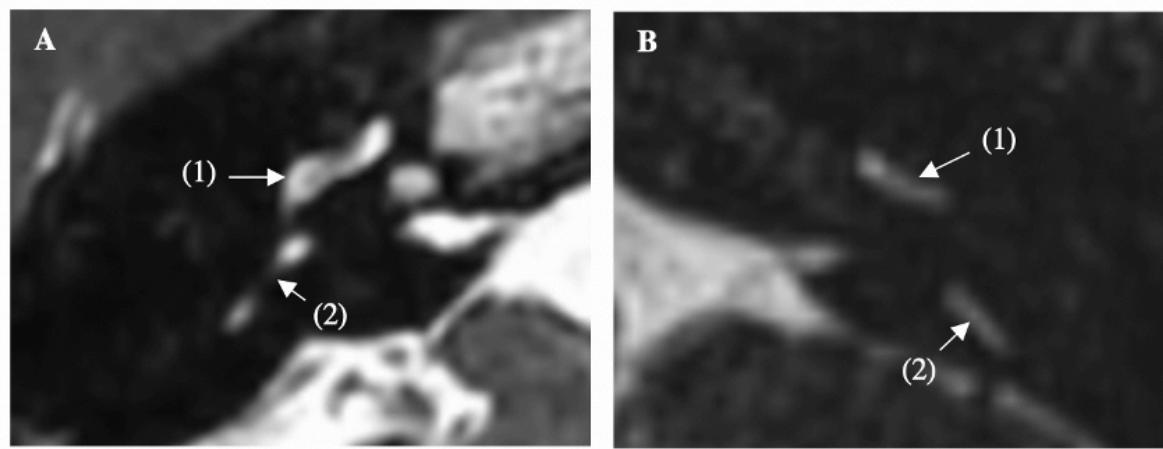


Figure 41 : IRM labyrinthique, séquence T2 en coupe axiale qui montre une atténuation du signal liquidien en regard du CSC latéral gauche (double flèche blanche).



(1) : Tour basal de la cochlée, (2) : CSC postérieur

Figure 42 : IRM labyrinthique, séquence T2 en coupes axiales. (A) : cochlée perméable, (B) : cochlée ossifiée.

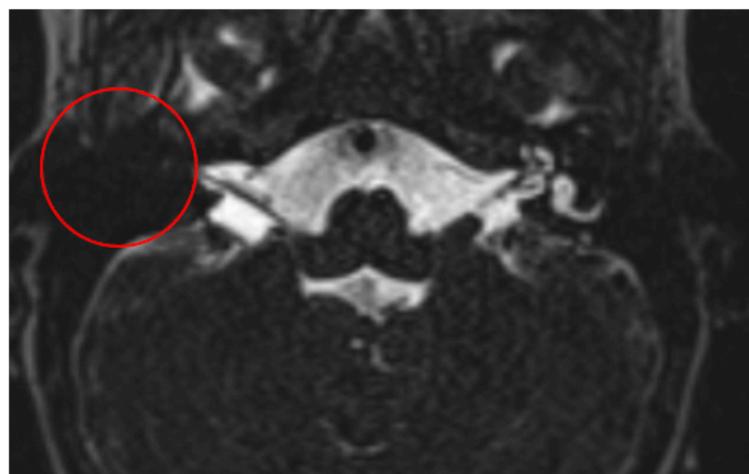


Figure 43 : IRM labyrinthique, séquence T2 en coupe axiale illustrant une ossification cochléaire majeure (extinction complète du signal liquidien du labyrinthe membraneux).

N.B : La figure 43 montre un cas d'ossification cochléaire évoluée du côté droit, au décours d'une méningite à pneumocoque, ayant conduit à implanter ce patient du côté controlatéral dans les plus brefs délais.

2. 3 Le paquet acoustico-facial :

Nous avons noté **2** cas d'hypoplasie du nerf cochléaire (Figure 44), associée chez un cas à une hypoplasie du nerf facial (VII), une hypoplasie du vestibule et une agénésie des CSC évoquant un syndrome CHARGE.

Par ailleurs, le reste des patients inclus dans notre série avait un paquet acoustico-facial d'aspect normal à l'IRM.

Nous n'avons relevé aucun cas de processus expansif intra-méatique.

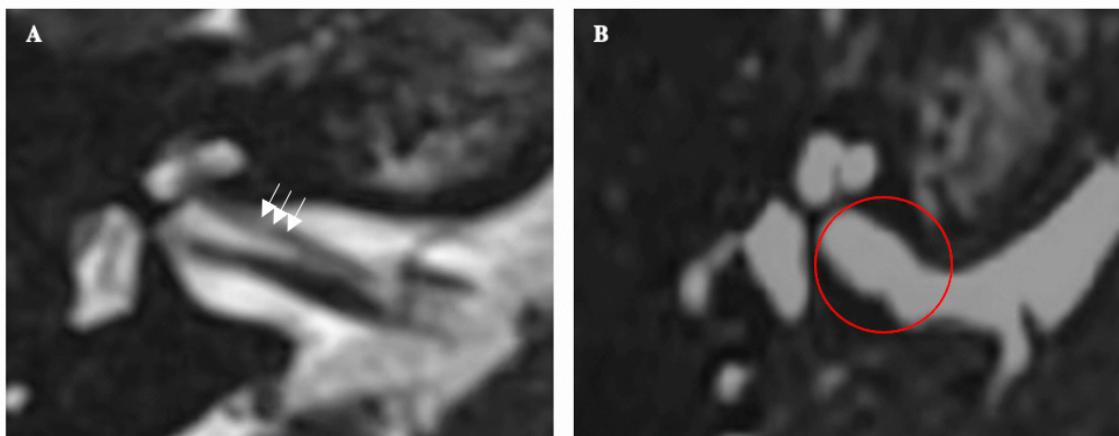


Figure 44 : IRM labyrinthique, séquence T2 en coupes axiales. (A) : nerf cochléaire de calibre normal, (B) : hypoplasie du nerf cochléaire.

2. 4 Le parenchyme cérébral :

Des lésions de la substance blanche ont été retrouvées chez 10 patients (soit 3,9%)

La figure ci-dessous décrit les différentes anomalies rencontrées dans notre série. (Figure 45)

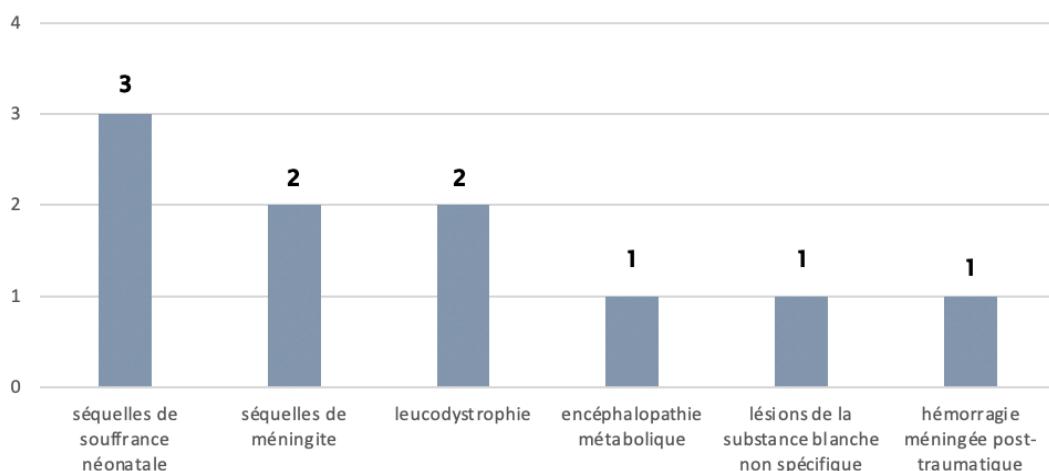


Figure 45 : Les anomalies du parenchyme cérébral à l'IRM en séquence T2 et FLAIR.

IV. Les données opératoires :

1. Côté d'implantation :

Sur **254** patients, **204** ont été implanté du côté droit (80,3%), et **50** du côté gauche (19,7%).

2. Voie d'abord :

Tous les patients ont été opéré par voie rétro-auriculaire transmastoïdienne avec mastoïdectomie, antro-atticotomie et tympanotomie postérieure.

Les changements peropératoires de la voie d'abord seront détaillés ultérieurement.

3. Durée de l'intervention :

La durée moyenne de la chirurgie était de 2h13min avec des extrêmes allant de 50min à 5h30min et une médiane de 1h56min.

4. Constatations peropératoires :

4. 1 Mastoïdectomie et antro-atticotomie :

En peropératoire, nous avons noté un défaut de pneumatisation des cellules mastoïdiennes chez **30** patients (11,8%), une procidence du sinus sigmoïde chez **18** patients (7,1%) et **8** cas de procidence des méninges temporales (3,1%).

Par ailleurs, la mastoïdectomie et l'antro-atticotomie ont été jugées difficiles à réaliser chez **34** patients (13,4%). Tous, avaient au moins une des 3 anomalies précédemment citées.

4. 2 La tympanotomie postérieure :

36 patients avaient un récessus facial non pneumatisé, contenant un os compact rendant ainsi la tympanotomie postérieure difficile à réaliser.

4. 3 Visibilité et accès chirurgical à la FR :

En peropératoire, la FR était classée « visible » (Type I ou IIa) chez 194 patients (76,4%) et « non visible » (Type IIb ou III) chez 60 patients (23,6%). (Figure 46)

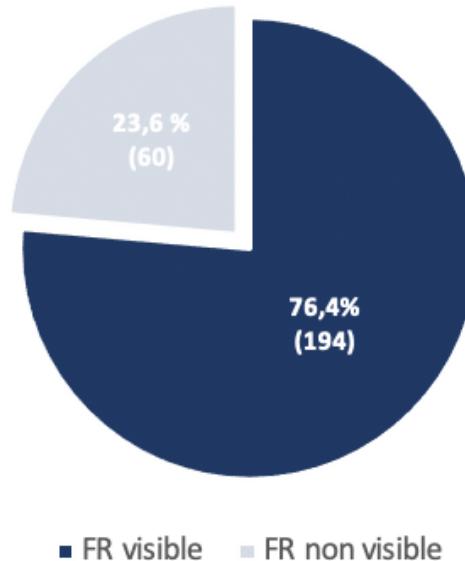


Figure 46 : Visibilité de la FR.

La figure ci-dessous décrit les différentes difficultés chirurgicales rencontrées chez les cas classés « FR non visible » (Type **IIb** ou **III**). (Figure 47)

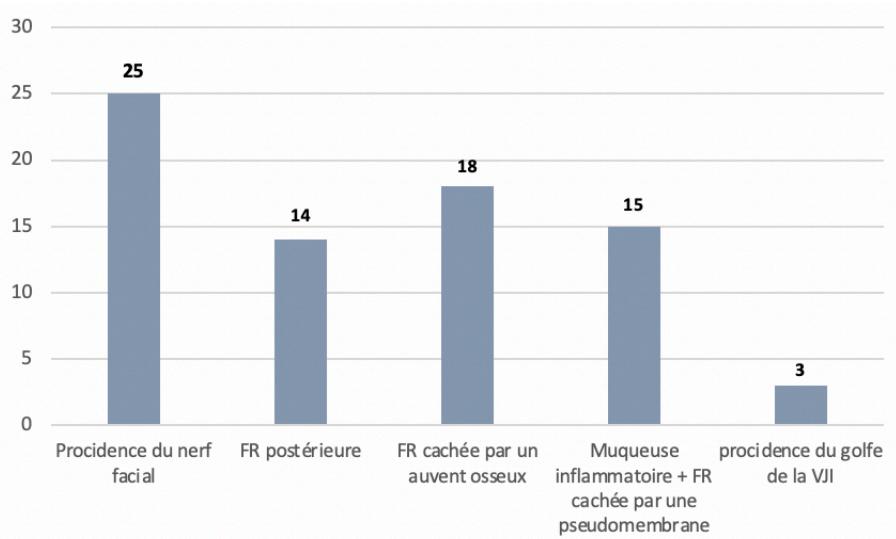


Figure 47 : Difficultés chirurgicales liées au repérage de la FR.

N.B : une ou plusieurs difficultés peuvent être observées chez un même patient.

L'accès à la rampe tympanique était possible directement via la FR chez **184** patients (72,4%). En revanche, afin de permettre une insertion optimale, dans l'axe du tour basal de la cochlée, nous avons dû élargir la FR en antéro-inférieur chez **36** patients (14,2%), et réaliser une cochléostomie au promontoire chez **34** autres (13,4%). (Figure 48)

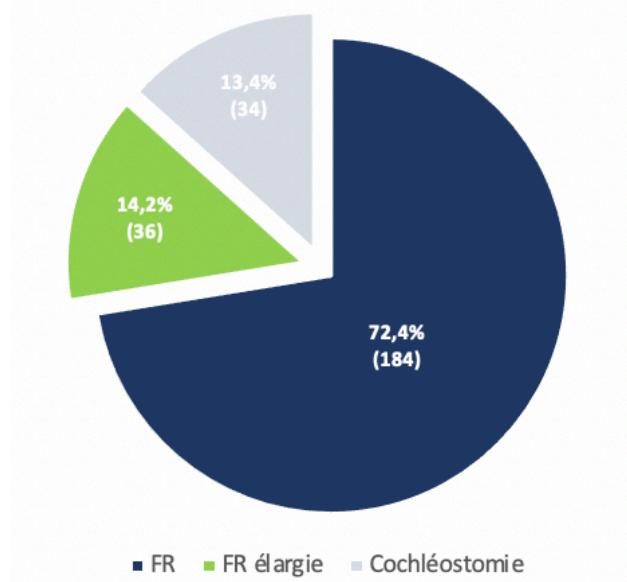


Figure 48 : Accès chirurgical à la rampe tympanique.

Par ailleurs, afin d'obtenir une meilleure exposition chirurgicale, nous étions contraints d'élargir la tympanotomie postérieure, en sacrifiant la corde du tympan, chez 3 patients, et de changer la voie d'abord en utilisant une voie transcanalaire, avec élévation d'un lambeau tympano-méatal, dans 3 cas.

4. 4 Le geyser :

Dans notre série, nous avons rencontré **4** cas de geyser (1,4%).

4. 5 Insertion du porte-électrode :

Le tour basal de la cochlée était ossifié chez **9** patients (soit 3,5%).

Chez ces patients-là, nous avons pu obtenir une insertion complète dans **7** cas : via une cochléostomie dans **2** cas, et après tunnelisation des tissus fibrosés et ossifiés, jusqu'à individualisation d'une lumière perméable, dans **5** cas.

En revanche, nous avons relevé 2 cas d'insertion partielle : ossification cochléaire infranchissable.

5. Suites post-opératoires immédiates :

La durée d'hospitalisation était de 3 jours en moyenne.

Une perforation tympanique postérieure a été relevée dans 3 cas à l'examen otoscopique postopératoire, et nous n'avons noté aucun cas de paralysie faciale périphérique ou de méningite.

Le contrôle de la situation de l'implant a été fait par une radiographie standard en incidence Stenvers à J1 postopératoire. (Figure 49,50)



Figure 49 : Radiographie standard en incidence Stenvers montrant une insertion complète du porte-électrode en intra-cochléaire.

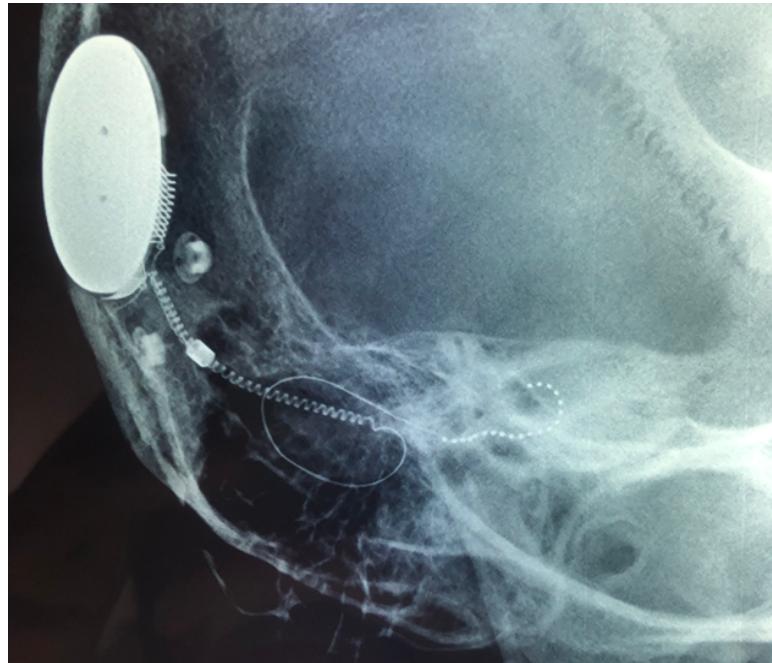


Figure 50 : Radiographie standard en incidence Stenvers montrant une insertion partielle du porte-électrode.

V. Corrélations radio-chirurgicales : étude analytique

En confrontant les données radiologiques aux constatations chirurgicales, nous avons évalué la validité intrinsèque du scanner des rochers et de l'IRM labyrinthique. Pour ce faire, nous nous sommes basés sur le calcul de la sensibilité (Se), la spécificité (Sp), la valeur prédictive positive (Vpp) et la valeur prédictive négative (Vpn) de ces examens, afin d'apprécier leurs degrés de fiabilité, en termes d'analyse des repères anatomiques pertinents, et de prédiction des différentes difficultés pouvant être rencontrées en peropératoire.

Nous avons évalué également le degré d'accord entre les données radiologiques et chirurgicales en calculant le coefficient kappa (κ) de Cohen, pour les différentes structures étudiées.

Pour terminer, nous avons aussi utilisé des tests d'analyse statistique adéquats (Khi Carré, Fisher, Student, ANOVA ...etc), qui seront détaillés ultérieurement, afin de juger si le degré de difficulté annoté aux différentes étapes chirurgicales est significativement lié aux données de l'imagerie. Le test est considéré comme « significatif » lorsque la valeur **p** (degré de signification) est inférieure à 0,05.

1. La mastoïde :

Le calcul du coefficient kappa (κ), a montré un degré d'accord excellent ($\kappa=0,92$) entre le scanner et la chirurgie dans l'évaluation de la pneumatisation des cellules mastoïdiennes. (Tableau III)

Tableau III : Pneumatisation des cellules mastoïdiennes.

	Mastoïde pneumatisée (per-op)	Mastoïde non pneumatisée (per-op)	Total
Mastoïde pneumatisée (TDM)	220	0	220
Mastoïde non pneumatisée (TDM)	4	30	34
Total	224	30	254

Se	Sp	Vpp	Vpn
100%	98,2%	88,2%	100%

Dans notre série, la mastoïdectomie et l'antro-atticotomie ont été jugées difficiles à réaliser chez **34** patients. Ainsi, nous avons utilisé un test Khi-carré (χ^2) d'indépendance pour déterminer si cette difficulté est liée au degré de pneumatisation des cellules mastoïdiennes.

Pour cela, nous avons défini 2 groupes :

- Groupe 1 : mastoïde pneumatisée (TDM)
- Groupe 2 : mastoïde non pneumatisée (TDM)

L'analyse statistique a révélé une différence significative entre les 2 groupes en termes de difficulté chirurgicale ($p<0,001$).

Nous avons également comparé la durée moyenne de l'intervention entre ces 2 groupes, en utilisant un test de Student. (Tableau IV)

Tableau IV : Durée moyenne de la chirurgie.

	n	Durée moyenne de la chirurgie
Mastoïde pneumatisée (TDM)	220	2h02min
Mastoïde non pneumatisée (TDM)	34	3h29min

Le calcul a montré une différence moyenne de 1h27 min, qui était significative à une valeur $p<0,001$.

Nous avons donc pu démontrer qu'un défaut de pneumatisation mastoïdienne était associé à une chirurgie plus longue et difficile.

2. Le sinus sigmoïde :

Le calcul du coefficient kappa (k), a montré un degré d'accord excellent ($k=0,85$) entre le scanner et la chirurgie dans l'évaluation de la position du sinus sigmoïde (SS). (Tableau V)

Tableau V : Le sinus sigmoïde.

	Position normale du SS (per-op)	Procidence du SS (per-op)	Total
Position normale du SS (TDM)	233	2	235
Procidence du SS (TDM)	3	16	19
Total	236	18	254

Se	Sp	Vpp	Vpn
88,9%	98,7%	84,2%	99,1%

Nous avons de nouveau établi **2** groupes :

- Groupe **1** : Position normale du SS (TDM)
- Groupe **2** : procidence du SS (TDM).

L'analyse statistique a objectivé une différence significative entre le groupe **1** et **2** en termes de difficulté chirurgicale (**p<0,001**).

Aussi, nous avons mis en évidence une différence significative à une valeur **p<0,001** dans la durée moyenne de la chirurgie entre ces 2 groupes. (Tableau VI)

Tableau VI : Durée moyenne de la chirurgie.

	n	Durée moyenne de la chirurgie
Position normale du SS (TDM)	235	2h05min
Procidence du SS (TDM)	19	3h40min

3. Les méninges temporales :

Le calcul du coefficient kappa (*k*), a montré un bon degré d'accord (*k=0,72*) entre le scanner et la chirurgie dans l'évaluation de la position des méninges temporales. (Tableau VII)

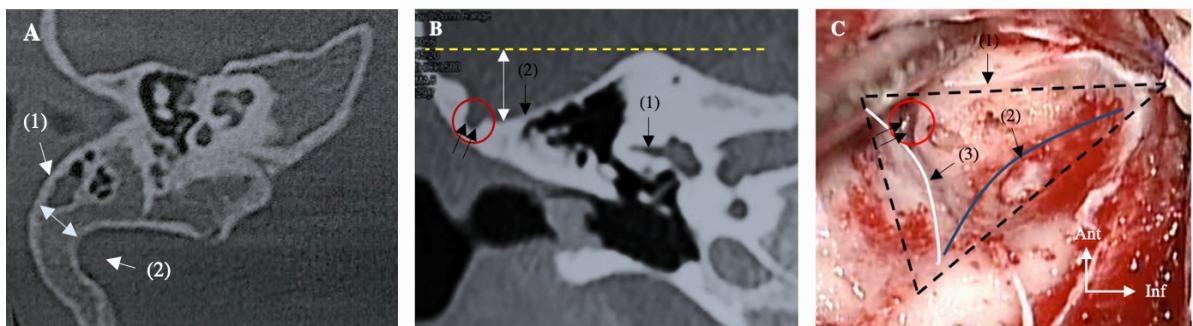
En adoptant le même raisonnement précédemment décrit, nous avons conclu que la procidence des méninges temporales était elle aussi associée à une chirurgie plus longue (*p=0,008*) et difficile (*p= 0,007*). (Tableau VIII)

Tableau VII : Les méninges temporales.

	Position normale des méninges (per-op)	Procidence des méninges (per-op)	Total
Position normale des méninges (TDM)	243	2	245
Procidence des méninges (TDM)	3	6	9
Total	246	8	254
Se	Sp	Vpp	Vpn
75%	98,8%	66,7%	99,2%

Tableau VIII : Durée moyenne de la chirurgie.

	n	Durée moyenne de la chirurgie
Position normale des méninges (TDM)	245	2h10min
Procidence des méninges (TDM)	9	3h28min



A-TDM du rocher droit en coupe axiale. (1) : Mur postérieur du CAE, (2) : Sinus sigmoïde.
B- TDM du rocher droit en reconstruction coronale. (1) : CSC latéral, (2) : Méninges temporales.
C- Vue opératoire. (1) : Mur postérieur du CAE, (2) : Sinus sigmoïde, (3) : Méninges temporales,
---- : Triangle d'attaque de mastoïdectomie.

Figure 51 : Procidence du sinus sigmoïde et des méninges temporales avec persistance d'un sinus pétro-squameux (double flèche) confirmés en per-op, entravant l'accès chirurgical à l'antre mastoïdien.

4. Le nerf facial :

Parmi les 25 cas de procidence de la 3^{ème} portion du nerf facial notés en peropératoire, 3 patients avaient une TDM normale.

Aussi, nous avons relevé un cas de procidence sur le scanner qui n'a pas été confirmé en per-op. (Tableau IX)

Néanmoins, le degré d'accord observé entre les données radiologiques et chirurgicales, dans l'évaluation du trajet du nerf facial était excellent ($k= 0,88$).

Tableau IX : Le trajet du nerf facial.

	Normal (per-op)	Procidence du nerf facial (per-op)	Total
Normal (TDM)	228	4	232
Procidence du nerf facial (TDM)	1	21	22
Total	229	25	254

Se	Sp	Vpp	Vpn
84%	99,6%	95,5%	98,3%

5. Le récessus facial :

L'évaluation du récessus facial a porté sur 2 paramètres radiologiques :

- 1- La largeur en mm : celle-ci sera corrélée ultérieurement à l'accessibilité de la FR.
- 2- La présence/absence de cellules aériennes dans le récessus.

Concernant ce dernier paramètre, le degré de concordance entre le scanner et la chirurgie était excellent ($k=0,93$). (Tableau X)

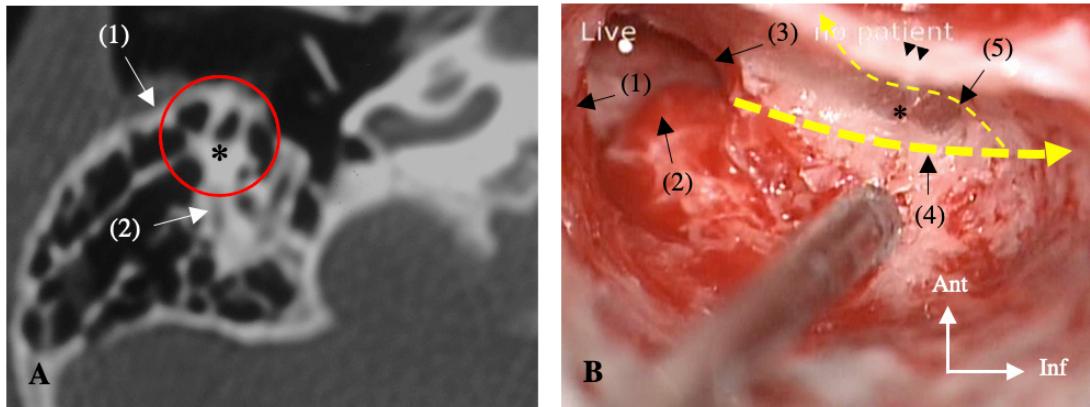
Un test exact de Fisher a été utilisé, afin de déterminer si le degré de difficulté annoté à la tympanotomie postérieure était lié au degré de pneumatisation du récessus facial.

L'analyse statistique a démontré que l'absence de cellules aériennes était significativement associée à un accès chirurgical difficile ($p<0,001$).

Tableau X : La pneumatisation du récessus facial.

	Récessus pneumatisé (per-op)	Récessus non pneumatisé (per-op)	Total
Récessus pneumatisé (TDM)	217	3	220
Récessus non pneumatisé (TDM)	1	33	34
Total	218	36	254

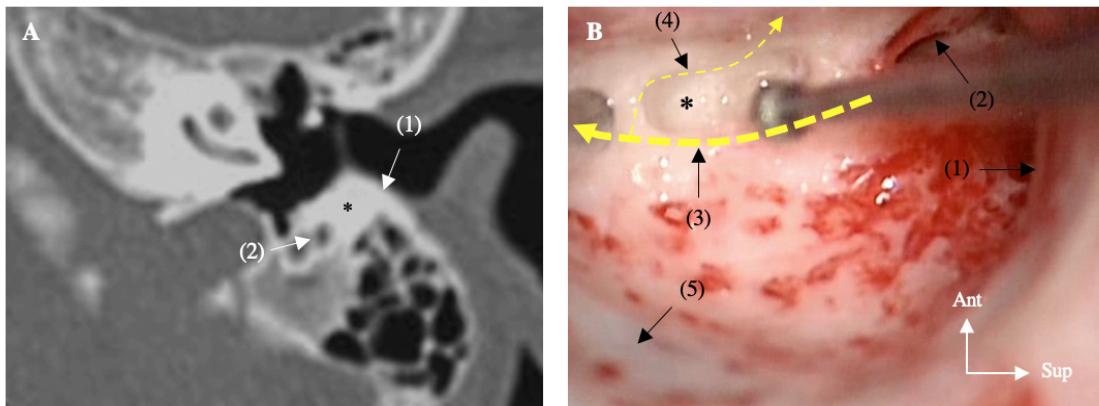
Se	Sp	Vpp	Vpn
91,7%	99,5%	97,1%	98,6%



A- TDM du rocher droit en coupe axiale. (1) : Mur postérieur du CAE, (2) : 3^{ème} portion du nerf facial, (*) : récessus facial.

B- Vue opératoire. ▲▲ : Mur postérieur du CAE, (1) : Tegmen, (2) : CSC latéral, (3) : Courte apophyse de l'enclume, (4) : 3^{ème} portion du nerf facial, (5) : Corde du tympan, (*) : récessus facial.

Figure 52 : Présence de cellules pneumatiques dans le récessus facial confirmée en per-op (véritable guide pour la tympanotomie postérieure)



A- TDM du rocher gauche en coupe axiale. (1) : Mur postérieur du CAE, (2) : 3^{ème} portion du nerf facial, (*) : récessus facial.

B- Vue opératoire. (1) : Tegmen, (2) : Courte apophyse de l'enclume, (3) : 3^{ème} portion du nerf facial, (4) : Corde du tympan, (5) : Sinus sigmoïde, (*) : récessus facial.

Figure 53 : Récessus facial acellulaire contient de l'os compact (tympanotomie postérieure difficile et risque important de blessure pour le nerf facial).

6. La visibilité de la FR :

Selon la méthode Mandour, la FR était classée « non visible » chez 50 patients, dont 42 étaient en corrélation avec les données chirurgicales. La sensibilité (Se) et la spécificité (Sp) de cette méthode étaient de 70% et 95,9% respectivement. La valeur prédictive positive (Vpp) ainsi que la valeur prédictive négative (Vpn) étaient de 84% et 91,2% respectivement. (Tableau XI)

Selon la méthode Elzayat, la FR était classée « non visible » chez 51 patients, dont 44 étaient en corrélation avec les données chirurgicales. La sensibilité (Se) et la spécificité (Sp) de cette méthode étaient de 73,3% et 96,4% respectivement. La valeur prédictive positive (Vpp) ainsi que la valeur prédictive négative (Vpn) étaient de 86,3% et 92,1% respectivement. (Tableau XII)

D'autre part, nous avons noté 60 cas de FR classée « non visible » en peropératoire (Type IIb ou III), dont 50 étaient correctement anticipé sur le scanner, par au moins une des 2 méthodes radiologiques.

Ainsi en combinant ces 2 méthodes, nous avons pu obtenir une sensibilité nettement plus élevée (83,3%). (Tableau XIII)

Tableau XI : Prediction de la visibilité de la FR selon la méthode Mandour.

	FR « visible » (Type I ou IIa)	FR « non visible » (Type IIb ou III)	Total
FR « visible » (TDM)	186	18	204
FR « non visible » (TDM)	8	42	50
Total	194	60	254
Se	Sp	Vpp	Vpn
70%	95,9%	84%	91,2%

Tableau XII : Prediction de la visibilité de la FR selon la méthode Elzayat.

	FR « visible » (Type I ou IIa)	FR « non visible » (Type IIb ou III)	Total
FR « visible » (TDM)	187	16	203
FR « non visible » (TDM)	7	44	51
Total	194	60	254
Se	Sp	Vpp	Vpn
73,3%	96,4%	86,3%	92,1%

Tableau XIII : Méthode Mandour et Elzayat combinées.

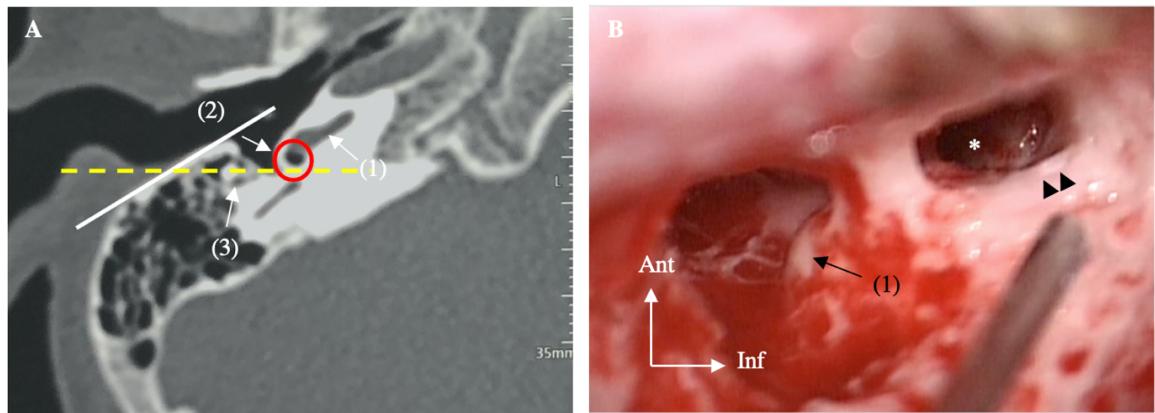
	FR « visible » (Type I ou IIa)	FR « non visible » (Type IIb ou III)	Total
FR « visible » (TDM) ¹	182	10	192
FR « non visible » (TDM) ²	12	50	62
Total	194	60	254
Se	Sp	Vpp	Vpn
83,3%	93,8%	80,6%	94,8%

¹ : la niche présente un aspect arciforme (méthode Elzayat) et la ligne de prédiction est parallèle avec la ligne du CAE (méthode Mandour).

² : la niche présente un aspect arrondi (méthode Elzayat) ou bien, la ligne de prédiction croise la ligne du CAE (méthode Mandour)

Aussi, la FR était classée « non visible » à la fois par la méthode Mandour et Elzayat chez **38** patients. Parmi eux, nous avons relevé **28** cas (soit **73,7%**) de FR classée ‘Type III’ en per-op, ayant nécessité le recours à une cochléostomie. (Figure 54)

Un test Chi-Carré d'indépendance a montré que lorsque ces 2 méthodes indiquent potentiellement des difficultés d'accès chirurgical, il existe une forte probabilité qu'une cochléostomie soit nécessaire pour accéder à la rampe tympanique du tour basal de la cochlée ($p<0,001$).



A- TDM du rocher droit en coupe axiale. (1) : Tour basal de la cochlée, (2) : Niche de la FR, (3) : 3^{ème} portion du nerf facial.

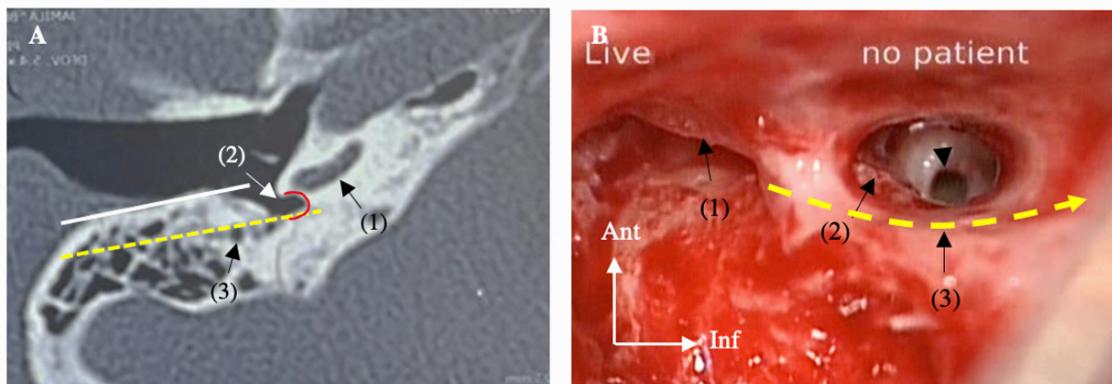
- Ligne blanche → ligne du CAE
- Ligne en pointillé jaune → ligne de prédition.

FR classée « non visible » à la fois par la méthode Mandour et Elzayat (ligne du CAE croise la ligne de prédition + aspect arrondi de la niche de la FR)

B- Vue opératoire. (1) : CSC latéral, (*) : Tympanotomie postérieure, ▲▲ : 3^{ème} portion du nerf facial.

FR non visible 'Type III' + procidence avec mise à nu du nerf facial dans sa portion mastoïdienne (▲▲)

Figure 54 : FR classée « non visible » à l'imagerie confirmée en per-op (FR type III avec procidence et mis à nu du nerf facial dans sa portion mastoïdienne).



A- TDM du rocher droit en coupe axiale. (1) : Tour basal de la cochlée, (2) : Niche de la FR, (3) : 3^{ème} portion du nerf facial.

- Ligne blanche → ligne du CAE
- Ligne en pointillé jaune → ligne de prédition.

FR classée « visible » à la fois par la méthode Mandour et Elzayat (Ligne du CAE parallèle avec la ligne de prédition + aspect arciforme de la niche de la FR)

B- Vue opératoire. (1) : Courte apophyse de l'enclume, (2) : éminence pyramidale, (3) : Trajet du nerf facial, ▲ : Fenêtre ronde. FR 'Type I' visible en totalité.

Figure 55 : FR 'Type I' visible en totalité à travers la tympanotomie postérieure, en corrélation avec les données de l'imagerie.

Par ailleurs, nous avons aussi évalué si la largeur du récessus facial ainsi que l'angle α précédemment décrit avaient un impact sur la visibilité de la FR.

Pour cela, nous avons établi **2** groupes :

- Groupe **1** : FR « visible » (Type **I** ou **IIa**)
- Groupe **2** : FR « non visible » (Type **IIb** ou **III**)

Les paramètres radiologiques mesurés étant les suivants :

- Largeur du récessus facial (en mm).
- Angle α

Un test de Student nous a permis de comparer les moyennes respectives de chaque mesure entre ces 2 groupes.

Le résultat de cette analyse a montré que les différences observées étaient statistiquement non significatives.

De ce fait, la largeur du récessus facial et l'angle α , mesurés sur le scanner, n'avaient aucun impact sur la visibilité de la FR dans notre série.

7. Les ossifications cochléaires :

Dans notre série, la cochlée était ossifiée en peropératoire chez **9** patients. Tous, avaient une atténuation du signal liquide du labyrinthe, en regard de la partie proximale du tour basal de la cochlée à l'IRM, indiquant au préalable la présence d'un obstacle endoluminal (fibrose ou ossification cochléaire).

Le scanner avait montré ces ossifications chez **7** patients (Figure 56), tandis que nous avons retrouvé **2** cas d'ossification au stade de fibrose, non détecté au scanner, et mis en évidence seulement à l'IRM, mais sans impact significatif sur le cours de la chirurgie : insertion complète du porte-électrode après tunnelisation des tissus fibrosés.

De ce fait, la TDM avait une Se, une Sp, une Vpp, ainsi qu'une Vpn de **77,8%** **100%**, **100%** et **99,2%** respectivement dans la détection des ossifications cochléaires. (Tableau XIV)

L'IRM quant à elle, avait une Se, une Sp, une Vpp, et une Vpn de **100%**. (Tableau XV)

Tableau XIV : Apport de la TDM dans le diagnostic des ossifications cochléaires.

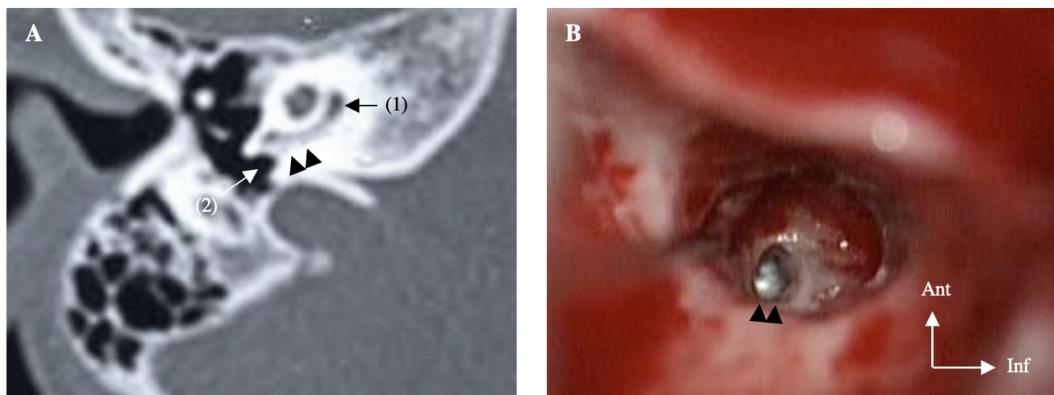
	Cochlée perméable (per-op)	Cochlée non perméable (per-op)	Total
Cochlée perméable (TDM)	245	2	247
Cochlée « non perméable » (TDM)	0	7	7
Total	245	9	254

Se	Sp	Vpp	Vpn
77,8%	100%	100%	99,2%

Tableau XV : Apport de l'IRM dans le diagnostic des ossifications cochléaires.

	Cochlée perméable (per-op)	Cochlée non perméable (per-op)	Total
Cochlée perméable (IRM)	245	0	245
Cochlée « non perméable » (IRM)	0	9	9
Total	245	9	254

Se	Sp	Vpp	Vpn
100%	100%	100%	100%



A- TDM du rocher droit en coupe axiale. (1) : Tour basal de la cochlée, (2) : Niche de la FR.
B- Vue opératoire.

Figure 56 : Ossification au niveau de la rampe tympanique du tour basal de la cochlée (double tête de flèche noire)

8. Geyser et malformations de l'oreille interne :

Dans notre série, un geyser après ouverture de la cochlée a été noté en peropératoire chez 4 patients. Tous, avaient des malformations de l'oreille interne à l'imagerie : CAI et fossette cochléaire élargis, associés à une dilatation de l'aqueduc du vestibule, et un modiolus complétement absent chez 3 patients, et dilatation isolée de l'aqueduc du vestibule chez 1 patient.

Nous n'avons rencontré aucun cas de geyser sur oreille de structure anatomique normale. (Tableau XVI)

Un test exact de Fisher a montré que 2 paramètres étaient associés à un risque important de geyser ($p<0,001$)

- 1- L'aspect du Modiolus.
- 2- Le diamètre de la fossette cochléaire.

Le risque de geyser dans les dilatations isolées de l'aqueduc du vestibule et l'élargissement isolé du CAI était statistiquement non significatif dans notre série.

Tableau XVI : Malformations de l'oreille interne à risque de geyser en corrélation avec les données chirurgicales.

	Absence de geyser (per-op)	Geyser (per-op)	Total
Oreille interne d'aspect normal	243	0	243
Malformation de l'oreille interne	7	4	11
Total	250	4	254

Se	Sp	Vpp	Vpn
100%	97,2%	36,4%	100%



DISCUSSION



I. Imagerie de l'implantation cochléaire :

1. Intérêt de l'imagerie dans la chirurgie de l'implantation cochléaire :

1. 1 En préopératoire :

L'imagerie joue un rôle capital dans le bilan pré-implantation cochléaire, et remplit 3 objectifs principaux :

- 1- Elle permet d'orienter le diagnostic étiologique de la surdité, en montrant des aspects caractéristiques du labyrinthe. Aussi, grâce à l'analyse concomitante de la base du crâne et du parenchyme cérébral, elle permet de retrouver des anomalies associées, qui vont parfois faire d'une surdité que l'on croyait isolée, une pathologie associée dans un cadre syndromique ou liée à une cause spécifique.
- 2- Elle participe à la sélection appropriée des candidats, en éliminant les contre-indications à cette chirurgie, à savoir : l'agénésie du nerf cochléaire, l'aplasie cochléaire, l'aplasie complète du labyrinthe dite « aplasie de Michel », et les ossifications cochléaires majeures.
- 3- Elle aide le chirurgien à planifier le geste opératoire, et prévoir sa faisabilité en mettant le point sur les principaux repères chirurgicaux et variantes anatomiques. Elle permet d'anticiper certaines difficultés opératoires, et de guider le choix du côté à planter, de la voie d'abord chirurgicale, et du type de l'implant.

La TDM et l'IRM sont les deux examens utilisés en routine :

La TDM des rochers évalue la pneumatisation des cavités tympano-mastoidiennes, le volume de l'antre, la position du sinus sigmoïde et des méninges temporales, le trajet du nerf facial, l'aspect de la fenêtre ronde, la position du golfe de la veine jugulaire, et le trajet de la carotide interne intra-pétreuse. Elle permet également d'analyser le labyrinthe osseux à la recherche d'ossifications cochléaires, ou de malformations cochléo-vestibulaires³.

L'IRM étudie à la fois la morphologie et le signal du labyrinthe membraneux. Elle permet de vérifier l'intégrité des paquets acoustico-faciaux et l'absence de pathologie rétro-cochléaire. L'étude du parenchyme cérébral permet de dépister des anomalies associées pouvant, d'une part, orienter sur l'origine de la surdité, et d'autre part compromettre les résultats de cette chirurgie : anomalies de la substance blanche ou anomalies de gyration (qui orientent vers une infection anténatale à cytomégalovirus), anomalies de signal des noyaux gris centraux (en faveur d'une maladie mitochondriale)³.

1. 2 En peropératoire :

Pendant la chirurgie, le recours à l'imagerie a été réduit depuis le développement des techniques d'électrophysiologie peropératoire : mesure des impédances, potentiels évoqués auditifs, NRT (neural response telemetry), et réflexes stapédiens électriques³.

1. 3 En postopératoire :

Une radiographie standard en incidence de Stenvers postopératoire permet de vérifier l'intégrité des électrodes, et de confirmer leur positionnement correct en intracochléaire. Elle sert également de référence, en cas de survenue d'un incident quelconque ultérieurement, pouvant nécessiter une explantation puis une réimplantation (par exemple une panne ou fracture de l'implant suite à un traumatisme crânien)^{9,10}.

La TDM apporte plus de précision, mais son utilisation est réservée pour certains cas particuliers^{9,10} :

- Malformations cochléo-vestibulaires.
- Complications postopératoires.
- Doute sur la qualité d'insertion des électrodes (insertion partielle, fausse route, torsion, mise en court-circuit, insertion dans la rampe vestibulaire, translocation de la rampe tympanique vers la rampe vestibulaire ...etc)

2. Résultats de l'imagerie :

2. 1 TDM des rochers :

a. La mastoïde :

Le développement des cellules mastoïdiennes est conditionné en grande partie par la pneumatisation de l'os temporal, qui dépend elle-même de facteurs génétiques et environnementaux. Cette pneumatisation est particulièrement diminuée en cas de pathologie inflammatoire chronique de l'oreille moyenne.^{11,12}

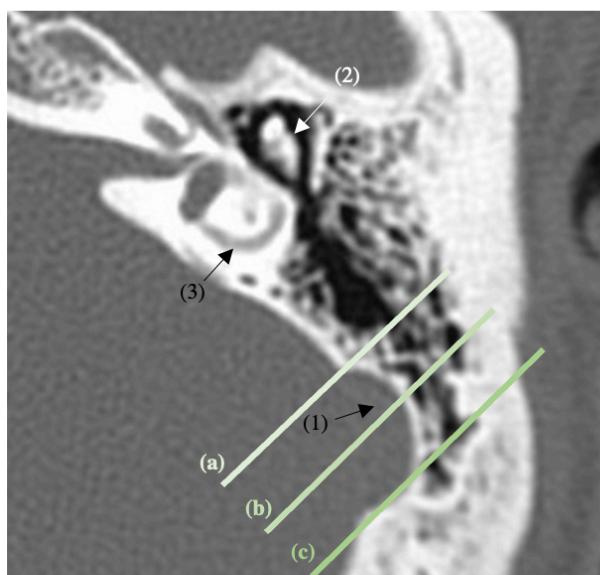
Témoignant du passé otique du patient, l'hypopneumatisation et la sclérose de la mastoïde peuvent rendre le fraisage difficile, lors de la mastoïdectomie corticale, et gêner l'identification des repères anatomiques situés en profondeur, augmentant ainsi le risque de complications iatrogènes.

De ce fait, l'otologiste tâchera d'apprécier le volume et la pneumatisation de la mastoïde sur le scanner, préalablement à toute chirurgie mastoïdienne.

Han et al¹³ ont proposé une méthode simple qui permet d'estimer le degré de pneumatisation de l'os temporal, en se basant sur la TDM des rochers en coupes axiales, et en prenant comme point de référence : le sinus sigmoïde (SS).

Cette méthode consiste à tracer 3 lignes parallèles, formant un angle de 45° par rapport au plan sagittal, sur une coupe scannographique passant par l'articulation incudo-malléaire (aspect en « cornet de glace »). (Figure 57)

- La ligne (a) et (c) marquant respectivement les limites antérieure et postérieure du sinus sigmoïde.
- La ligne (b) : tracée au centre, à mi-distance entre (a) et (c).



(1) : sinus sigmoïde, (2) : articulation incudo-malléaire (aspect en « cornet de glace »), (3) : CSC latéral.

Figure 57 : TDM du rocher gauche en coupe axiale passant par l'articulation incudo-malléaire.

Ainsi, on distingue 4 types de structures mastoïdiennes, en fonction de l'étendue de la pneumatisation par rapport à ces 3 lignes. (Figure 58¹³).

- Type I : La pneumatisation reste limitée aux régions situées en avant et en dedans de la ligne (a).
- Type II : Des cellules mastoïdiennes sont présentes entre (a) et (b).
- Type III : Des cellules mastoïdiennes sont présentes entre (b) et (c).
- Type IV : La pneumatisation est étendue latéralement et en arrière, dépassant la ligne (c).

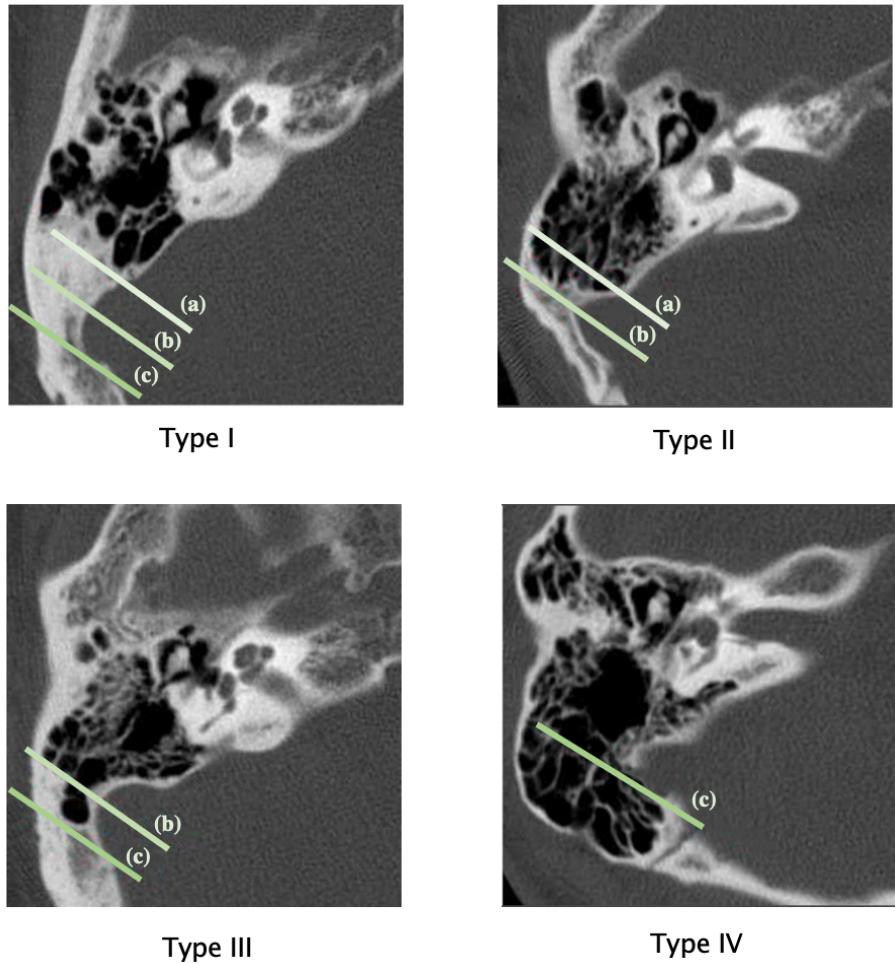


Figure 58 : Classification de la pneumatisation des cavités mastoïdiennes selon Han et al¹³.

Han et al¹³ ont démontré dans leur étude, qu'il existe une corrélation statistiquement significative entre cette classification et le volume d'air réel contenu dans l'os temporal, mesuré en utilisant des reconstructions 3D.

En suivant le même principe, Elzayat et al⁴, ont proposé une version modifiée de cette méthode en ne gardant que la ligne qui passe au centre du SS : l'équivalent de (b).

La pneumatisation étant considérée comme « favorable » si elle dépasse latéralement cette ligne (type III et IV), et « non favorable » lorsqu'elle reste en dedans de celle-ci (type I et II).

Park et al¹⁴ quant à eux, ont défini 3 catégories de pneumatisation : (Figure 59) « bien aérée », « moyennement aérée », et « peu aérée », mais la méthode utilisée n'a pas été élucidée dans leur travail.

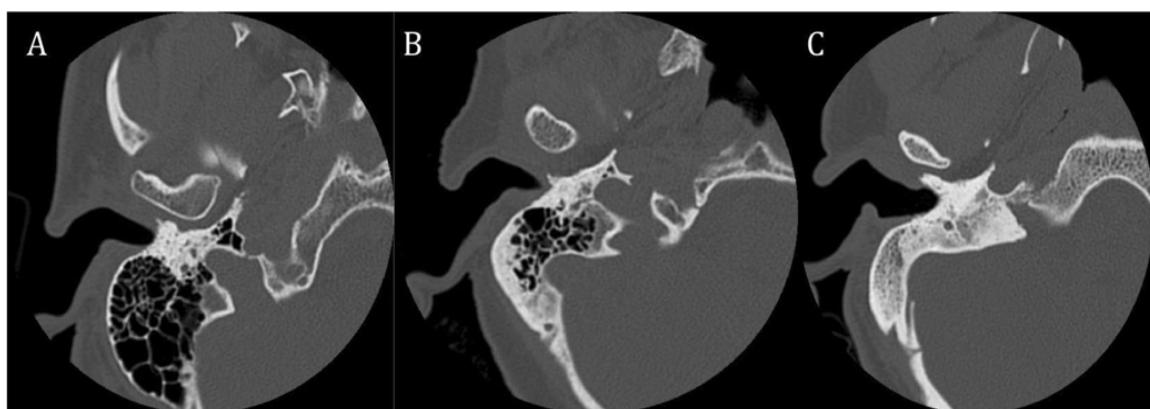


Figure 59 : TDM du rocher droit en coupe axiale, montrant une mastoïde (A) : bien aérée, (B) : moyennement aérée, et (C) : peu aérée.¹⁴

b. Le sinus sigmoïde :

Le sinus sigmoïde (SS) présente parfois des variantes anatomiques pouvant avoir un impact sur l'abord chirurgical de l'antre mastoïdien par voie rétro-auriculaire. En effet, le SS peut être très antérieurement situé arrivant jusqu'à l'antre, limitant l'accès au récessus facial et la réalisation d'une tympanotomie postérieure, et ce par défaut d'exposition chirurgicale adéquate.^{15,16,17}

La procidence du SS l'expose également aux traumatismes iatrogènes, pouvant avoir comme conséquence une hémorragie massive difficile à contrôler¹⁸, d'où l'intérêt d'évaluer sa position au préalable sur un scanner préopératoire.

Le long de son trajet, le sinus latéral dans son segment sigmoïdien, imprime une petite dépression en regard de la corticale mastoïdienne interne et de la face endocrânienne postérieure de la pyramide pétrouse¹⁹, visible sur le scanner des rochers en coupes axiales : c'est le sillon du sinus sigmoïde, dont la profondeur est variable en fonction du degré de sa procidence (Figure 60).

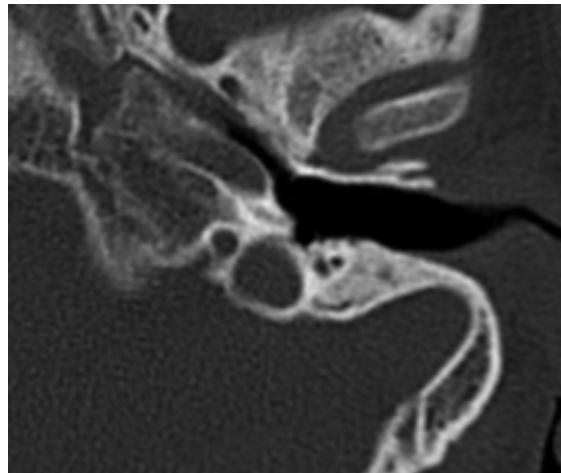


Figure 60 : TDM du rocher gauche en coupes axiales montrant une procidence importante du sinus sigmoïde.

c. Les méninges temporales :

Le tegmen constitue le toit de la caisse du tympan et de l'antre mastoïdien, qu'il sépare du lobe temporal¹¹.

Il siège habituellement au même niveau ou légèrement en dessous d'un plan horizontal passant par le bord supérieur de la pyramide pétrouse. Cependant, chez certains individus le tegmen peut être procident en bas, limitant de ce fait l'accès chirurgical à l'antre et à l'attique, et gênant l'identification de certains repères importants pour localiser le nerf facial et son récessus, à savoir le CSC latéral et la courte apophyse de l'enclume^{5,14}.

Cette procidence accroît également le risque de survenue d'une brèche ostéoméningée en post-opératoire et expose le contenu de la fosse cérébrale moyenne (méninges et lobe temporal) aux traumatismes chirurgicaux.

Par conséquent, le tegmen doit être analysé systématiquement en coupes coronales sur le scanner (Figure 61)

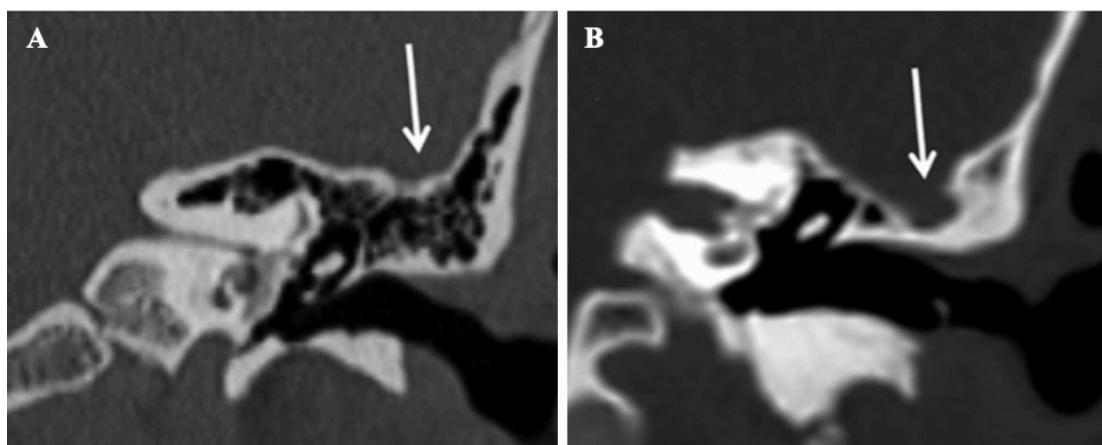


Figure 61 : TDM du rocher gauche en reconstructions coronales. L'image (A) montre un tegmen en position normale, tandis que l'image (B) montre une procidence des méninges temporales (flèche blanche)

Dans de rares cas, le tegmen est déhiscent, responsable de méningocèle ou de méningo-encéphalocèle spontanée. L'IRM complétera alors le bilan scannographique afin de poser le diagnostic.³

d. Aération de la caisse du tympan :

Le scanner peut montrer un comblement plus ou moins étendu des cavités tympano-mastoidiennes. Dans le cadre de l'otite moyenne chronique simple non cholestéatomateuse, ce comblement peut être lié à un épanchement séreux ou séromuqueux (situation assez fréquente chez l'enfant), ou à une hyperplasie muqueuse avec réaction fibro-inflammatoire³(Figure 62). Cette situation peut être source de difficultés opératoires :

- D'une part, la muqueuse épaissie et inflammatoire risque de saigner.
- D'autre part, le tissu inflammatoire peut gêner l'identification de repères chirurgicaux importants comme la niche de la FR qui est parfois masquée par une pseudomembrane.

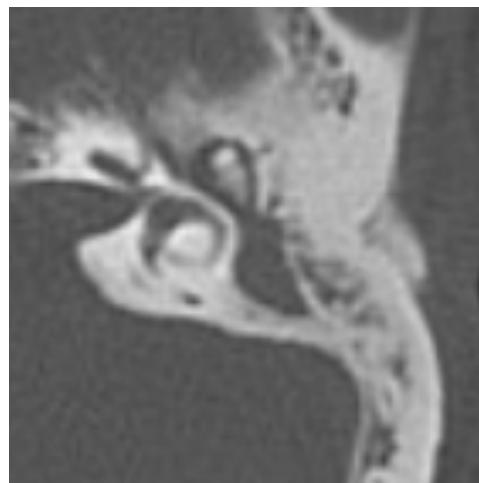


Figure 62 : TDM du rocher gauche en coupe axiale objectivant un comblement non spécifique des cavités tympano-mastoidiennes.

Néanmoins, le diagnostic de la pathologie inflammatoire de l'oreille moyenne reste avant tout clinique.

e. Le nerf facial :

Le nerf facial dans son trajet intra-pétreux, peut présenter des malformations ou des variantes anatomiques, qui doivent être connues compte tenu de leurs conséquences sur la chirurgie de l'implantation cochléaire.

Ces anomalies peuvent être classées en 3 catégories, et intéresser une partie ou la totalité du canal facial^{20,21} :

- 1- Les déhiscences du canal.
- 2- Les trajets aberrants.
- 3- Les agénésies et hypoplasies.

Les déhiscences sont des ruptures de continuité osseuse du canal facial ; Le nerf est par conséquent dénudé et exposé au sein de la caisse du tympan. Elles prédominent au niveau de la portion tympanique du canal facial, et peuvent toucher également le coude et la portion mastoïdienne. Les déhiscences du canal facial sont importantes tant par leur fréquence que par leur implication dans la survenue de paralysie faciale périphérique lors de pathologie (en particulier inflammatoire) ou de chirurgie otologique.²⁰

En outre, le nerf facial intra-pétreux peut avoir un trajet anormal :

e. 1 Dans son segment labyrinthique :

Il peut présenter un déplacement antéro-médial occupant le siège habituel de la cochlée lorsque celle-ci est aplasique.²² (Figure 63)

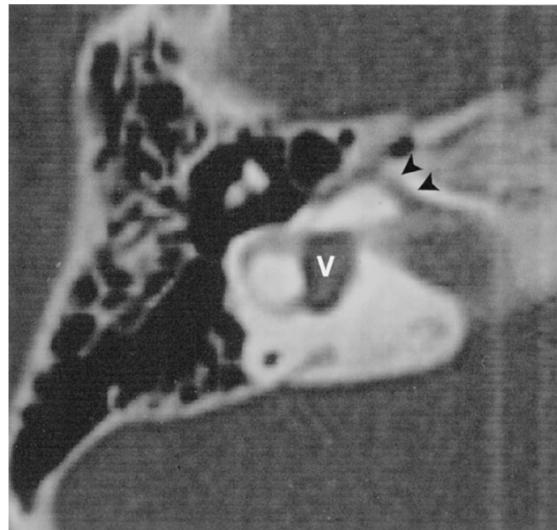
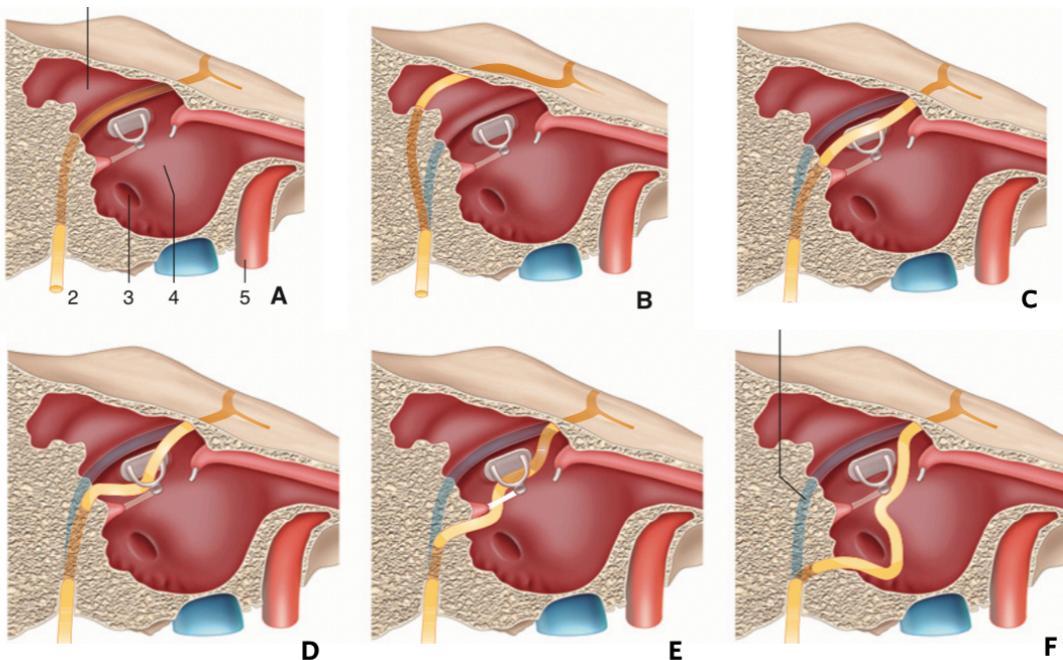


Figure 63 : TDM du rocher droit en coupe axiale montrant une aplasie cochléaire. Le canal facial dans sa portion labyrinthique est déplacé en avant, occupant le siège habituel de la cochlée qui est absente.²²

e. 2 Dans son segment tympanique :

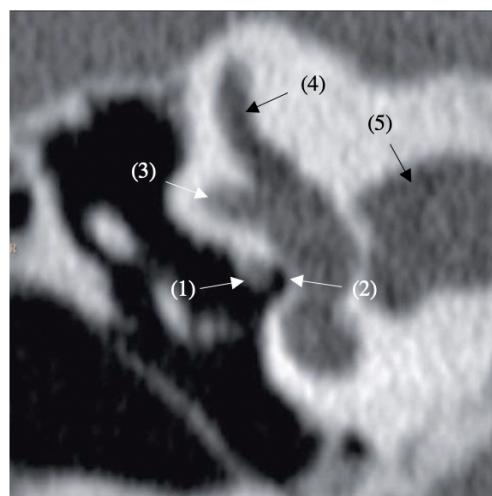
Les anomalies à ce niveau sont plus nombreuses et souvent associées à des dysplasies du stapes, des défauts de différenciation ou des agénésies de la fenêtre ovale.²³

Les figures suivantes illustrent les principales anomalies décrites dans la littérature. (Figure 64, 65)



- A. Anatomie normale. (1) : CSC latéral, (2) : nerf facial, (3) : fenêtre ronde, (4) : promontoire, (5) : carotide interne.
- B. Nerf facial longeant le bord supérieur du CSC latéral.
- C. Nerf facial masquant la fenêtre ovale.
- D. Nerf facial passant entre les branches du stapes.
- E. Nerf facial passant entre la fenêtre ovale et la fenêtre ronde.
- F. Le nerf facial quitte le ganglion géniculé et gagne directement le foramen stylo-mastoïdien, en longeant le promontoire.

Figure 64 : Anomalies du trajet de la portion tympanique du nerf facial.²⁰



- (1) : 2^{ème} portion du nerf facial, (2) : fenêtre ovale, (3) : CSC latéral, (4) : CSC supérieur, (5) : CAI.

Figure 65 : TDM du rocher droit en reconstruction coronale objectivant une procidence de la 2^{ème} portion du nerf facial, masquant la quasi-totalité de la fenêtre ovale.³

e. 3 Dans son segment mastoïdien :

Le nerf peut présenter un trajet : (Figure 65)

- Antérieur : compromettant l'accessibilité de la fenêtre ronde à travers la tympanotomie postérieure.
- Postérieur : susceptible d'être lésé à l'ouverture de l'antre mastoïdien.²¹
- Latéral (superficiel) : particulièrement chez le nouveau-né, chez qui la pointe de la mastoïde est très peu développée, exposant le nerf facial aux traumatismes obstétricaux lors de l'utilisation des forceps.¹²

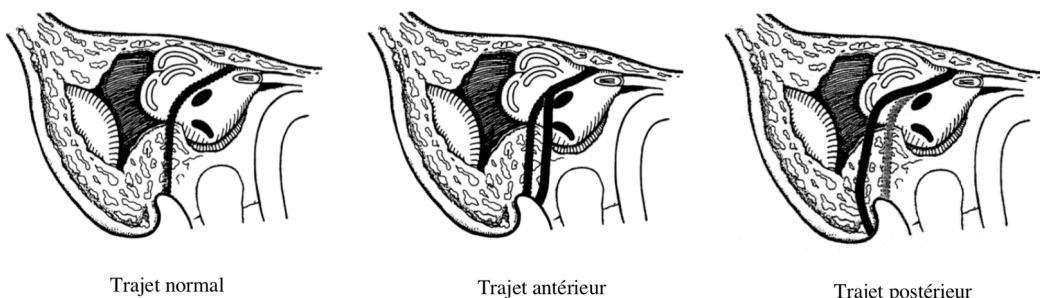


Figure 65 : Anomalies du trajet de la portion mastoïdienne du nerf facial selon England et al.²¹

Pour terminer, le nerf facial intra-pétreux peut aussi être absent ou hypoplasique, ou présenter une bifurcation ou une trifurcation dans l'une de ses 3 portions.²⁰

Cette grande variabilité anatomique que présente le canal facial, justifie une attention particulière chez les patients candidats à une implantation cochléaire. En effet, l'évaluation radiologique préopératoire du trajet du nerf facial permet au chirurgien otologiste de :

- 1- Minimiser le risque de traumatisme chirurgical du nerf facial : d'autant plus élevé que le nerf présente un trajet anormal
- 2- Guider le choix du coté à implanter
- 3- Guider le choix de la voie d'abord : un trajet latéral du nerf facial peut réduire considérablement la largeur de son récessus, rendant ainsi la tympanotomie postérieure

et la visualisation de la niche de la FR impossible, nécessitant le recours à d'autres alternatives chirurgicales.

La TDM des rochers en haute résolution (HRCT) permet une meilleure étude des structures osseuses, et constitue donc l'examen de choix pour analyser le canal facial.

f. Le récessus facial :

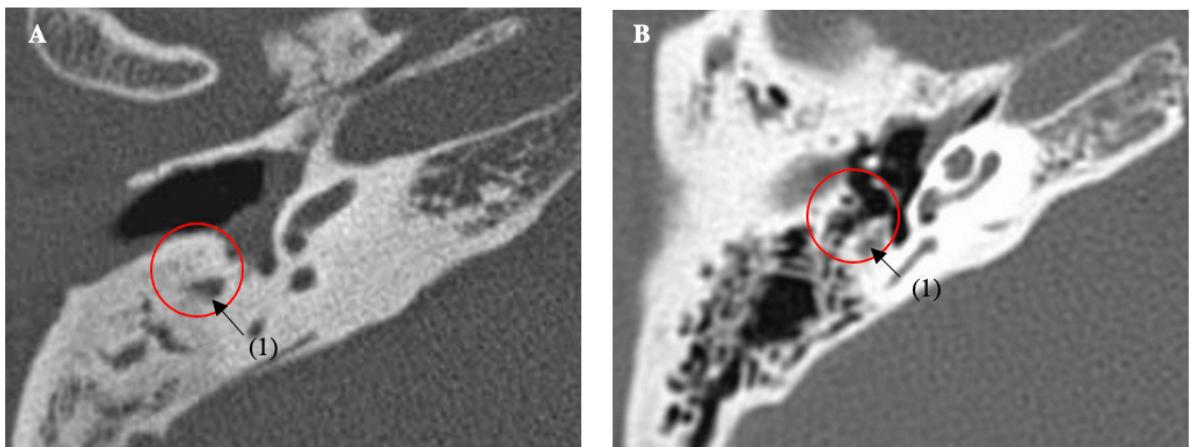
Le récessus facial est un espace osseux triangulaire à sommet inférieur, situé dans le rétrotympanum, bordé médialement par la 3^{ème} portion du nerf facial, latéralement par la corde du tympan, et en haut par la fossa incudis. L'ouverture chirurgicale de la caisse du tympan, par voie mastoïdienne, aux dépens de cet espace, définit la tympanotomie postérieure : temps opératoire essentiel dans la chirurgie de l'implantation cochléaire.

Deux paramètres radiologiques sont importants à évaluer en préopératoire : la largeur et la pneumatisation du récessus facial.

Un récessus facial trop étroit peut compromettre la faisabilité du geste opératoire par la voie classique de la tympanotomie postérieure, et amener le chirurgien à proposer une autre voie d'abord, ouvrant l'accès à la rampe tympanique du tour basal, sans pour autant mettre en danger les structures nobles adjacentes.

Par ailleurs, la présence d'une cellule mastoïdienne latéralement à la 3^{ème} portion du nerf facial peut faciliter la réalisation de la tympanotomie postérieure. Elle indique la localisation du récessus, annonce l'ouverture de la caisse, et permet au chirurgien de poursuivre le fraisage sans danger pour le nerf facial et la corde du tympan.

En revanche, lorsque cette cellule aérienne est absente, elle est remplacée par de l'os, et par conséquent : le repérage du canal facial et de la corde du tympan, ainsi que l'ouverture du récessus facial deviennent plus compliqués (Figure 66).



(1) : portion mastoïdienne du nerf facial.

Figure 66 : TDM du rocher droit en coupes axiales. L'image (A) montre un récessus facial non pneumatisé avec éburnation des cellules mastoïdiennes. L'image (B) montre un récessus facial pneumatisé (présence de cellules aériennes à proximité de la 3^{ème} portion du nerf facial).

g. La fenêtre ronde :

La fenêtre ronde (FR) constitue un repère fondamental dans la chirurgie de l'implantation cochléaire.

C'est au travers de cet orifice, que se fait habituellement l'accès chirurgical à la rampe tympanique du tour basal de la cochlée, pour la mise en place de l'implant.

L'imagerie préopératoire permet au chirurgien de prévoir son accessibilité et d'établir une stratégie chirurgicale adaptée en fonction des conditions anatomiques.

Les éléments importants à préciser sont²⁴ :

- Une aplasie ou une hypoplasie de la FR (Figure 67)
- Un épaississement ou une sténose secondaire à une otospongiose, ou à une labyrinthite ossifiante (Figure 68)
- Une oblitération extrinsèque (trajet anormal de la portion tympanique du nerf facial, variantes vasculaires, cholestéatome, paragangliome tympano-jugulaire...etc)



Figure 67 : TDM du rocher droit en coupe axiale objectivant une aplasie de la fenêtre ronde (flèche noire)²⁴.



Figure 68 : TDM du rocher gauche en coupe axiale objectivant un foyer otospongieux hypodense et hypertrophique qui comble la niche de la FR²⁴.

h. Les variantes vasculaires :

Les variantes anatomiques vasculaires de l'os temporal sont importantes à connaître avant toute chirurgie otologique en raison du risque hémorragique peropératoire qu'elles encourent. Elles peuvent être regroupées en deux catégories :

○ **Artérielles :**

- Déhiscence du canal carotidien
- Artère carotide interne aberrante
- Artère stapédiennne persistante

○ **Veineuses :**

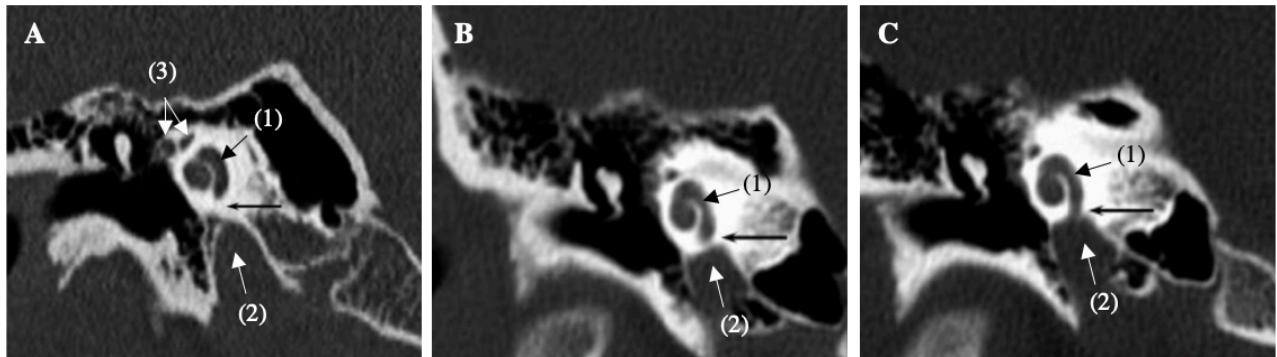
Plus fréquentes.

- Procidence/déhiscence du sinus sigmoïde.
- Golfe de la veine jugulaire haut situé et/ou déhiscents
- Veine émissaire mastoïdienne
- Sinus pétro-squameux persistant.
- Autres...

h. 1 Déhiscence du canal carotidien :

Le canal carotidien, est un canal osseux intra-pétreux qui présente des rapports étroits avec l'oreille moyenne et le labyrinthe antérieur.

Il peut être le siège d'un amincissement voire d'une déhiscence de ses parois osseuses qui le séparent des structures adjacentes. (Figure 69)



(1) : Cochlée, (2) : Coude de la carotide interne intra-pétreuse, (3) : portion labyrinthique et tympanique du canal facial (aspect en canon de fusil).

Figure 69 : TDM des rochers en reconstructions coronales, montrant une déhiscence du canal carotidien.²⁵

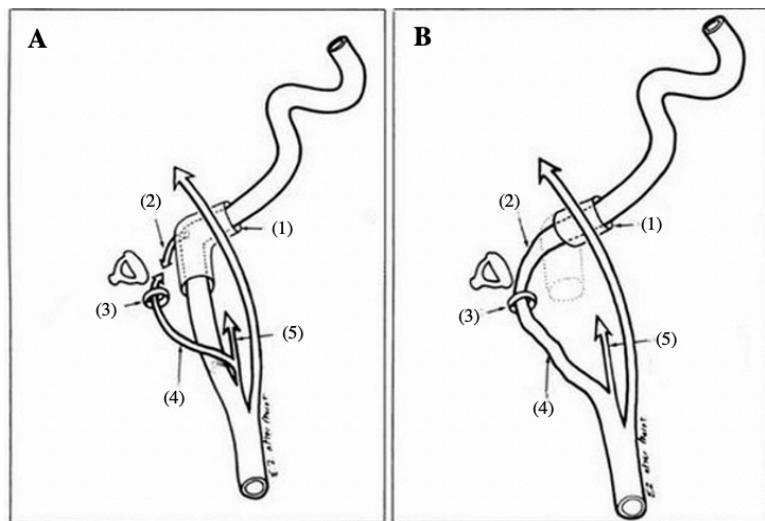
Dans la figure ci-dessus, l'image (B) montre une réduction significative de l'épaisseur de l'os qui sépare le canal carotidien du tour basal de la cochlée, par rapport à l'image (A). Tandis que l'image (C) met en évidence une déhiscence associée à une communication entre le canal carotidien et le tour basal de la cochlée.

Cela dit, il convient d'accorder une attention particulière à cette région anatomique lors du bilan radiologique pré-implantation cochléaire, afin d'éviter un mauvais placement du porte-electrode à l'intérieur du canal carotidien, voire une laceration de l'artère carotide interne dont l'issue risque d'être fatale.²⁵

h. 2 Trajet aberrant de l'artère carotide interne :

Cette variante anatomique résulte d'une agénésie ou d'une involution du segment proximal de l'artère carotide interne (cervical et intra-pétreux ascendant), avec persistance d'une anastomose fonctionnelle entre l'artère tympanique inférieure (branche de l'artère pharyngienne ascendante) et l'artère carotico-tympanique (branche de l'artère carotide interne).^{26,27}

Ainsi, la carotide interne aberrante est en réalité un élargissement de l'artère tympanique inférieure qui pénètre dans la caisse en empruntant le canal de Jacobson, et traverse cette dernière le long du promontoire pour s'anastomoser avec l'artère carotico-tympanique puis rejoindre le segment horizontal du canal carotidien à travers une déhiscence de sa paroi latérale.²⁷ (Figure 70,71)



(1) : canal carotidien, (2) : artère carotico-tympanique, (3) : canaliculus tympanique inférieur (canal de Jacobson), (4) : artère tympanique inférieure, (5) : artère pharyngienne ascendante

Figure 70 : Représentation schématique du trajet cervical et intra-pétreux normal (A), et aberrant (B) de l'artère carotide interne.²⁷

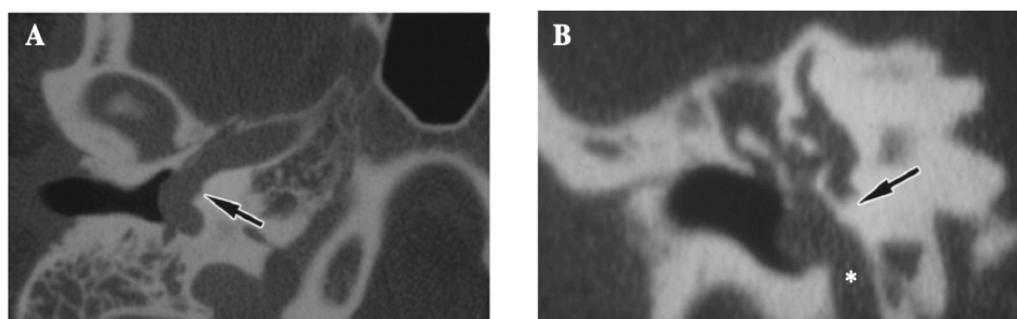


Figure 71 : TDM du rocher droit en coupe axiale (A), et en reconstruction coronale (B), montrant une carotide interne aberrante intra-tympanique pénétrant dans la caisse par sa face inférieure à travers un canal de Jacobson élargi (*), puis cheminant le long du promontoire pour rejoindre la portion horizontale du canal carotidien.²⁸

h. 3 Artère stapédiennne persistante :

Il s'agit d'un reliquat embryonnaire du 2^{ème} arc aortique. Elle naît souvent de l'artère carotide interne, chemine le long du promontoire entre les 2 branches de l'étrier, puis gagne le canal facial dans sa portion tympanique. Ensuite, elle poursuit son trajet en quittant le canal facial, juste en arrière du ganglion géniculé, vers la fosse crânienne moyenne pour vasculariser la dure-mère. Par conséquent, le foramen spinosum qui livre habituellement passage à l'artère méningée moyenne est absent.^{28,29} (Figure 72,73)

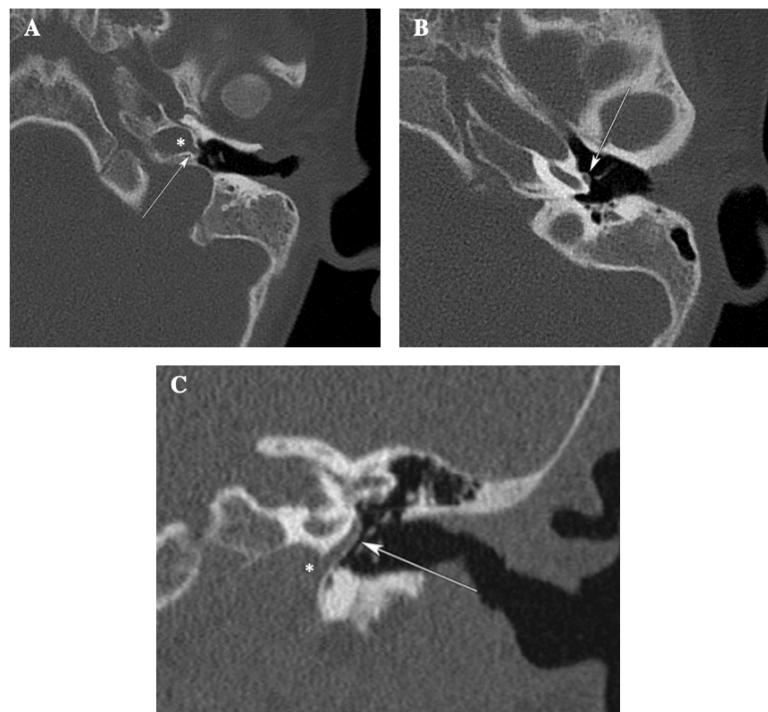


Figure 72 : TDM du rocher gauche en coupes axiales (A, B) et coronales (C) objectivant un vaisseau aberrant issu du canal carotidien (*) et qui traverse la caisse du tympan en longeant le promontoire.²⁶

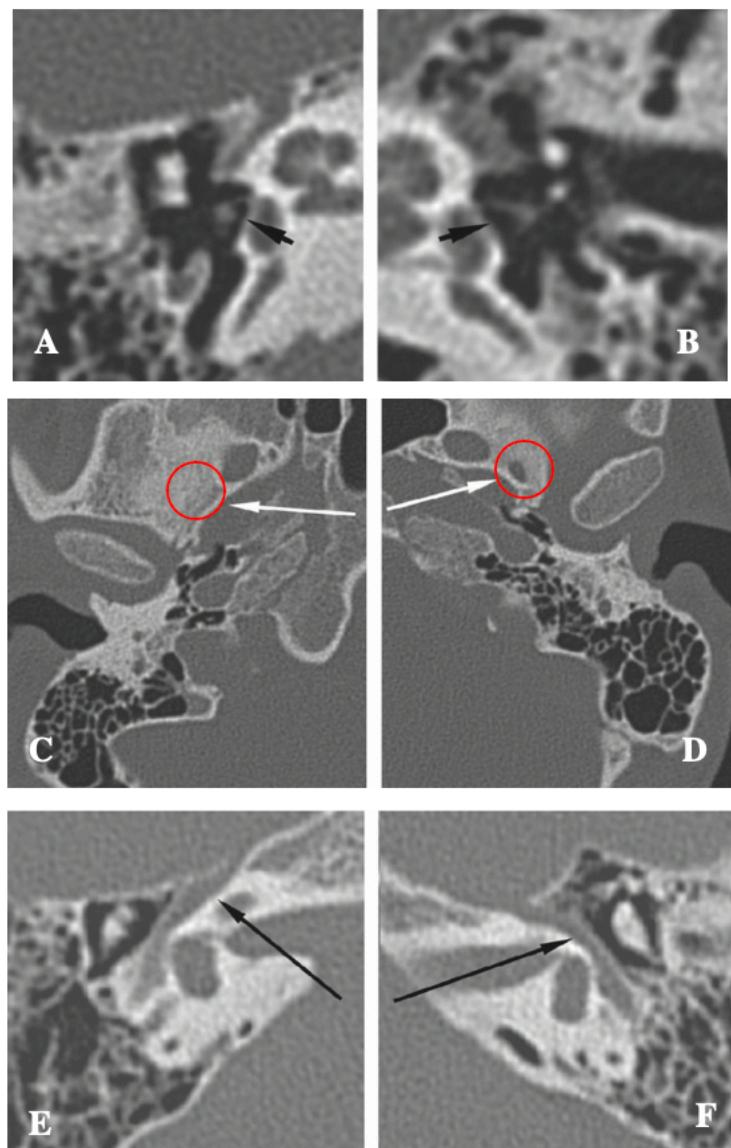
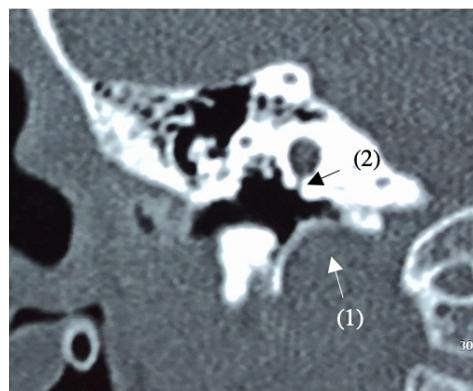


Figure 73 : TDM des rochers en coupes axiales, montrant la présence d'un élément nodulaire entre les 2 branches de l'étrier (image A, flèche noire), un foramen spinosum absent (image C, flèche blanche) et une dilatation de la portion tympanique du canal facial (image E, flèche noire), faisant évoquer la persistance d'une artère stapédienne.²⁸

N.B : les images (B), (D) et (F) sont des coupes axiales du côté controlatéral, que nous avons mises à titre comparatif.

h. 4 Anomalies du golfe de la veine jugulaire interne :

Le golfe de la veine jugulaire interne (VJI) peut être haut situé réalisant un dôme faisant saillie, à des degrés variables, dans la caisse du tympan. (Figure 74)



(1) : Golfe de la VJI, (2) : niche de la FR.

Figure 74 : TDM du rocher droit en reconstruction coronale, montrant un golfe de la VJI haut situé.

Il peut présenter également une procidence à travers une déhiscence de sa coque osseuse, ce qui l'expose aux traumatismes iatrogènes, et rend l'accès à la FR difficile lors de la chirurgie de l'implantation cochléaire.²⁶ (Figure 75)

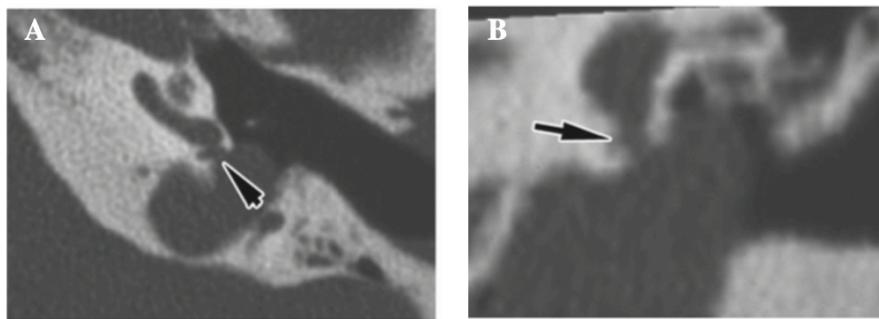


Figure 75 : TDM du rocher gauche en coupe axiale (A) et reconstruction coronale (B), objectivant une procidence du golfe de la VJI à travers une déhiscence du plancher de la caisse, obstruant complètement la niche de la FR (flèche noire).²⁸

h. 5 Le sinus sigmoïde :

Comme nous l'avons vu précédemment, le SS peut avoir une position très antérieure, limitant l'accès à l'antre et au récessus facial. Il peut présenter aussi une procidence vers la corticale mastoïdienne ou une déhiscence de sa coque osseuse ce qui accroît d'avantage le risque de traumatisme chirurgical.

h. 6 Veine émissaire mastoïdienne :^{26,30}

La veine émissaire mastoïdienne participe au drainage veineux exocrânien des sinus dure-mériens en faisant communiquer le sinus sigmoïde avec une veine occipitale ou auriculaire postérieure. (Figure 76)

Elle peut être le siège d'une dilatation importante chez les patients présentant une aplasie ou une hypoplasie sévère du foramen jugulaire et constituer ainsi l'une des voies principales du drainage veineux sinusal. La présence d'une veine émissaire mastoïdienne risque de compliquer considérablement l'abord chirurgical de l'antre par voie rétro-auriculaire. En effet, un fraisage imprudent à travers la corticale mastoïdienne peut entraîner une rupture veineuse

responsable d'une hémorragie profuse et constituer le point de départ d'une embolie gazeuse voire d'une thrombophlébite du sinus latéral. De plus, la coagulation ou la ligature de cette veine peut avoir des conséquences ischémiques et hémorragiques sur l'encéphale.



Figure 76 : TDM du rocher droit en coupe axiale objectivant une veine émissaire mastoïdienne (flèche noire).³⁰

h. 7 Sinus pétro-squameux :^{26,30}

Il s'agit d'un sinus veineux inconstant situé le long de la jonction des parties pétreuses et squameuses de l'os temporal. (Figure 77)

Tout comme la veine émissaire mastoïdienne, le sinus pétro-squameux participe au drainage veineux de la base du crâne en faisant communiquer le sinus latéral avec la veine rétromandibulaire ou le plexus veineux ptérygoïdien. Il est souvent retrouvé chez des patients présentant des malformations congénitales de la base du crâne ou une agénésie des canaux semi-circulaires, comme dans le cas du syndrome CHARGE, et constitue par conséquent un risque chirurgical chez ces patients, qui sont parfois des candidats à une implantation cochléaire.

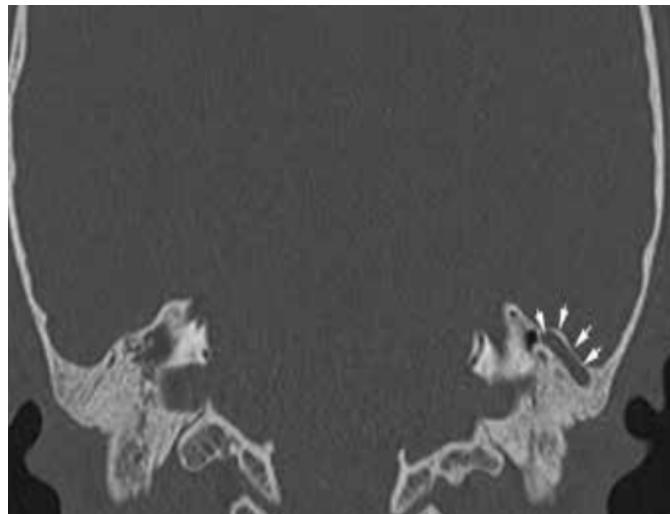


Figure 77 : TDM cérébrale en coupe coronale (fenêtre osseuse) montrant la persistance d'un sinus pétro-squameux (flèches blanches).³⁰

i. La pneumatisation infra-labyrinthique :

Des cellules aériennes dans l'hypotympanum, étendues sous le labyrinthe peuvent être confondues en peropératoire avec la FR, à l'origine d'un mauvais placement des électrodes en extra-cochléaire. (Figure 78,79)

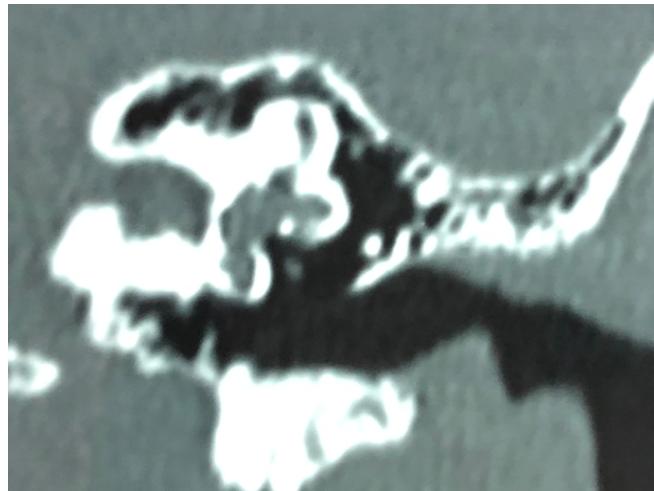
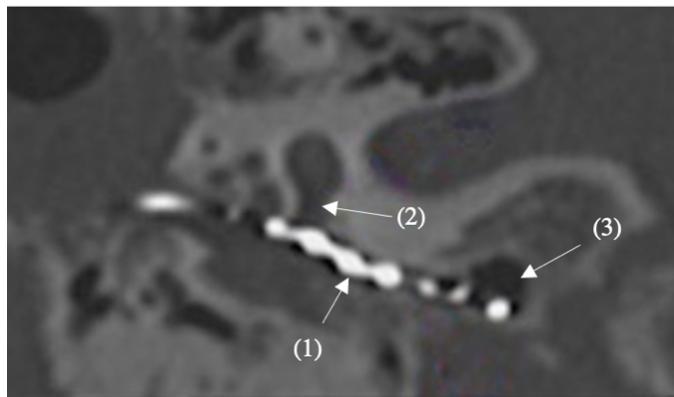


Figure 78 : TDM du rocher gauche en reconstruction coronale montrant des cellules aériennes infra-labyrinthiques.



(1) : électrodes de stimulation, (2) : FR, (3) : cellule infralabyrinthique

Figure 79 : TDM du rocher en reconstruction coronale réalisée en postopératoire, montrant un mauvais placement des électrodes (insertion en extra-cochléaire dans une cellule aérienne infralabyrinthique)

j. **Les malformations de l'oreille interne :**

Les surdités neurosensorielles congénitales, qu'elles soient génétiques ou acquises peuvent être dues à :

- **Des malformations du labyrinthe membraneux (80 %)** : les anomalies sont d'ordre cellulaire et l'architecture osseuse de l'oreille interne est normale. Par conséquent elles ne présentent aucune traduction radiologique.
- **Des malformations du labyrinthe osseux (20 %)** : les anomalies sont d'ordre macroscopique et peuvent être mises en évidence à l'imagerie.^{8,22}

Dans les malformations du labyrinthe osseux, l'anatomie normale est perturbée, et cela risque de compliquer davantage la chirurgie de l'implantation cochléaire. En effet, la présence d'une communication anormale entre le LCR, présent dans le fond du conduit auditif interne, et les liquides labyrinthiques suite à une absence ou à une hypoplasie du modiolus, peut être responsable d'une issue massive de LCR (geyser) lors de la réalisation d'une cochléostomie, gênant ainsi l'insertion du porte-électrode et prédisposant au risque de méningite postopératoire.

De plus, le trajet du nerf facial est souvent anormal chez ces patients, ce qui accroît le risque de traumatisme chirurgical, et justifie son étude au vu d'un scanner préopératoire ainsi que la mise en place d'un monitorage nerveux lors de la chirurgie. En dernier lieu, les distorsions architecturales favorisent la migration et le mauvais placement du porte-électrode, notamment dans le vestibule, les canaux semi-circulaires, ou dans le conduit auditif interne.

Ces malformations constituent donc un véritable challenge pour le chirurgien otologiste, et doivent faire l'objet d'une analyse minutieuse lors du bilan radiologique pré-implantation afin de :

- Guider le choix de la modalité thérapeutique : certaines malformations étant des contre-indications à l'implantation cochléaire.
- Guider le choix de la voie d'abord et de la technique chirurgicale en prévoyant les éventuelles difficultés et risques opératoires.
- Choisir un porte-électrode de forme et de taille adaptée à la morphologie cochléaire.⁸
- Informer les parents de l'enfant sur les risques opératoires et la nécessité d'un suivi rapproché chez ce groupe particulier de patients.

Pour ce faire, Il est important de savoir reconnaître les différentes présentations radiologiques des malformations de l'oreille interne et de savoir les classer selon un système de classification universel et consensuel.

L'une des premières classifications concernant les malformations de l'oreille interne est celle de Jackler et al ³¹ en 1987, qui est basée sur une théorie selon laquelle, ces malformations seraient le résultat d'un arrêt de maturation lors des différents stades du développement embryonnaire de l'oreille interne. En effet, il existe une grande similarité entre l'aspect du labyrinthe au cours de son organogénèse et les différentes présentations radiologiques de ces malformations.

Cette classification distingue les malformations du labyrinthe postérieur avec cochlée normale, des malformations avec cochlée absente ou dysplasique (aplasie de Michel, aplasie cochléaire, cavité commune, hypoplasie cochléaire et partition incomplète).

Dès lors, plusieurs classifications ont été publiées mettant à jour celle de Jackler en lui apportant plus de précision.^{8,22,32,33}

La classification exposée ci-dessous est basée sur la dernière mise à jour publiée en 2017 par Sennaroglu et Bajin⁸ :

Classification des malformations de l'oreille interne :⁸

■ Aplasie de Michel :

Il s'agit d'une aplasie complète du labyrinthe, et constitue une contre-indication à l'implantation cochléaire. (Figure 80)

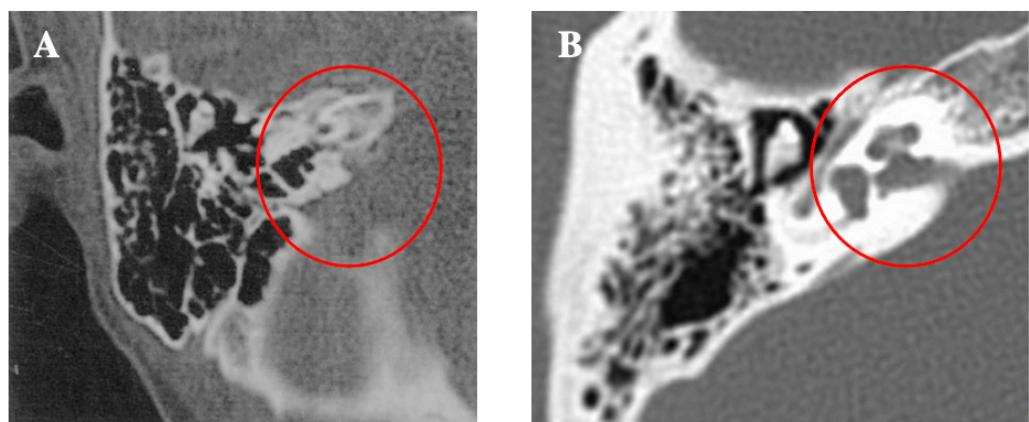


Figure 80 : TDM du rocher droit en coupes axiales objectivant une aplasie de Michel (A).²²

N.B : l'image B montre un rocher normal à titre comparatif.

► **Otocyste rudimentaire :**

- Le labyrinthe est représenté par une petite vésicule millimétrique.
- Le CAI est absent.
- L'implantation cochléaire est contre-indiquée. (Figure 81)

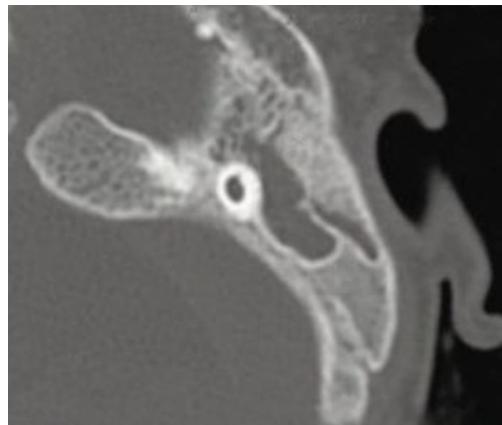
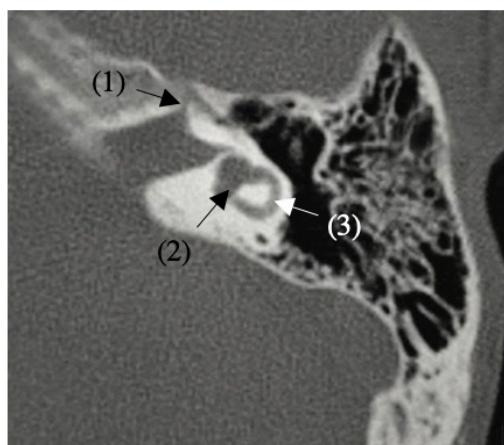


Figure 81 : TDM du rocher gauche en coupe axiale montrant un otocyste rudimentaire⁸.

► **Aplasie cochléaire :**

La cochlée est absente, tandis que le vestibule et les canaux semi-circulaires sont présents. Ces derniers peuvent être normaux, dilatés ou hypoplasiques. Elle constitue aussi une contre-indication à l'implantation cochléaire. (Figure 82)



(1) : Portion labyrinthique du canal facial, (2) : vestibule, (3) : CSC latéral

Figure 82 : TDM du rocher gauche en coupe axiale objectivant une aplasie cochléaire.⁸

N.B : La figure 82 montre également un déplacement antérieur de la portion labyrinthique du canal facial, occupant le siège habituel de la cochlée qui est absente.

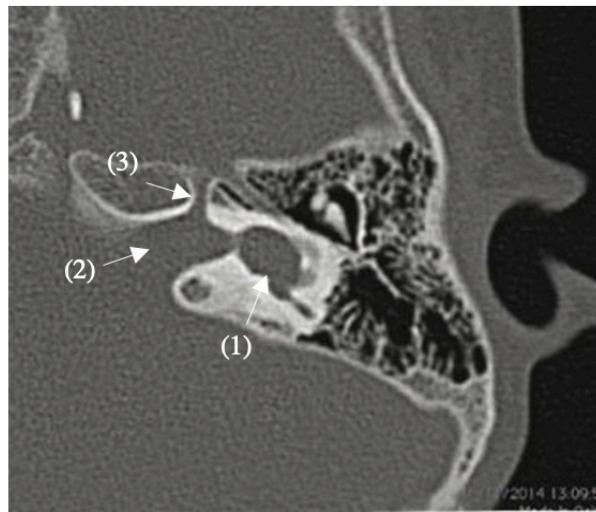
► **Cavité commune :**

La cochlée et le vestibule sont représentés par une cavité kystique sans aucune différentiation entre ces 2 structures. (Figure 83)



Figure 83 : TDM du rocher droit en coupe axiale montrant une cavité commune (CC).⁸

Il est important de savoir différencier la cavité commune d'une aplasie cochléaire avec un vestibule dilaté, car cette dernière constitue une contre-indication à l'implantation cochléaire : Dans l'aplasie cochléaire avec un vestibule dilaté, le vestibule et les canaux semi-circulaires sont en position habituelle, postéro-latérale par rapport au fond du CAI, tandis que dans la cavité commune, le CAI pénètre la cavité en son centre. (Figure 84)



(1) : vestibule dilaté, (2) : CAI, (3) : portion labyrinthique du canal facial.

Figure 84 : TDM du rocher gauche en coupe axiale objectivant une aplasie cochléaire avec un vestibule dilaté.⁸

Toutefois, la distinction entre ces 2 entités pathologiques peut s'avérer parfois difficile.

✳ **Hypoplasie cochléaire :**

Dans ce groupe de malformations, la cochlée et le vestibule sont bien différenciés l'un de l'autre mais celle-ci est globalement de taille inférieure à la normale. On distingue 4 types : (Figure 85)

Type I : La cochlée est constituée par un petit bourgeon au bout du CAI, sans modiolus ni cloisons spirales.

Type II : Il s'agit d'une cochlée kystique, de petite taille, sans modiolus, ni cloisons spirales.

Type III : L'architecture interne (modiolus et cloisons spirales) est conservée mais la cochlée présente moins de 2 tours et demi de spire.

Type IV : Le tour basal de la cochlée est d'aspect normal, tandis que les tours supérieurs (moyen et apical) sont hypoplasiques et situés en position antéro-médiale anormale par rapport à celui-ci.

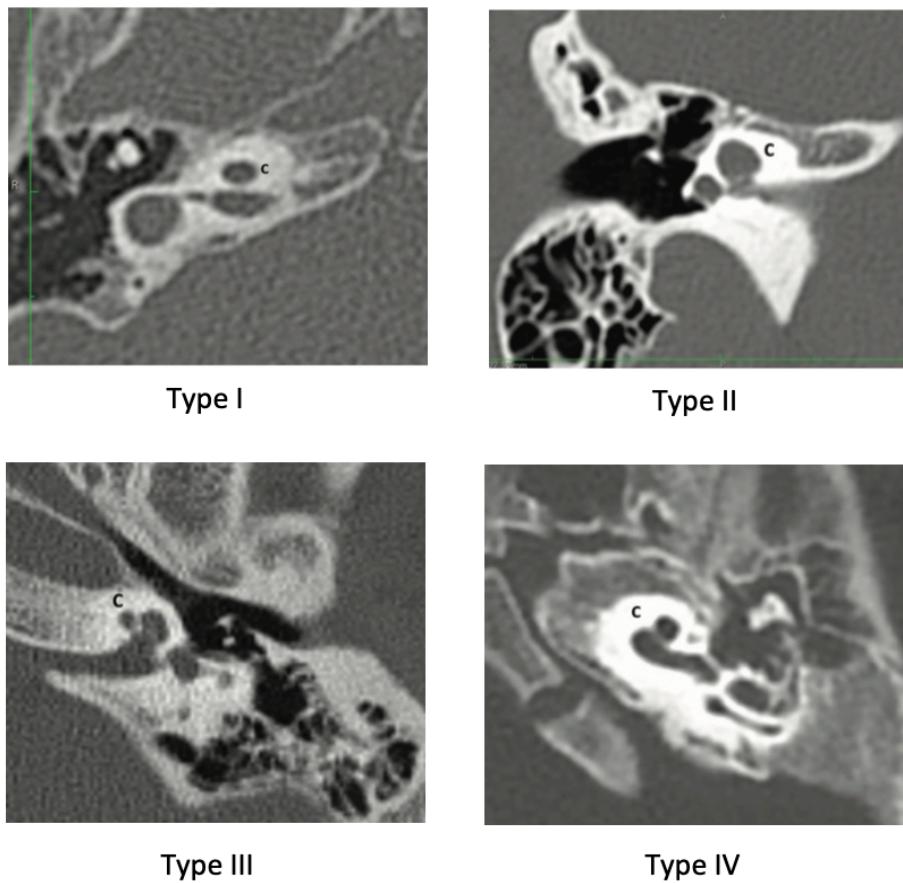


Figure 85 : Les 4 types d'hypoplasie cochléaire.⁸

► **Partition incomplète :**

Dans ce groupe de malformations :

- La cochlée et le vestibule sont bien différenciés l'un de l'autre
- La cochlée présente une taille normale
- L'architecture interne est perturbée.

On distingue 3 types :

Partition incomplète de type I :

- Le modiolus et les cloisons spirales sont complètement absents résultant d'un aspect kystique de la cochlée. (Figure 86).
- Le vestibule est dilaté

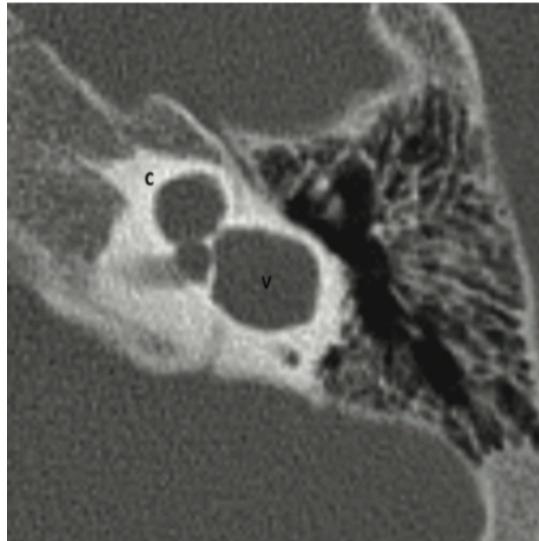


Figure 86 : TDM du rocher gauche en coupe axiale montrant une dilatation kystique cochléo-vestibulaire avec l'absence de modiolus et des cloisons spirales, cadrant avec une partition incomplète de type 1.⁸

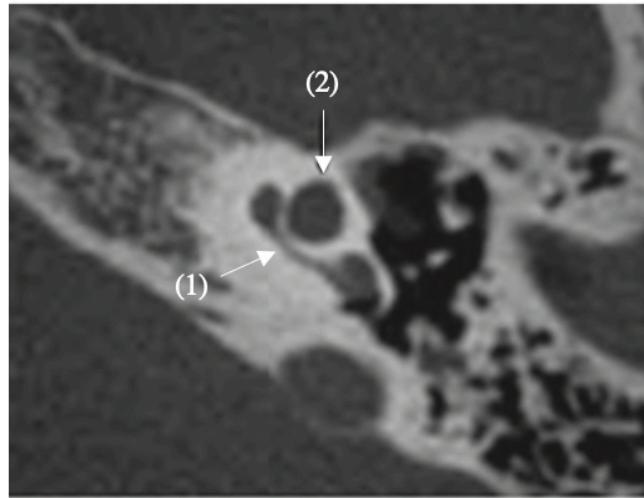
Partition incomplète de type II :

La cochlée présente un tour basal normal, et une confluence entre le tour moyen et apical réalisant l'aspect d'un apex kystique. (Figure 87,88)

Il peut s'y associer :

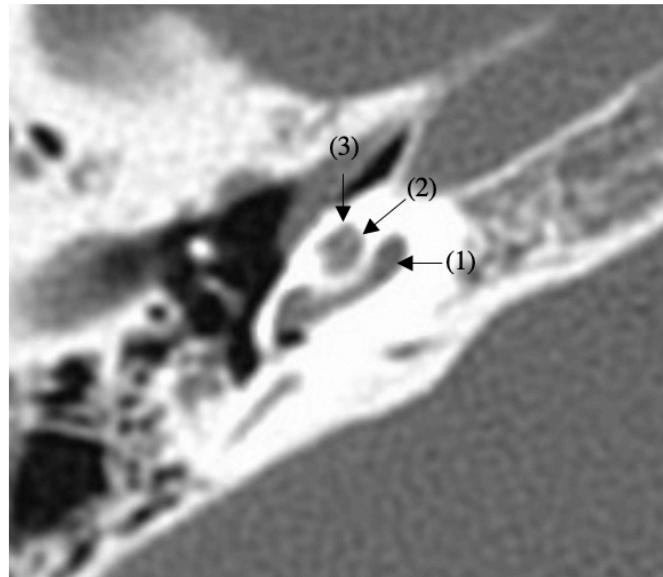
- Une dilatation du vestibule
- Une dilatation de l'aqueduc du vestibule.

Entrant ainsi dans le cadre de la triade classique de « Mondini ».



(1) : tour basal de la cochlée, (2) : tour moyen et apical fusionnés

Figure 87 : TDM du rocher gauche en coupe axiale montrant une partition incomplète de type II.
Le tour basal présente un aspect normal, tandis que les tours moyen et apical sont fusionnés suite à l'hypoplasie du modiolus et des cloisons spirales à ce niveau, réalisant l'aspect d'un apex kystique.⁸

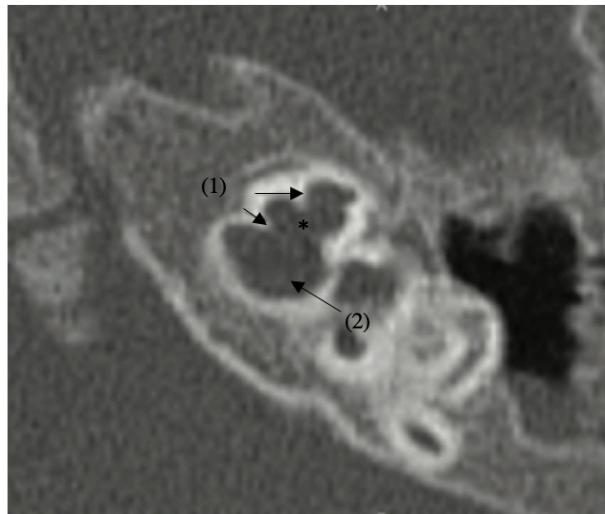


(1) : tour basal de la cochlée, (2) : tour moyen, (3) : tour apical

Figure 88 : TDM du rocher droit en coupe axiale, montrant une partition cochléaire normale.

Partition incomplète de type III :

Dans cette malformation, les cloisons spirales sont présentes mais le modiolus est complètement absent résultant d'une communication large entre les liquides labyrinthiques et les espaces sous arachnoïdiens au niveau du fond du CAI. Ce dernier présente une dilatation importante en « bulbe ». (Figure 89)



(1) : cloisons spirales, (2) : fond du CAI dilaté, (*) : modiolus absent

Figure 89 : TDM du rocher gauche en coupe axiale, montrant une partition incomplète de type III (oreille geyser).⁸

⊕ Dilatation de l'aqueduc du vestibule :

L'aqueduc du vestibule est considéré comme étant dilaté lorsque son diamètre est supérieur à 1.5 mm. Cette mesure est effectuée à mis distance entre son orifice endocrânien (au niveau de la fossette unguéale), et le vestibule. (Figure 90)

En pratique, le diamètre de l'aqueduc du vestibule ne doit pas dépasser celui du CSC postérieur qui lui est adjacent, mais cette méthode, certes plus simple et rapide, doit être utilisée avec précaution car les canaux semi-circulaires peuvent être également malformés (dilatés ou hypoplasiques).³⁴

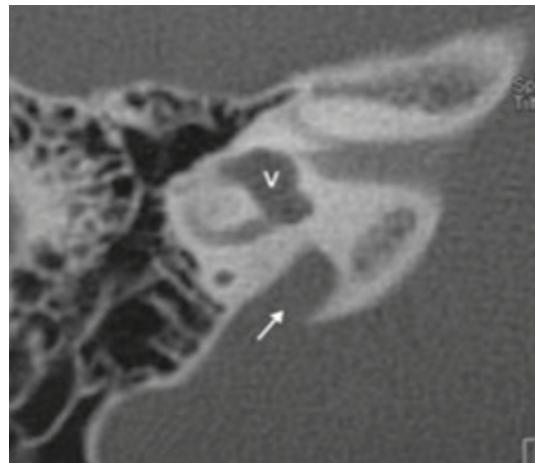
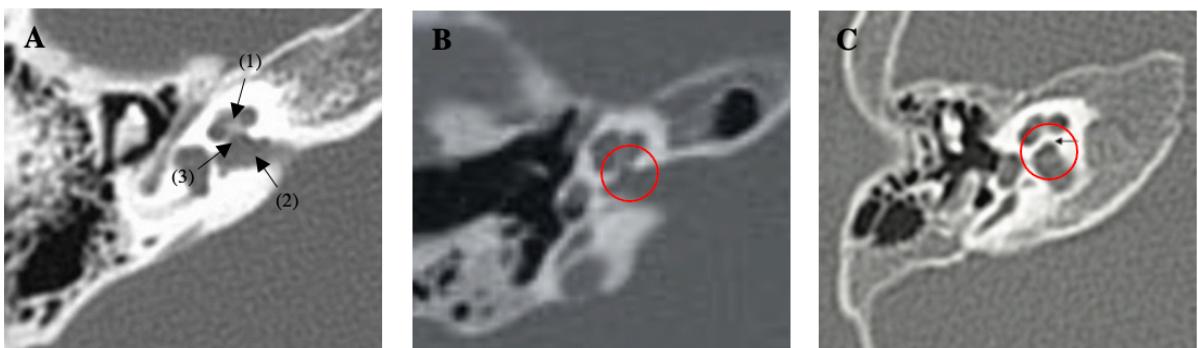


Figure 90 : TDM du rocher droit en coupe axiale, montrant une dilatation de l'aqueduc du vestibule (flèche blanche).³³

La découverte d'une dilatation de l'aqueduc du vestibule au scanner incite à une analyse soigneuse de la cochlée, car la coexistence d'anomalies morphologiques à ce niveau est fréquente (absence ou hypoplasie du modiolus, partition incomplète ...etc.)³

► **Anomalies de la fossette cochléaire :**

La fossette cochléaire peut être absente ou hypoplasique témoignant de l'agénésie ou de l'hypoplasie du nerf cochléaire. (Figure 91)



(1) : Modiolus, (2) : conduit auditif interne, (3) : fossette cochléaire (ou canal du nerf cochléaire).

Figure 91 : TDM du rocher droit en coupes axiales, montrant une fossette cochléaire normale (A), hypoplasique (B) et absente (C).^{3,8}

Elle peut également être élargie, faisant suspecter la présence d'une communication anormale entre la cochlée et le fond du CAI (risque de geyser peropératoire).³⁵

► **Anomalies du conduit auditif interne :**

Tout comme la fossette cochléaire, le conduit auditif interne (CAI) peut-être étroit (<2,5mm) ou absent témoignant de l'agénésie ou de l'hypoplasie du nerf cochléo-vestibulaire.³³ (Figure 92)

Cependant, un CAI de calibre normal ne peut en aucun cas attester de la présence d'un nerf cochléo-vestibulaire. C'est l'IRM en haute résolution, en pondération T2 qui permet de visualiser directement le nerf et d'apprécier son diamètre par des coupes perpendiculaires à l'axe du conduit.¹²

Un élargissement du CAI peut s'observer de manière isolée, et justifie également la réalisation d'une IRM afin d'éliminer un processus expansif intra-méatique. Cette dilatation peut être associée à un modiolus absent, notamment dans les partitions incomplètes de type III, résultant d'une communication large avec la cochlée.

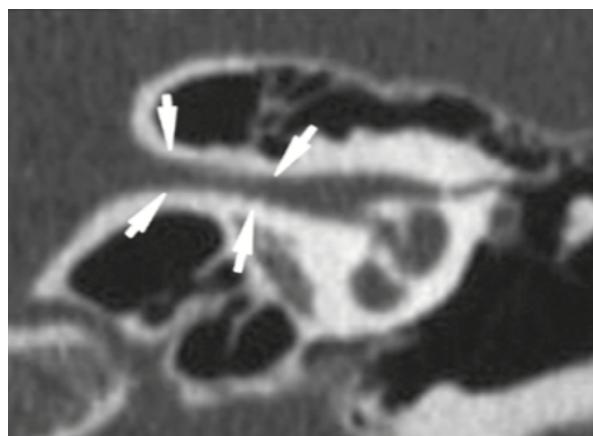


Figure 92 : TDM du rocher gauche en reconstruction coronale objectivant un rétrécissement du conduit auditif interne (flèches blanches).³

Au terme de cette classification, il est important de préciser que seules les malformations pouvant avoir un impact sur la chirurgie de l'implantation cochléaire ont été traitées dans ce chapitre.³³

Les malformations du labyrinthe postérieur (vestibule et canaux semi-circulaires) peuvent s'observer de manière isolée ou en association avec des malformations cochléaires (aplasie complète du labyrinthe, aplasie et hypoplasie cochléaire, cavité commune, partitions incomplètes... etc.)

Le vestibule et/ou les CSC peuvent être dilatés, absents ou hypoplasiques. Il peut s'agir aussi d'une déhiscence de la paroi du CSC supérieur ou encore d'une cavité unique dans laquelle sont fusionnés les cavités utriculo-sacculaires et le CSC latéral.²⁸ (Figure 93)

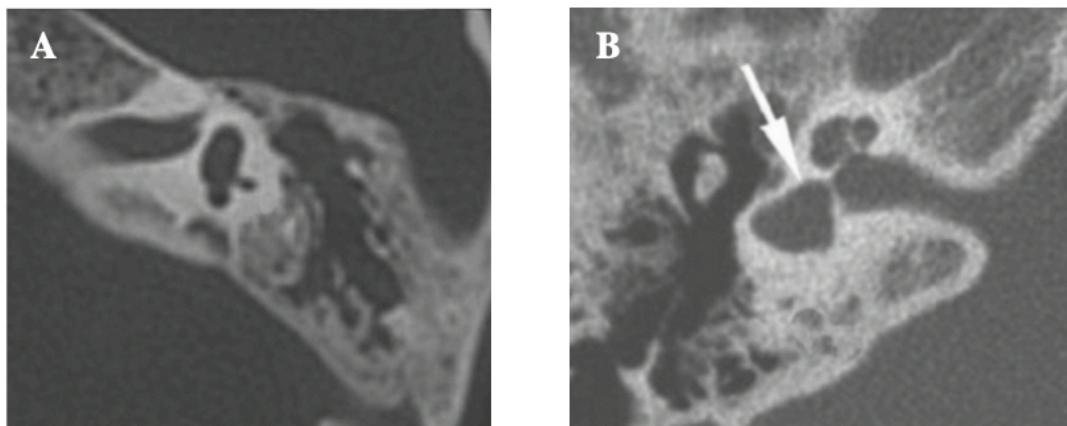


Figure 93 : TDM des rochers en coupes axiales. L'image (A) montre des canaux semi-circulaires hypoplasiques, présents à l'état d'ébauche, et l'image (B) montre une cavité commune entre le CSC latéral et le vestibule sans différenciation entre ces 2 structures.²⁸

D'autres malformations peuvent bien évidemment exister, résultant d'un développement embryonnaire aberrant ou arrêté ou d'une combinaison de ces 2 mécanismes.³¹ (Figure 94)

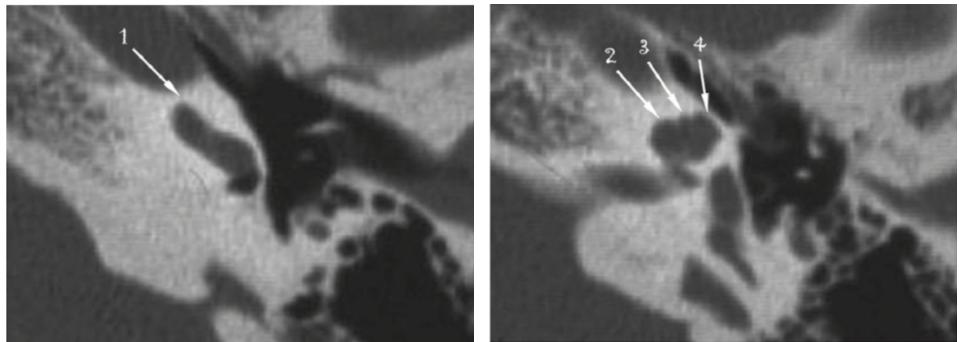


Figure 94 : TDM du rocher gauche en coupes axiales montrant un développement aberrant de la cochlée avec présence d'un 4^{ème} tour de spire.²⁸

Par ailleurs, l'imagerie peut parfois orienter le diagnostic étiologique en montrant certains aspects caractéristiques du labyrinthe¹² :

Dilatation de l'aqueduc du vestibule :

Elle peut être isolée et bilatérale, ou associée à une partition incomplète de type II et une dilatation du vestibule formant ainsi la triade classique de « Mondini ». Elle peut se voir dans le syndrome de PENDRED (surdité neurosensorielle associée à un dysfonctionnement thyroïdien à type de goitre avec ou sans hypothyroïdie) mais également dans un type de surdité isolée non syndromique (DFNB4), tous les 2 liés à des mutations du gène de la Pendrine (SLC26A4). Une dilatation de l'aqueduc du vestibule ou une malformation de type Mondini orientent donc fortement le bilan génétique vers la recherche d'une mutation du gène SLC26A4, qui serait retrouvée dans environ 75 % des cas.¹²

Partition incomplète de type III :

C'est le type de malformations retrouvé dans les surdités liées à l'X (DFN3).³²

Agénésie des canaux semi-circulaires et hypoplasie du vestibule :

Ces anomalies sont très caractéristiques du syndrome CHARGE (Coloboma of the eye, congenital Heart defect, choanal Atresia, mental and/or growth Retardation, Genital hypoplasia, Ear abnormalities). Il peut s'y associer des malformations cochléaires, de l'oreille moyenne (agénésie de la fenêtre ovale et procidence du nerf facial), et/ou externe. Le nerf facial peut avoir un trajet aberrant, compliquant l'accès à la fenêtre ronde. L'IRM peut montrer également une agénésie ou une hypoplasie du nerf cochléo-vestibulaire et/ou facial ainsi que des malformations cérébrales : (agénésie des bulbes olfactifs, malformations de la fosse cérébrale postérieure...etc.)^{12,34}

D'autres aspects radiologiques peuvent être retrouvés dans certains syndromes de manière non spécifique.

k. La perméabilité cochléaire :

Afin d'obtenir un résultat fonctionnel postopératoire optimal, en termes de perception auditive et d'acquisition du langage, le chirurgien devra introduire son faisceau d'électrodes le plus loin possible dans la cochlée, et ce pour stimuler le maximum de neurones auditifs et essayer de reproduire la tonotopie naturelle. Or, cela risque d'être compliqué lorsque la perméabilité cochléaire est compromise, notamment en cas de fibrose ou d'ossification (séquelles évolutives d'une labyrinthite ossifiante).³⁶

La présence d'une ossification cochléaire était considérée auparavant une contre-indication relative à l'implantation cochléaire car d'une part, elle constitue un obstacle chirurgical à la mise en place du faisceau d'électrodes à l'intérieur de la cochlée, limitant de ce fait le nombre d'électrodes pouvant être insérés, et par conséquent le nombre de neurones

auditifs pouvant être stimulés³⁷ ; et d'autre part, elle gène la propagation du courant électrique de stimulation, entraînant des problèmes de réglage et de programmation en post-opératoire, et présageant un résultat fonctionnel suboptimal à long terme.^{38,39}

Aussi, lorsque l'électrode de stimulation butte contre un obstacle, il risque d'être endommagé et sa trajectoire d'insertion peut être déviée, entraînant sur son passage des lésions irréversibles pour les structures nerveuses de l'oreille interne (perforation de la membrane basilaire, fracture de la lame spirale...etc.)^{37,40,9}

Cependant, la chirurgie de l'implantation cochléaire a connue dès lors de nombreux progrès, avec le développement de techniques et alternatives chirurgicales innovantes permettant d'implanter des cochlées ossifiées.⁴¹

L'évaluation de la perméabilité endocochléaire en préopératoire constitue donc un impératif évident car cela permet au chirurgien de :

- 1- Choisir le côté le plus favorable à l'implantation : notamment lorsque l'ossification est asymétrique et partielle.³⁸
- 2- Établir une stratégie chirurgicale adaptée, en prévoyant les éventuelles difficultés d'insertion du porte-électrode pouvant être rencontrées en peropératoire.³⁸
- 3- Informer les parents de l'enfant sur les risques opératoires, le pronostic fonctionnel à long terme, et les difficultés de réglage et de programmation pouvant nécessiter des visites régulières au centre d'implantation.

Avant d'aborder les différents aspects radiologiques, et afin de mieux comprendre l'utilité de chaque examen d'imagerie dans l'étude de la perméabilité endocochléaire, il semble judicieux de rappeler quelques notions physiopathologiques :

- La labyrinthite ossifiante est un processus inflammatoire intra-labyrinthique qui peut évoluer vers la fibrose et l'ossification.
- Les étiologies sont nombreuses et on cite :
 - o **Les labyrinthites méningogènes** : extension d'une méningite aux espaces labyrinthiques via le CAI ou l'aqueduc de la cochlée.^{3,39}
 - o **Les labyrinthites tympanogènes** : contamination du labyrinth à partir d'une otite moyenne aigue ou chronique (simple ou cholésteatomateuse) via le tour basal de la cochlée par franchissement de la FR.^{3,39}
 - o **Les labyrinthites hématogènes** : bactériennes (septicémie), virales (rougeole, rubéole, oreillons...etc) ou auto-immunes (syndrome de Coogan).^{3,39,42}
 - o **Autres** : otospongioses cochléaires très avancées (Far advanced otosclerosis), labyrinthites post-traumatiques (fractures translabyrinthiques, hémorragies intra-labyrinthiques...etc) ou suite à une chirurgie otologique.³⁶
- Le substratum lésionnel est une réaction inflammatoire aigue avec afflux de leucocytes et prolifération fibroblastique en réponse à une atteinte labyrinthique (infectieuse, vasculaire, traumatique ...etc).³⁹
- La prolifération de fibroblastes aboutit à une fibrose.³⁹
- La différentiation des fibroblastes en ostéoblastes forme des dépôts calciques responsables d'une ossification progressive, et variable en degré et en extension.^{39,43}

- L'ossification peut être partiellement ou totalement obstructive, siège habituellement en regard de la rampe tympanique du tour basal de la cochlée et s'étend progressivement de la base vers l'apex cochléaire.^{38,39}

La TDM des rochers en haute résolution (HRCT) ne permet de mettre en évidence que les labyrinthites ossifiées. Elle n'est pas très performante pour détecter le stade de fibrose intracochléaire, car il existe une très faible différence d'atténuation entre le contenu liquidien du labyrinthe (0–10 unités Hounsfield) et les tissus cicatriciels de fibrose non ossifiés (40–50 unités Hounsfield).⁴⁴

L'IRM labyrinthique quant à elle, analyse le signal liquidien du labyrinthe et permet d'évaluer, de manière plus fiable et plus précise, le degré de perméabilité cochléaire. Les liquides labyrinthiques paraissent en hypersignal identique à celui du LCS sur les séquences T₂ et la présence d'un foyer de fibrose ou d'ossification est par conséquent facile à évoquer devant une atténuation ou une perte du signal.^{26,34,44–47} De surcroît, la prise de contraste sur les séquences T₁ injectées témoigne de la présence d'un foyer de labyrinthite actif.^{28,48} L'IRM permet de ce fait un diagnostic très précoce, même au stade inflammatoire aigu, permettant d'identifier les patients à risque d'évoluer vers la fibrose et l'ossification, et donc de statuer sur l'urgence de l'implantation cochléaire. Toutefois, le scanner reste très utile lorsque l'ossification cochléaire est évidente.

Plusieurs travaux dans la littérature ont porté sur l'étude de la perméabilité cochléaire en préopératoire, en se basant sur la TDM des rochers :

Balkany et al⁴⁹ ont proposé une classification tomodensitométrique comprenant 4 catégories de structures cochléaires : (Figure 95)

- **C0** : Cohlée normale.
- **C1** : Tour basal de la cochlée d'aspect flou sans rétrécissement.
- **C2** : Rétrécissement manifeste.
- **C3** : Oblitération osseuse.

Les remaniements fibro-inflammatoires ou une ossification débutante peuvent être responsables de l'aspect radiologique rencontré dans le type (C1), souvent mal interprété comme étant normal.³⁹

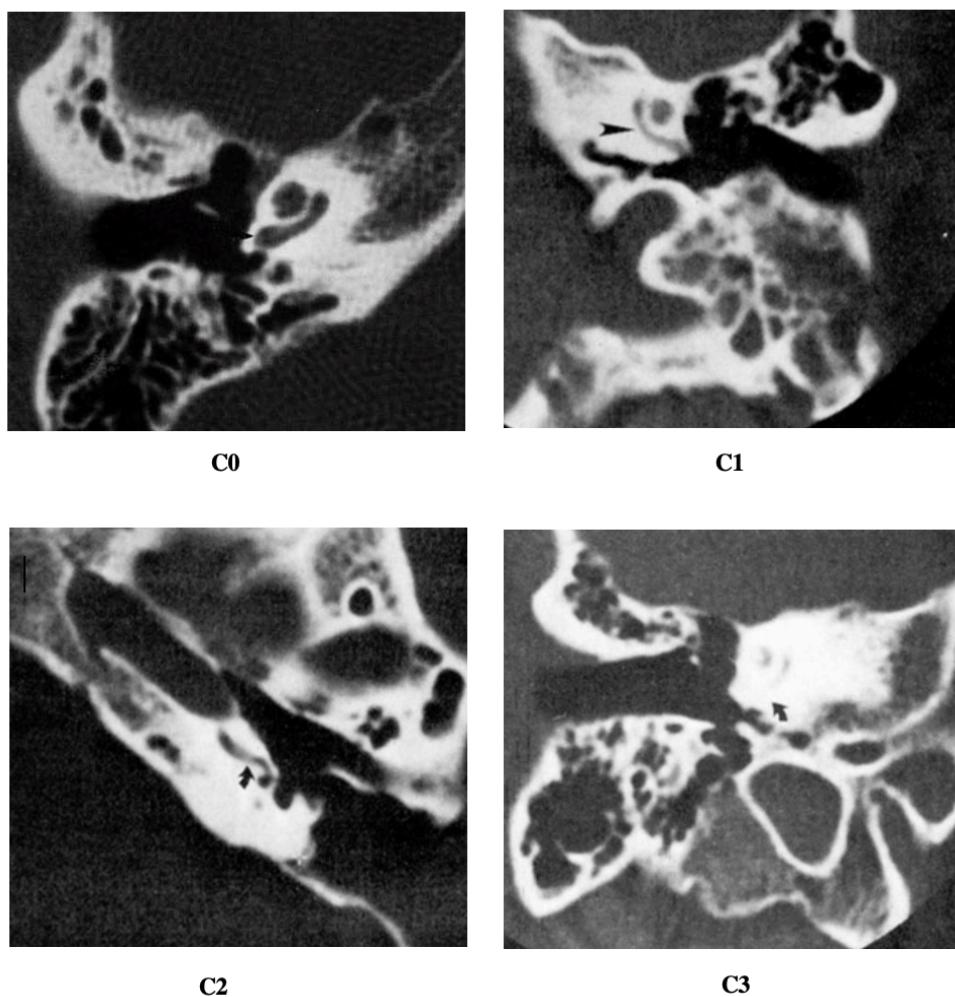


Figure 95 : Classification de la perméabilité cochléaire selon Balkany et al⁴⁹.

Frau et al⁴³ quant à eux, ont classé leurs patients en 5 groupes, en fonction du siège et du degré d'extension de l'ossification cochléaire :

Type 1 : Cohlée perméable. (Figure 96)

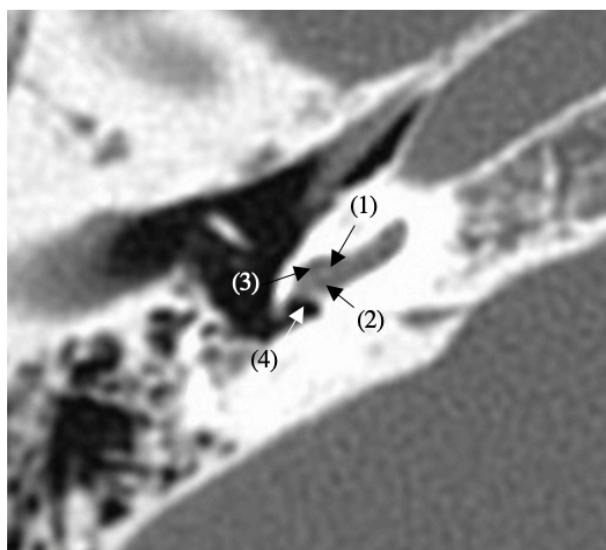
Type 2 : Obstruction partielle en regard de la rampe tympanique du tour basal (rampe vestibulaire libre, Figure 97)

Type 3 : Obstruction totale en regard de la rampe tympanique du tour basal (rampe vestibulaire libre)

Type 4 : Obstruction totale du tour basal de la cochlée (rampe tympanique et vestibulaire).

Type 5 : Ossification diffuse et étendue au-delà du tour basal de la cochlée (tour moyen et apical).

L'analyse soigneuse du tour basal de la cochlée, sur les coupes axiales, permet de visualiser la lame spirale osseuse et donc de distinguer la rampe tympanique de la rampe vestibulaire (Figure 96). Cependant, ceci n'est pas toujours évident et c'est l'IRM qui permettra d'attester avec précision le degré de perméabilité de la rampe vestibulaire. Cette dernière étant une possible « roue de secours » lorsque la rampe tympanique n'est pas cathétérisable.⁵⁰



(1) : lame spirale, (2) : rampe tympanique, (3) : rampe vestibulaire, (4) : membrane de la FR

Figure 96 : TDM du rocher droit en coupe axiale montrant une cochlée perméable.

D'après Balkany et al⁴⁹, en cas d'ossification franche et obstructive (C2 ou C3), une mesure en millimètres est réalisée entre le promontoire et la limite médiale de l'obstacle osseux, afin de fournir au chirurgien une estimation sur le nombre de millimètres qu'il devra creuser ou tunneliser avant de dégager une lumière endocochléaire perméable permettant l'insertion du porte-électrode.

Frau et al⁴³, adhèrent eux aussi à ce raisonnement et ont proposé de mesurer le long du tour basal de la cochlée, la distance entre la niche de la FR et la limite médiale de l'obstacle osseux. (Figure 97)

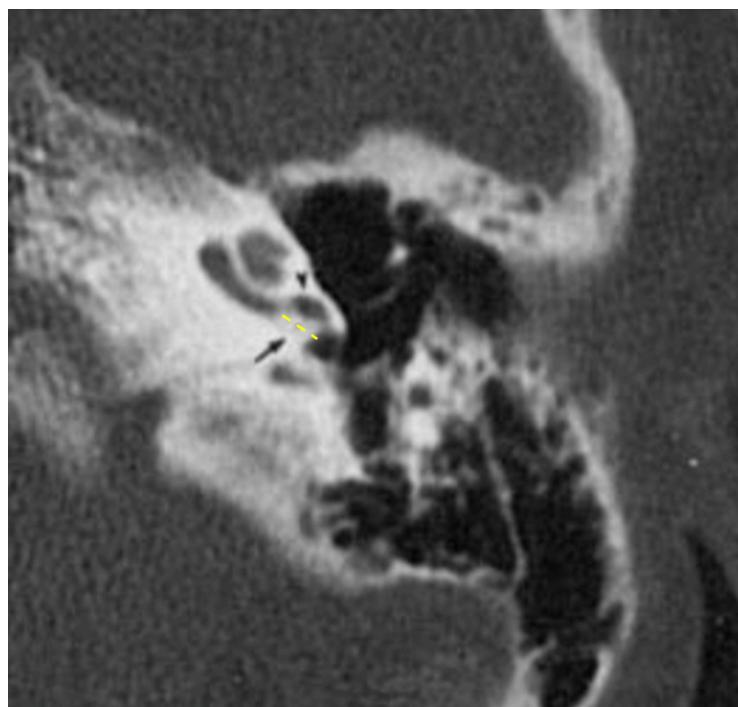


Figure 97 : TDM du rocher gauche en coupe axiale montrant une ossification cochléaire siégeant en regard de la partie proximale de la rampe tympanique du tour basal de la cochlée (flèche noire) et épargnant la rampe vestibulaire (tête de flèche noire), pouvant être classée C3 selon Balkany et al et type 2 selon Frau et al avec une extension mesurée à 3mm (pointillé jaune).⁴⁹

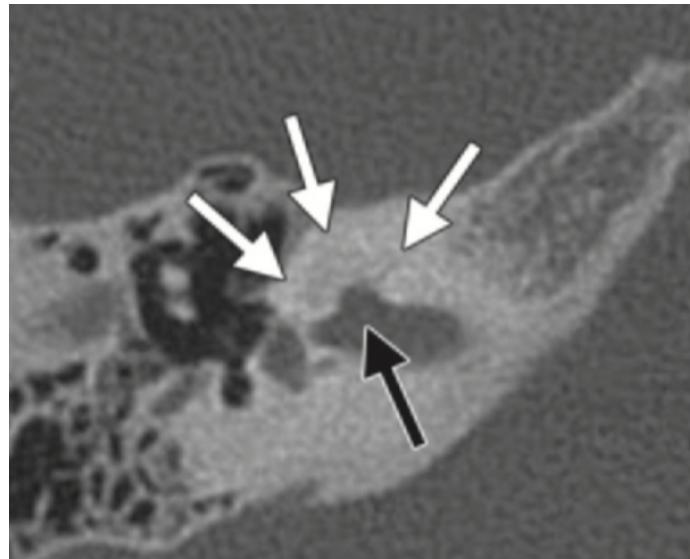


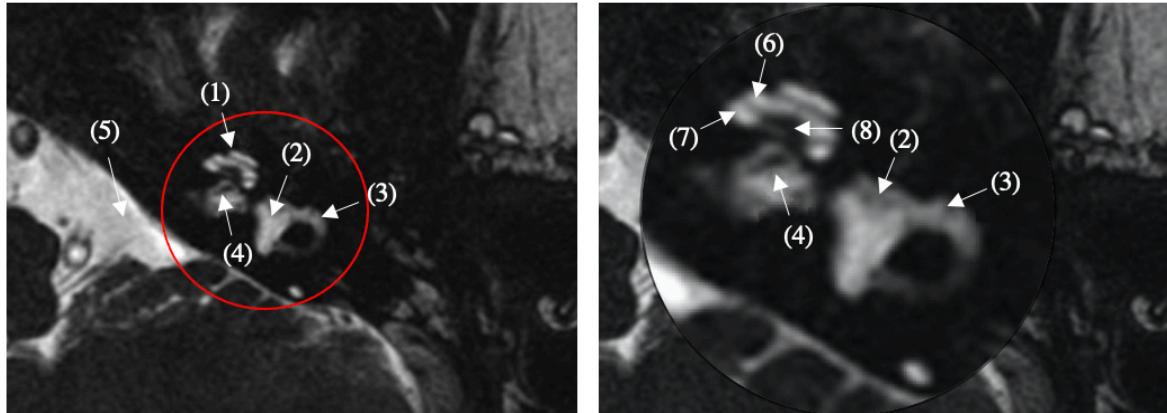
Figure 98 : TDM du rocher droit en coupe axiale objectivant une ossification complète de la cochlée. La fossette cochléaire (flèche noire) et la saille du promontoire sont conservées ce qui permet de différencier l'ossification complète d'une aplasie cochléaire.

Les ossifications limitées à la membrane de la FR peuvent être rencontrées dans les labyrinthites tympanogènes débutantes.³⁹ Certains auteurs ne considèrent plus cette entité pathologique comme étant une forme d'ossification cochléaire³⁶, car l'accès à la rampe tympanique via une cochléostomie au promontoire ou après fraisage de la membrane ossifiée est possible sans difficulté significative^{36,41}. Or, le repérage de la niche et l'identification de la membrane de la FR peut s'avérer difficile dans des situations pareilles.⁴¹

2. 2 IRM labyrinthique et encéphalique :

a. Le labyrinthe :

L'IRM permet d'étudier à la fois la morphologie et le signal liquidien du labyrinthe. (Figure 99)



(1) : Cochlée, (2) : vestibule, (3) : CSC latéral (4) : nerf cochléaire, (5) : citerne de l'angle ponto-cérébelleux (LCR),
(6) : rampe vestibulaire, (7) : rampe tympanique, (8) : modiolus.

Figure 99 : IRM labyrinthique en coupe axiale, séquence T2 haute résolution (3D-CISS), montrant un labyrinthe d'aspect normal avec un signal liquidien identique à celui du LCR.³⁴

✳ Morphologie du labyrinthe :

L'IRM permet une meilleure analyse de l'architecture interne du labyrinthe (dénombrement des tours de spire de la cochlée, aspect du modiolus, visualisation des rampes tympaniques et vestibulaires, la lame et cloisons spirales...etc.). Elle peut être très utile pour : (Figure 100-104)

1 – Rechercher une hypoplasie du modiolus :

Bien que ce dernier soit une structure osseuse, il est mieux analysé à l'IRM⁴⁷. Sa surface peut être calculée ce qui accroît la sensibilité de cet examen pour le diagnostic des hypoplasies modiolaires, pouvant passer inaperçues au scanner.⁵³

2- Visualiser une asymétrie de taille des rampes tympaniques et vestibulaires : (Figure 105)

3- Apprécier le volume du sac endolymphatique extra-osseux en cas de dilatation de l'aqueduc du vestibule : (Figure 106)

Cet examen d'imagerie apporte donc des informations supplémentaires et pertinentes permettant de faciliter le diagnostic et la classification correcte des différentes malformations de l'oreille interne, et ce en complément du scanner, particulièrement lorsque ce dernier n'est pas concluant.

Les figures suivantes illustrent quelques exemples d'anomalies morphologiques du labryrinthe pouvant être retrouvées à l'IRM :

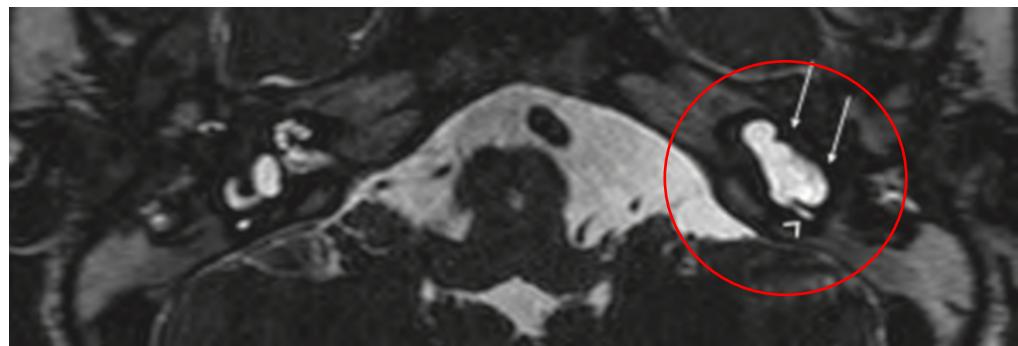


Figure 100 : IRM labyrinthique en coupe axiale, séquence T2 haute résolution (DRIVE), montrant un labryrinthe d'aspect normal à droite, et une cavité kystique unique et commune pour la cochlée et le vestibule, à gauche, sans différenciation entre les 2 (flèches blanches). On note également une ébauche du CSC postérieur (tête de flèche blanche).⁵¹

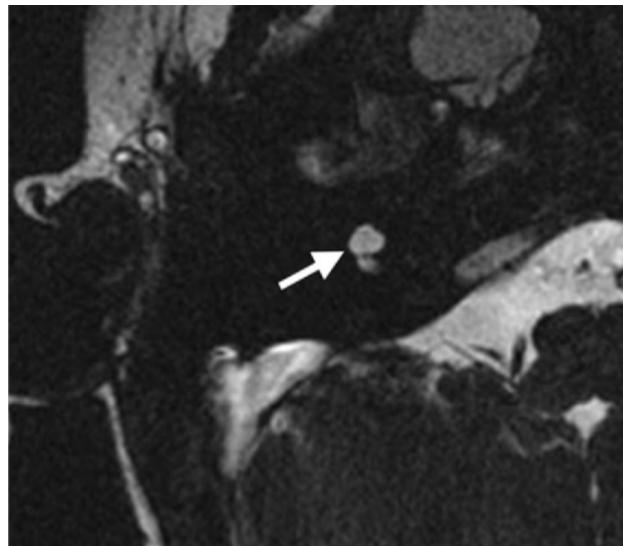


Figure 101 : IRM labyrinthique en coupe axiale, séquence T2 haute résolution (3D-CISS), objectivant une cochlée kystique de petite taille (flèche blanche), sans modiolus ni cloisons spirales, faisant évoquer une hypoplasie cochléaire de type II.³⁴

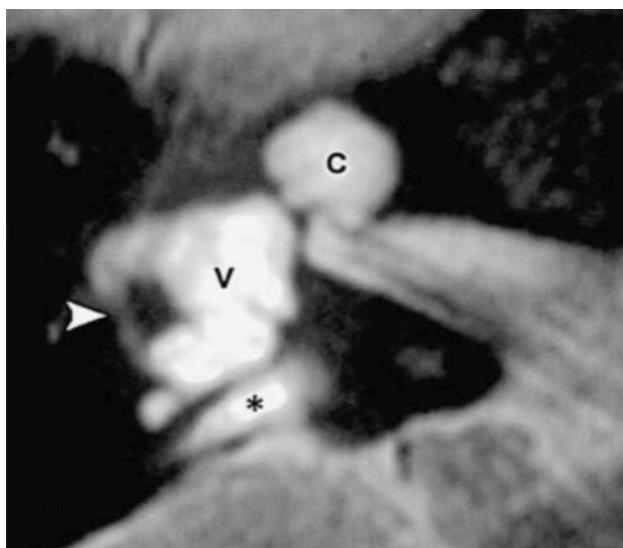


Figure 102 : IRM labyrinthique en coupe axiale, séquence T2 FSE montrant une dilatation kystique cochléo-vestibulaire avec l'absence de modiolus et des cloisons spirales, cadrant avec une partition incomplète de type 1. On note aussi une hypoplasie du CSC latéral (tête de flèche blanche) et une dilatation du conduit endolymphatique (*).⁵²

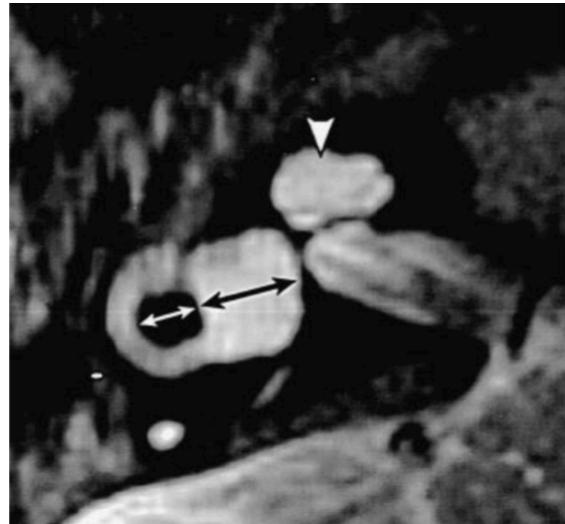


Figure 103 : IRM labyrinthique en coupe axiale, séquence T2 FSE, montrant une partition incomplète de type II. Les tours moyen et apical sont fusionnés suite à l'hypoplasie du modiolus et des cloisons spirales à ce niveau, réalisant l'aspect d'un apex kystique (tête de flèche blanche).⁵²

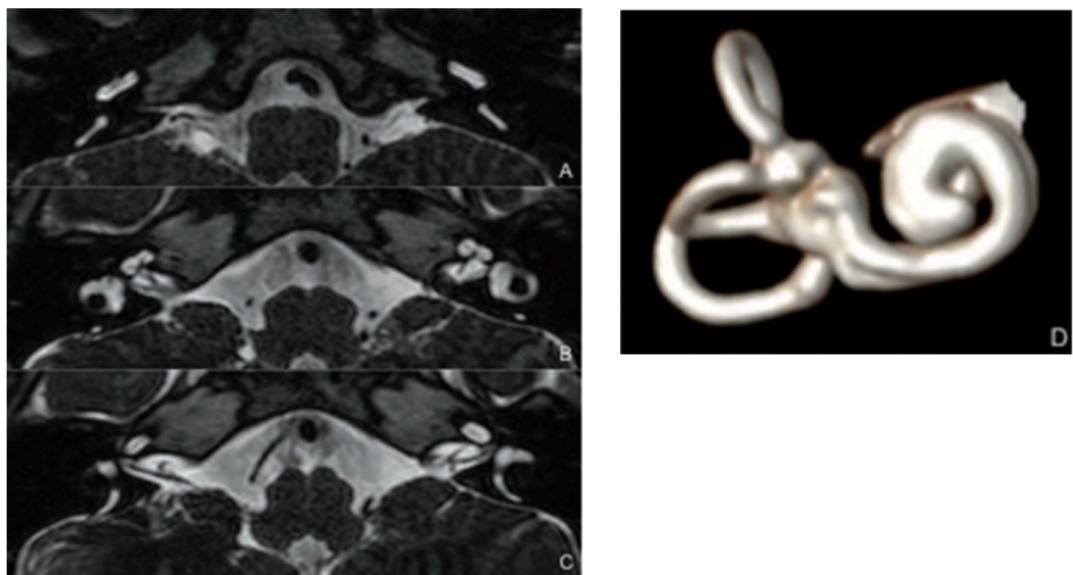


Figure 104 : IRM labyrinthique en coupe axiale, séquence T2 DRIVE (A, B, C), montrant un tour basal de la cochlée d'aspect normal (A), et un tour apical qui est absent (B, C). La reconstruction volumique (D) objective une cochlée de petite taille avec 1,5 tours de spire cadrant avec une hypoplasie cochléaire de type III.⁵¹

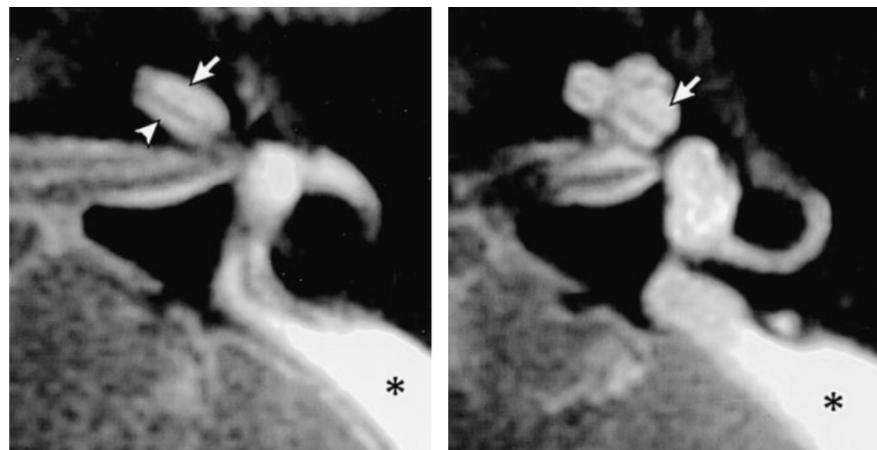


Figure 105 : IRM labyrinthique en coupe axiale, séquence T2 FSE, objectivant une asymétrie de taille des rampes tympaniques et vestibulaires, associée à une dilatation du sac endolymphatique (*).⁵²



Figure 106 : IRM labyrinthique en coupe axiale, séquence T2 haute résolution (3DTSE), montrant une dilatation bilatérale du sac endolymphatique.³

► **Signal liquidien du labyrinthe :**

L'IRM est l'examen de référence pour l'étude du contenu liquidien du labyrinthe. L'analyse du signal permet de dépister, à un stade très précoce, les remaniements fibro-inflammatoires risquant de compromettre la perméabilité cochléaire à moyen et à long terme, ce qui amène le praticien à proposer une implantation cochléaire dans les plus brefs délais avant l'apparition d'une ossification extensive et séquellaire imposant le recours à des alternatives chirurgicales complexes.

Les liquides labyrinthiques paraissent en hypersignal identique à celui du LCR sur les séquences infra-millimétriques pondérées T₂ en haute résolution. (Figure 107). L'atténuation voire l'extinction de ce signal témoigne de la présence d'une fibrose ou d'une ossification cochléaire. (Figure 108)

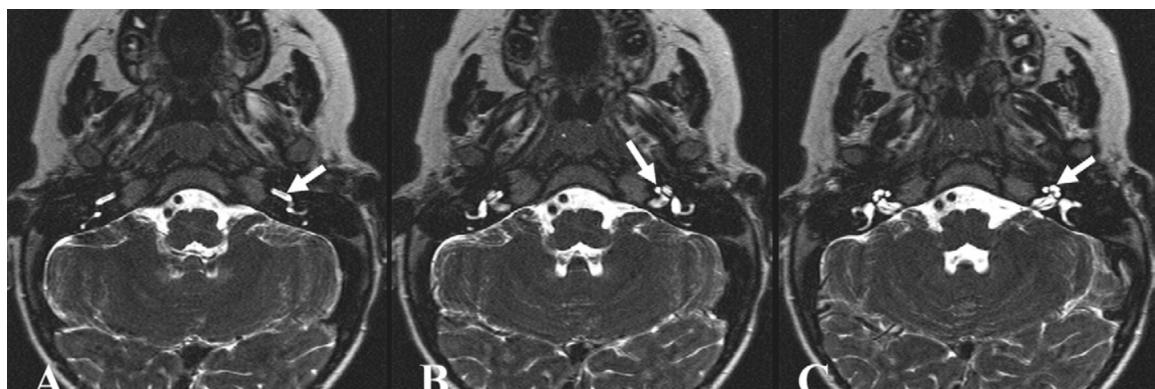


Figure 107 : IRM de l'oreille interne, en séquence T2 haute résolution et en coupes axiales, montrant un labyrinthe de contenu liquidien en hypersignal identique à celui du LCR⁴⁶.

Dans la figure ci-dessus, le tour basal de la cochlée paraît perméable (A) et on peut identifier la lame spirale sous forme d'une structure linéaire en hyposignal séparant ce dernier (tour basal) en rampe tympanique (postéro-médiale) et rampe vestibulaire (antéro-latérale).

Le segment ascendant du tour basal (B), ainsi que les tours moyen et apical (C) paraissent également perméables (flèches blanches).

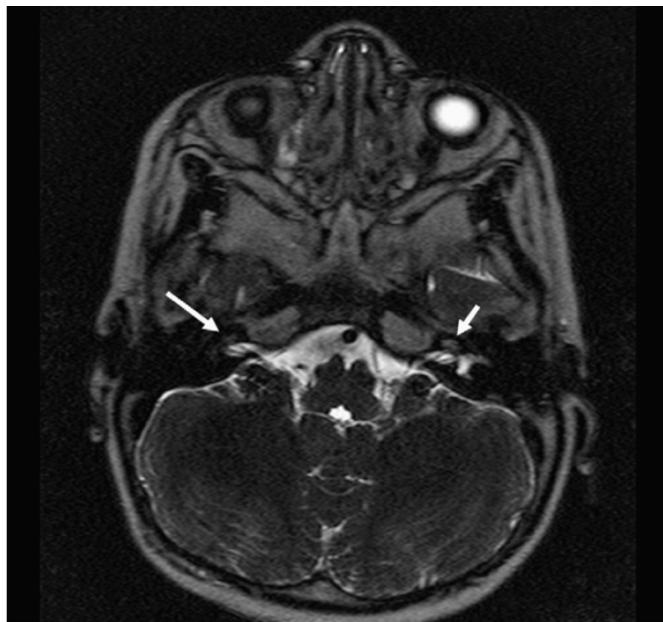


Figure 108 : IRM de l'oreille interne, en séquence T2 haute résolution et en coupe axiale, montrant une atténuation importante du signal en regard du tour moyen et apical de la cochlée gauche et une extinction totale du signal en regard de la cochlée droite témoignant de la présence d'une fibrose dense ou d'une ossification cochléaire dans le cadre d'une labyrinthite ossifiante⁴⁶.

L'IRM permet également de préciser de manière fiable, le siège exact et le degré d'extension de l'ossification, par rapport aux différents tours de spire de la cochlée, ainsi que le degré de perméabilité de la rampe vestibulaire lorsque la rampe tympanique est obstruée en totalité. (Figure 109⁴⁶)

En d'autres termes, en cas d'ossification cochléaire, l'IRM permet de réaliser un bilan d'extension préopératoire, afin de prévoir les différentes possibilités offertes et alternatives chirurgicales.

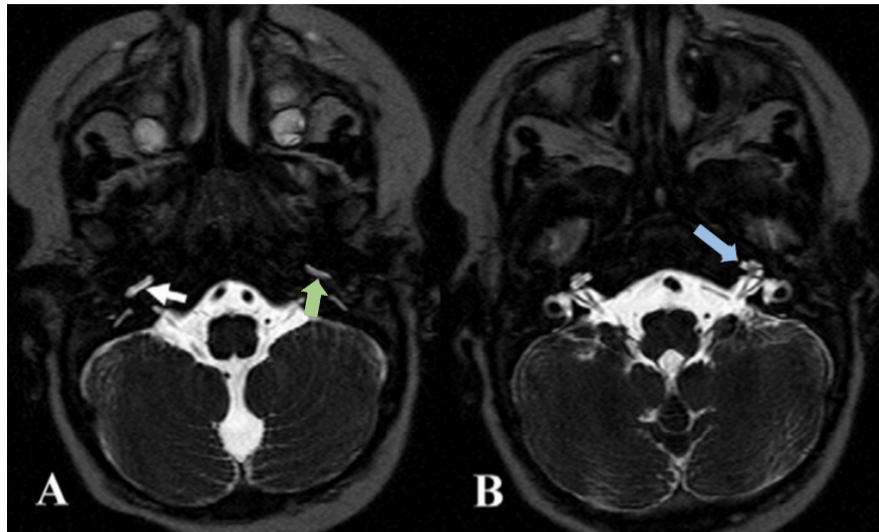


Figure 109 : IRM de l'oreille interne, en séquence T2 haute résolution et en coupes axiales.
L'image (A) montre un tour basal de la cochlée d'aspect normal à droite (flèche blanche) et une perte du signal en regard de la rampe tympanique du tour basal de la cochlée gauche (flèche verte). La rampe vestibulaire paraît perméable à ce niveau (hypersignal presque normal). Tandis que l'image (B) montre un aspect normal des tours moyen et apical qui sont perméables (Flèche bleue) ⁴⁶.

Par ailleurs, une prise de contraste sur les séquences T1 injectées témoigne de la présence d'un foyer de labyrinthite actif. (Figure 110)

Dans une étude prospective portant sur des enfants atteints de méningite bactérienne, et ayant bénéficié d'une IRM encéphalique durant leur hospitalisation, Kopelovich et al⁴⁸ ont démontré que la présence d'un rehaussement labyrinthique sur les séquences T1 après injection de gadolinium, était un facteur prédictif de surdité neurosensorielle post-méningitique. Ce rehaussement peut être détecté dès le premier jour et persister jusqu'à 19 jours après la confirmation du diagnostic de méningite bactérienne ⁴⁸. La persistance d'une telle anomalie témoigne de la présence d'un processus inflammatoire intracochléaire évolutif qui serait à l'origine de l'ossification.⁴⁸

Ceci est particulièrement utile dans la mesure où ces patients présentant des facteurs de risque d'ossification cochléaire, seront adressé à temps vers une structure spécialisée, afin d'être évalué pour une éventuelle implantation cochléaire.

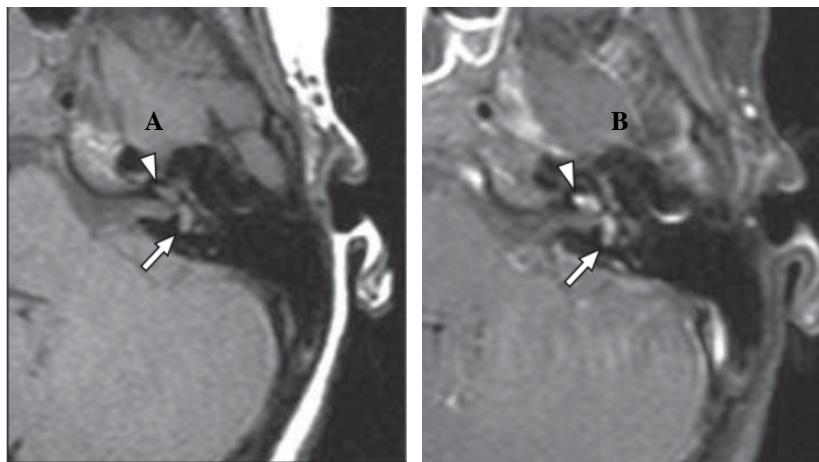


Figure 110 : IRM de l'oreille interne (côté gauche) en coupes axiales, séquence T1 sans (A) et avec injection de gadolinium (B). La cochlée (tête de flèche blanche) et le vestibule (flèche blanche), qui sont en hyposignal spontané T1 (A), se rehaussent après injection de gadolinium (B), témoignant de la présence d'un processus inflammatoire actif, précurseur à une fibrose puis une ossification secondaire⁴⁸.

b. Le paquet acoustico-facial :

L'IRM permet de vérifier l'intégrité du paquet acoustico-facial et l'absence de pathologie rétro-cochléaire pouvant contre-indiquer la chirurgie.

Grâce à des coupes perpendiculaires à l'axe du CAI, en séquence T2 haute résolution, elle permet de visualiser directement les nerfs et d'apprécier leurs diamètres respectifs. (Figure 111)

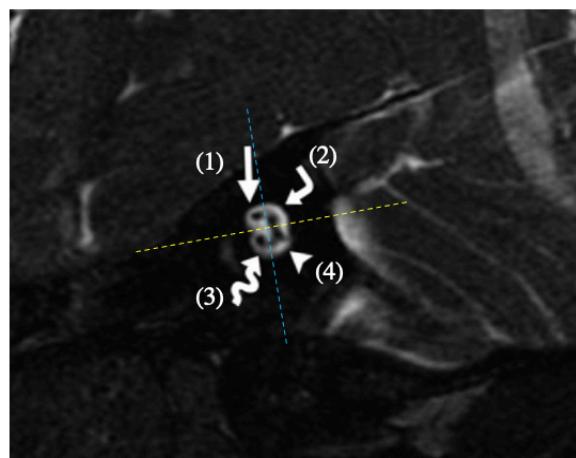


Figure 111 : IRM en séquence T2 haute résolution 3D CISS, en coupe sagittale oblique perpendiculaire à l'axe du CAI montrant un paquet acoustico-facial d'aspect normal. (1) : quadrant antéro-supérieur contenant le nerf facial et son intermédiaire de Wrisberg (flèche droite), (2) : quadrant postéro-supérieur contenant le nerf vestibulaire supérieur (flèche coudée), (3) : quadrant antéro-inférieur contenant le nerf cochléaire (flèche sinuuse), (4) quadrant postéro-inférieur contenant le nerf vestibulaire inférieur (tête de flèche) ³⁴

Le nerf cochléaire est également identifiable sur des coupes axiales, le long de son trajet jusqu'au modiolus. Il peut être complètement absent et constituer une contre-indication absolue à l'implantation cochléaire (Figure 112), ou hypoplasique avec un diamètre inférieur à celui de son homologue du côté controlatéral⁸, ou inférieur à celui du nerf facial ipsilatéral⁵⁴.

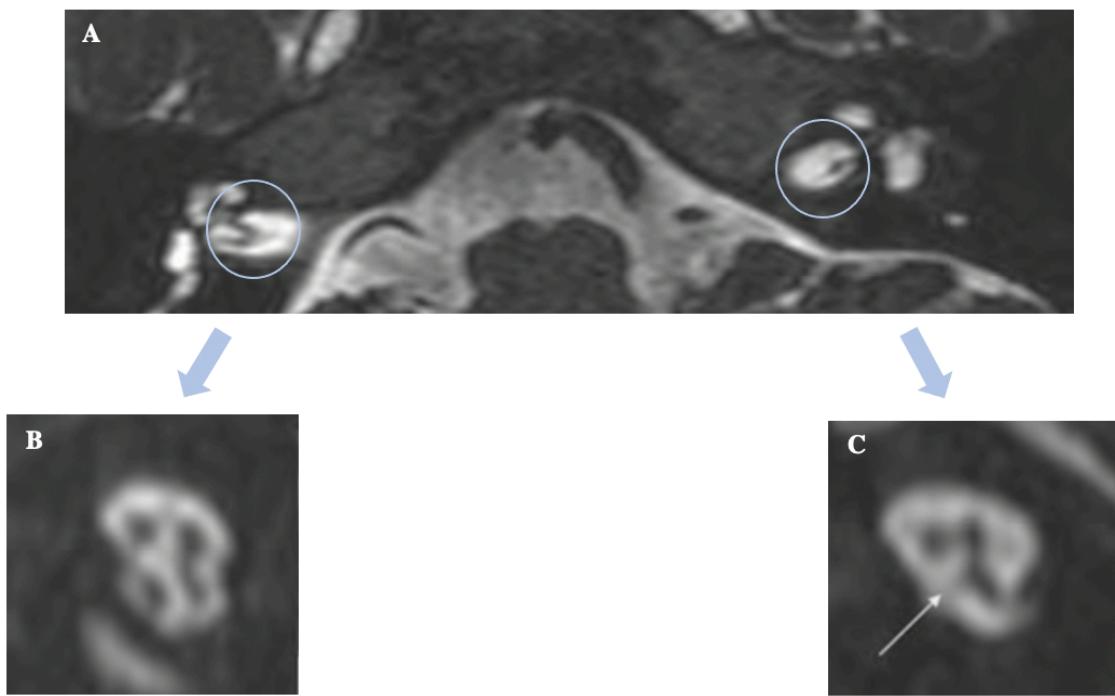


Figure 112 : IRM encéphalique en séquence T2 haute résolution. L'image A est une coupe axiale objectivant l'absence du nerf cochléaire dans le côté gauche. Les images B et C sont des reconstructions sagittales obliques perpendiculaires à l'axe du conduit montrant un paquet acoustico-facial d'aspect normal à droite (B) avec individualisation des 4 nerfs dans leurs quadrants respectifs, et une agénésie du nerf cochléaire à gauche (C) qui n'est pas visible dans le quadrant antéro-inférieur (flèche blanche) ⁵¹.

c. Le parenchyme cérébral :

Toute IRM doit comporter une étude du parenchyme cérébral, au moins une séquence de pondération T2 ou FLAIR de l'ensemble de l'encéphale, afin d'éliminer une atteinte centrale pouvant orienter sur l'origine de la surdité (malformations cérébrales, maladie métabolique ou neurodégénérative, séquelles ischémiques néonatales, séquelles de méningite, embryofoetopathie à cytomégalovirus ...etc)^{3,12,55}. De même, on n'oubliera pas d'analyser le signal de la base du crâne , qui peut parfois orienter vers une atteinte osseuse dysplasique ou tumorale.¹²

Les enfants présentant des anomalies associées du système nerveux central peuvent avoir de mauvais résultats après implantation cochléaire. En effet, les lésions cérébrales telles que les anomalies de la substance blanche, sont des marqueurs connus associés à un risque élevé de retard psychomoteur et cognitif, d'infirmité motrice cérébrale, et de déficience neurosensorielle, et constituent tous des facteurs de mauvais pronostic pour le développement du langage et de la parole ⁵⁶.

L'identification de ces lésions permet donc au chirurgien d'informer les parents de l'enfant, lors d'un entretien préopératoire, sur le mauvais pronostic fonctionnel et la nécessité d'un suivi à long terme⁵⁶.

De surcroit, la découverte fortuite d'une lésion tumorale (schwannome vestibulaire, cavernome cérébral...etc), conditionne le choix du côté à implanter (côté controlatéral à la lésion afin de limiter les artéfacts) et du type de l'implant (implant compatible avec l'IRM), si une surveillance radiologique est indiquée ⁵⁷. L'IRM sert également de référence pour le suivi ultérieur de la lésion ⁵⁸.

II. Chirurgie de l'implantation cochléaire :

1. Temps préparatoires et prévention des risques opératoires :⁵⁹⁻⁶²

La chirurgie de l'implantation cochléaire comporte les mêmes risques que toute intervention otologique, et nécessite un certain nombre de précautions pré- et peropératoires.

1.1 Préparation de l'intervention :

- Le calendrier vaccinal doit être connu et mis à jour, notamment contre le Pneumocoque et l'Haemophilus, afin de minimiser le risque de méningite bactérienne au cours d'une otite moyenne aigue après l'implantation.
- Toute otite moyenne aigue ou chronique doit être traitée au préalable. La stérilité des cavités tympano-mastoidiennes étant un prérequis impératif à la chirurgie.
- Une consultation pré-anesthésique est requise pour éliminer une contre-indication à l'anesthésie générale.
- Le chirurgien informe les parents sur les modalités et les risques opératoires, et recueille leur consentement éclairé qui doit figurer sur le dossier médical du patient.
- On vérifie les résultats du bilan pré-implantation, notamment le bilan radiologique (TDM et IRM) afin de dépister d'éventuelles difficultés chirurgicales.
- On vérifie également le choix du côté à implanter.

1.2 Préparation et installation du patient :

- Le patient reçoit la veille ou au mieux le matin de l'intervention, un shampoing avec une solution antiseptique moussante. Le rasage rétro-auriculaire est limité à la zone d'incision. L'utilisation d'une tondeuse électrique est préférable à un rasoir à main car moins traumatisante pour la peau.
- L'intervention se déroule sous anesthésie générale.

- Une antibioprophylaxie périopératoire est recommandée.
- Le patient est installé en décubitus dorsal, la tête est tournée vers le côté opposé. Une mauvaise installation peut exposer à des gestes malencontreux du fait d'un mauvais repérage anatomique. Le plan mastoïdien doit être horizontal, afin de garder le tegmen temporal dans un plan vertical.
- Une hyper-extension de la tête peut être utile afin de mieux visualiser la région des fenêtres et impose donc la mise en place d'un billot sous les épaules du patient.
- La mobilité de la tête doit être préservée afin de pouvoir la faire tourner facilement et obtenir un angle de vision adapté en fonction des besoins.
- Le microscope opératoire est installé à la tête du patient.
- Les électrodes de monitorage du nerf facial sont mises en place avant de réaliser le champ opératoire.
- L'asepsie du champ opératoire est réalisée par badigeonnage avec une solution de polyvidone iodée et doit être très scrupuleuse.

Il faut noter que le monitorage du nerf facial n'est pas employé par tous les chirurgiens de manière systématique, mais il semble préférable lorsque l'anatomie chirurgicale est modifiée (malformations, antécédents de chirurgie otologique, otite moyenne chronique...etc), car le risque de traumatisme iatrogène du nerf facial est plus important. Comme tout système de monitorage, son installation doit être particulièrement rigoureuse, garante de sa fiabilité, et l'opérateur doit s'assurer tout au long de l'intervention de son bon fonctionnement. Il n'a pas pour but de remplacer la vigilance et l'expérience de l'opérateur, mais il constitue un système d'alerte supplémentaire.

1.3 Précautions peropératoires :

- Il faut utiliser un matériel en parfait état (micromoteur avec des fraises coupantes et des fraises diamantées).
- La pièce à main doit être tenue comme un stylo en prenant des appuis stables sur la tête du patient.
- Il faut éviter de travailler en profondeur en s'enfonçant dans un trou, et au contraire tenter toujours d'abaisser au maximum les berges d'une cavité pour éviter d'enfoncer la fraise dans un puits à l'aveugle. Si l'on est obligé de travailler dans un puits, il est plus prudent d'utiliser une curette.
- Il ne faut jamais appuyer sur la fraise, mais imprimer des mouvements de balayage dans un plan parallèle à celui des organes sensibles les plus proches (sinus latéral, méninges temporales, nerf facial)
- Il faut diminuer la vitesse de rotation de la fraise et utiliser une fraise diamantée à l'approche d'un organe noble (les fraises coupantes étant plus agressives)
- L'hémostase doit être effectuée régulièrement, et ne jamais entreprendre un temps opératoire avant d'avoir assuré une excellente hémostase à la fin du temps précédent.

2. Technique opératoire : 59-62

On commence par un marquage au crayon dermatographique du placement respectif de la composante externe et de l'implant lui-même de manière à éviter un conflit entre ces 2 éléments, source de souffrance cutanée.

Les constructeurs proposent un kit d'implantation comprenant des gabarits qui permettent de tracer le positionnement de cette partie interne sur la peau. (Figure 113)

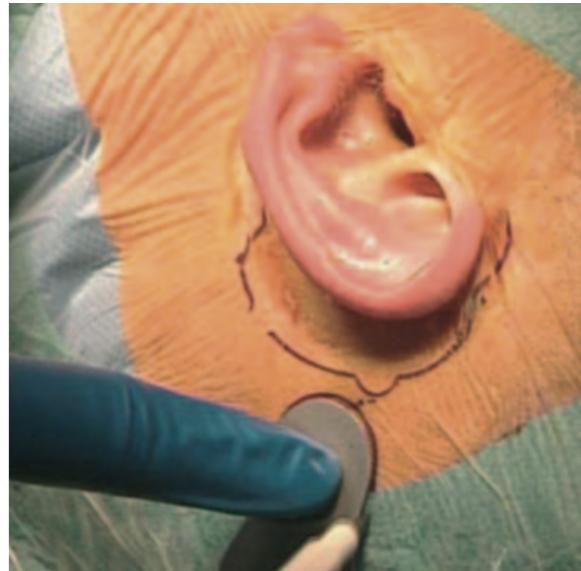


Figure 113 : Traçage au crayon dermatographique en utilisant un gabarit permettant de prévenir tout contact ultérieur entre la composante interne et externe source de souffrance cutanée⁶¹.

2. 1 Incision et abord des tissus mous :

L'infiltration par une solution adrénalinée, dont la titration est adaptée au poids de l'enfant, limite le saignement lors de l'incision cutanée.

Plusieurs types d'incision ont été conçues afin de remplir les objectifs suivants :

- Permettre l'emplacement de la composante interne de l'implant (récepteur-stimulateur).
- Donner l'accès à la mastoïde.
- Préserver la vascularisation du lambeau cutané.

L'incision peut être :

- Intertragohélicéenne avec extension sus et rétro-auriculaire vers le haut et l'arrière, arciforme postérieure à charnière antérieure. C'est l'incision utilisée dans la voie endaurale élargie de Legent et Fleury.
- Sus et rétro-auriculaire suivant une ligne en « C ».
- Sus et rétro-auriculaire étendue vers le haut et l'arrière en « L » inversé. (Figure 114)



Figure 114 : incision rétro-auriculaire en « L » inversé⁶³.

Ces incisions doivent toujours être réalisées de telle sorte que l'implant ne soit pas exposé, mais positionné à distance de celles-ci pour limiter les risques de souffrance cutanée, et donc d'extrusion.

L'incision se fait préférentiellement en deux plans. En premier lieu, jusqu'au plan périosté et à celui de l'aponévrose temporale. Puis ces plans profonds sont incisés à leur tour, de manière décalée par rapport à l'incision cutanée. Ce décalage est particulièrement utile car il sert à maintenir l'implant en place dans une sorte de poche sous-périostée, et diminue par conséquent le risque d'extrusion et de migration.

On prélève un fragment d'aponévrose et de muscle temporal qui servira à colmater la cochléostomie autour du porte-électrode.

L'apophyse mastoïde est exposée par la réalisation d'un lambeau musculoaponévrotique à charnière antérieure. Le bord postérieur du conduit auditif externe est repéré.

Un décollement à l'aide d'une rugine est réalisé à la demande, de manière à placer la partie interne de l'implant suffisamment en haut et en arrière par rapport au pavillon.

Les incisions retro-auriculaires limitées, de petite taille ont l'avantage de mieux préserver la vascularisation du lambeau et donc de prévenir les problèmes de cicatrisation et de souffrance cutanée. Cependant, il faut éviter de blesser une veine émissaire mastoïdienne, surtout au cours des décollements « aveugle » dans ce type d'incisions.

2. 2 Mastoïdectomie :

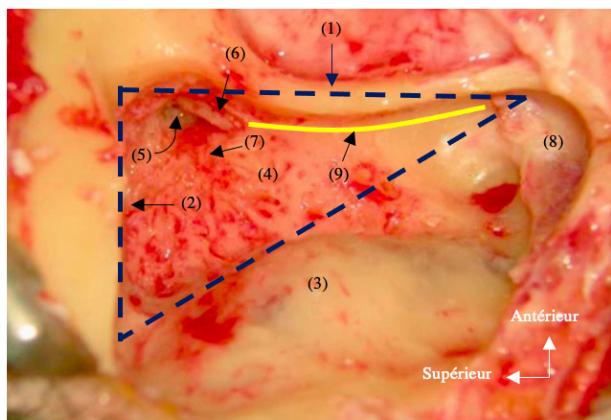
Le fraisage de la corticale mastoïdienne est réalisé à la fraise coupante suivant le triangle d'attaque classique, qui est bordé en avant par le mur postérieur du conduit osseux, en haut par le tegmen, et en arrière par le trajet du sinus sigmoïde. (Figure 115)

La mastoïdectomie doit rester de volume relativement limité, pour s'approcher le moins possible, en arrière, de la zone de mise en place de l'implant.

La pointe est évidée pour visualiser la crête digastrique, repère souvent utile pour situer le niveau du nerf facial.

Après avoir accédé à l'antre et à l'attique, on découvre au fond : (Figure 115)

- Le relief du canal semi-circulaire latéral
- Le corps de l'enclume et sa courte apophyse, dans la fossa incudis.



(1) : Mur postérieur du CAE osseux, (2) : Tegmen, (3) : coque osseuse du sinus sigmoïde, (4) : antre mastoïdien, (5) : attique, (6) : courte apophyse de l'enclume, (7) : CSC latéral, (8) : crête digastrique, (9) : trajet de la 3^{ème} portion du nerf facial

Figure 115 : Mastoïdectomie. Le triangle d'attaque classique est représenté en bleu, et le trajet de la 3^{ème} portion du nerf facial est représenté en jaune en prenant comme repère la fossa incudis en haut (en rapport avec le coude du nerf facial), et la partie antérieure de la crête digastrique en bas (en rapport avec l'émergence du nerf au niveau du foramen stylomastoïdien) ⁶².

La fossa incudis ou fossette de l'enclume, constitue le plancher de l'aditus. Cette région présente un rapport étroit avec le coude du nerf facial dont elle n'est séparée que par une fine lame osseuse de 1 à 3 mm ¹¹. Son identification est donc indispensable pour le repérage de la 3^{ème} portion du nerf facial, et facilite la réalisation du temps suivant qui est la tympanotomie postérieure.

La mastoïdectomie constitue un des temps opératoires clés de la chirurgie de l'implantation cochléaire et peut être rendu très difficile par :

- Une éburnation des cellules mastoïdiennes : les repères classiques étant masqués dans un bloc osseux.
- Une procidence des méninges temporales
- Une procidence du sinus sigmoïde

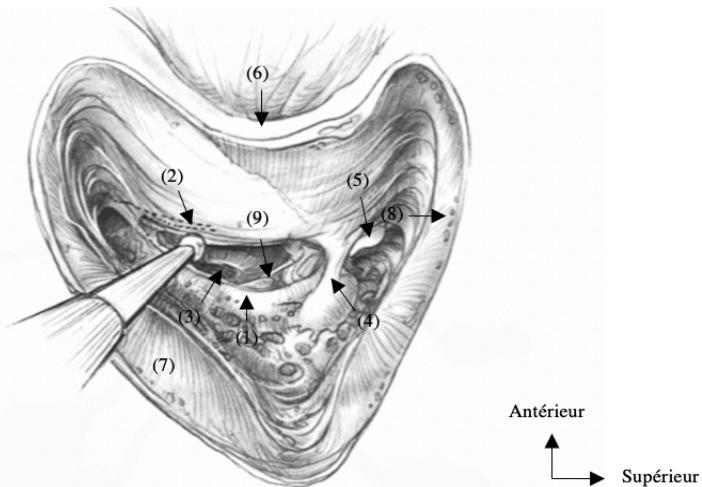
La présence de ces éléments rend l'identification des repères chirurgicaux, difficile et accroît le risque de lésion des structures nobles.

2. 3 Tympanotomie postérieure :

Une tympanotomie postérieure et inférieure est réalisée à travers le récessus facial. La zone d'attaque du fraisage est située dans un plan horizontal passant par l'extrémité de la courte apophyse de l'enclume. Il faut prendre garde à ne pas franchir médialement cette ligne horizontale durant le temps de fraisage initial sous peine de lésion le nerf facial. L'utilisation d'une fraise diamantée est impérative. Un pont osseux de protection doit être laissé entre l'incus et le récessus facial. (Figure 116, 117)

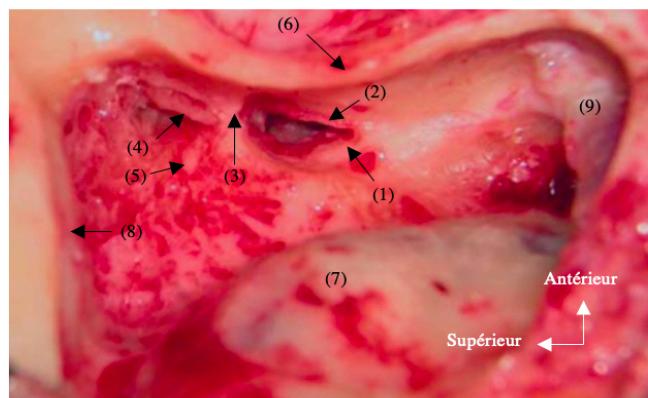
L'ouverture de la cavité tympanique est amorcée à la partie supérieure du récessus facial, là où la hauteur de la tympanotomie est la plus importante. La tympanotomie postérieure est ensuite prolongée vers le bas, et le fraisage doit être beaucoup plus prudent à ce niveau, du fait de la latéralisation progressive du nerf facial qui rejoint la corde du tympan vers la partie inférieure de la tympanotomie.

La corde du tympan et, bien sûr, le nerf facial, doivent être respectés, de même que l'insertion de l'annulus dans le sulcus. Aussi, le conduit auditif externe osseux ne doit pas être amputé.



(1) : 3^{ème} portion du nerf facial, (2) : corde du tympan, (3) : niche de la FR, (4) : pont osseux de protection, (5) : corps de l'enclume et sa courte apophyse, (6) : mur postérieur du CAE osseux, (7) : coque osseuse du sinus sigmoïde, (8) : tegmen, (9) : éminence pyramidale et tendon du muscle de l'étrier.

Figure 116 : Tympanotomie postérieure et inférieure. C'est l'ouverture de la caisse du tympan par voie mastoïdienne aux dépens du récessus facial qui est un espace triangulaire à sommet inférieur délimité médialement par la 3^{ème} portion du nerf facial, latéralement par la corde du tympan et en haut par la fossa incudis. Un pont osseux de protection est laissé entre l'incus et le récessus facial ⁵⁹.



(1) : 3^{ème} portion du nerf facial, (2) : corde du tympan, (3) : pont osseux de protection, (4) : courte apophyse de l'enclume, (5) : CSC latéral, (6) : mur postérieur du CAE osseux, (7) : coque osseuse du sinus sigmoïde, (8) : tegmen, (9) : crête digastrique.

Figure 117 : Tympanotomie postérieure et inférieure. Le récessus facial doit être ouvert suffisamment vers le bas afin de visualiser le promontoire et la niche de la FR, tout en respectant le nerf facial, la corde du tympan, le sulcus et le mur postérieur du CAE osseux ⁶².

Il est important de ne pas dénuder le nerf facial afin d'éviter des stimulations faciales indésirables « parasite » lors du fonctionnement de l'implant.

On peut être amené, dans certaines situations, à élargir la tympanotomie postérieure en sacrifiant la corde du tympan, pour une meilleure exposition chirurgicale du promontoire et de la niche de la fenêtre ronde. Il faut tout de même rester prudent, car une tympanotomie postérieure trop latérale risque d'entrainer une encoche accidentelle dans le sulcus avec perforation de la membrane tympanique.

2. 4 Repérage de la FR :

Après ouverture du récessus facial, on peut apercevoir la pyramide, le tendon du muscle de l'étrier, la branche postérieure de l'arche de l'étrier et l'articulation incudostapédiennne. La niche de la fenêtre ronde est habituellement visible 2 mm au-dessous de l'étrier. (Figure 118)

Le champ de vision est parallèle au mur postérieur du CAE osseux, donc il est nécessaire que ce dernier soit aminci et rendu parfaitement rectiligne.

La membrane de la fenêtre ronde n'est pas toujours bien visible selon l'anatomie individuelle, parfois n'est visible que le sourcil osseux qui la surplombe.

Le fraisage de ce surplomb osseux permet d'une part, d'améliorer la visibilité de la membrane de la fenêtre ronde, et d'autre part, d'insérer le faisceau d'électrodes le long de l'axe principal de la rampe tympanique de manière à éviter que celui-ci ne soit dévié vers le modiolus, entraînant sur son passage un traumatisme des structures intracochléaires.⁶⁴ (Figure 119)

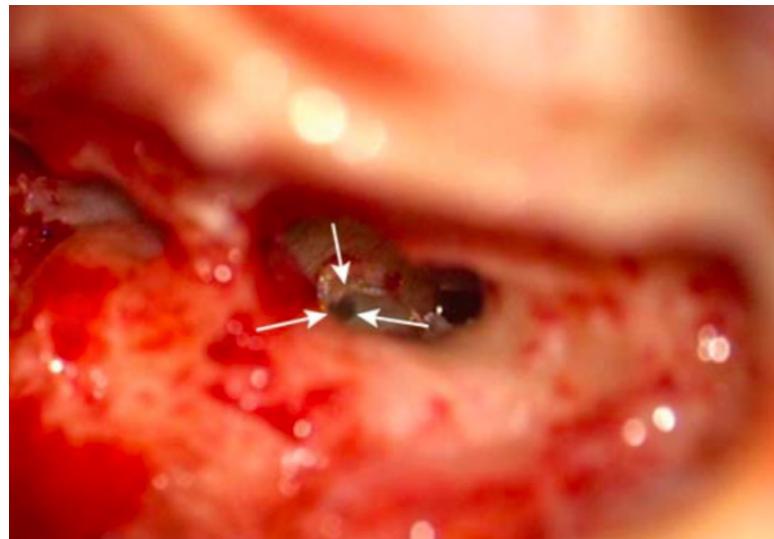


Figure 118 : Visualisation de la membrane de la FR (flèches blanches) à travers le récessus facial.⁶²

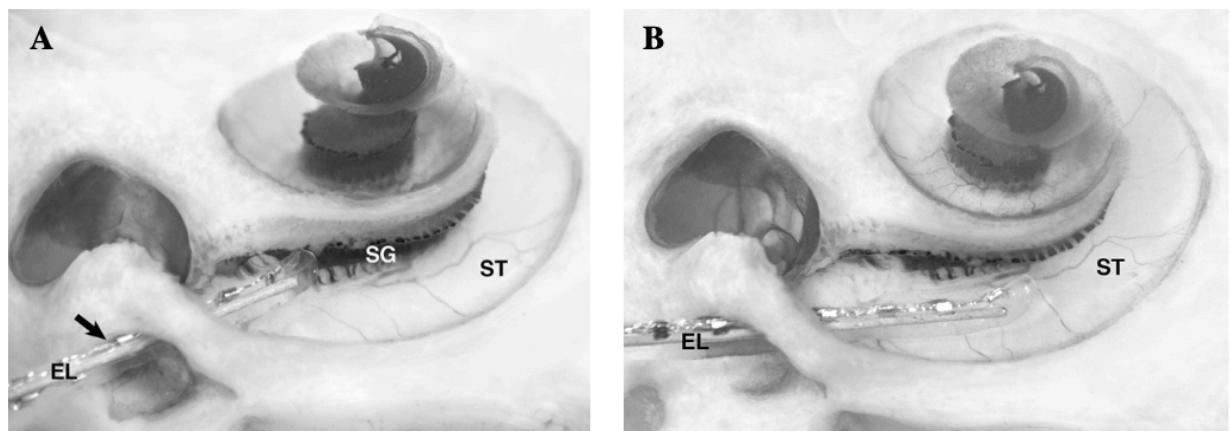


Figure 119 : Impact du fraisage des parois osseuses de la niche sur le trajet d'insertion des électrodes. Le porte-électrode (EL) introduit à travers la FR sans fraisage préalable des parois osseuses de sa niche (A) est dévié vers le modiolus et le ganglion spiral (SG). Dans le cas contraire (B), la régularisation des berges permet une insertion au milieu de la rampe tympanique (ST) en suivant son axe principal. Ici, la lame spirale et la membrane basilaire sont enlevées afin de permettre une vue directe sur la rampe tympanique.⁶⁴

2. 5 Ouverture de la cochlée :

L'abord intracochléaire peut se faire soit au niveau de la fenêtre ronde après ouverture de sa membrane, soit par un fraisage d'élargissement de la fenêtre ronde en antéro-inférieur (voie de la fenêtre ronde modifiée), soit par une cochléostomie au promontoire, en fonction du degré de visibilité et d'accessibilité de la fenêtre ronde.

La classification St Thomas Hospital (STH) proposée par Leong et al, distingue **4** types en fonction du degré d'exposition de la membrane de la fenêtre ronde après fraisage des parois osseuses de sa niche.⁶⁵

- Type **I** : FR complètement visible (100%)
- Type **II** : FR partiellement visible
 - IIa** : >50%
 - IIb** : < 50%
- Type **III** : FR non visible (0%)

Lorsque la membrane est largement visible et accessible (Type **I**), le porte-électrode peut être inséré directement à travers celle-ci.⁶⁵ Dans les cas où la membrane est complètement inaccessible (Type **III**), une cochléostomie au promontoire s'impose.⁶⁵ Dans les cas où la membrane est partiellement visible (Type **II**), on peut élargir la FR en antéro-inférieur. L'insertion directe à travers la membrane ainsi qu'une cochléostomie au promontoire, demeurent des alternatives possibles respectivement dans les types **IIa** et **IIb**.⁶⁵

Le fraisage d'élargissement de la FR doit être réalisé dans la région de la crista fenestra, qui est une crête osseuse située en regard du bord antérieur et inférieur de la niche, pouvant occuper une surface importante, véritable « marche d'escalier » à l'entrée du tour basal de la

cochlée limitant l'accès à la rampe tympanique⁶⁶. Le fraisage a pour but de bien exposer le bord antérieur de la membrane afin de visualiser l'endoste de la paroi latérale du premier tour de spire.

La cochléostomie au promontoire quant à elle, nécessite un fraisage prudent 1 mm en avant et en bas de la FR, sous irrigation avec une fraise diamantée de 1 mm de diamètre. Dans cette position, l'accès à la rampe tympanique est optimal et le risque de traumatisme des structures nerveuses de l'oreille interne est réduit car ces dernières siègent à distance du site de la cochléostomie.

Après repérage de l'endoste, l'ouverture de celui-ci ne sera réalisée que secondairement après la mise en place et la fixation du récepteur-stimulateur de l'implant dans sa logette. L'ouverture est pratiquée à l'aide d'un crochet pointu ou à la faux sans aspiration du liquide labyrinthique.

Cette notion est importante car l'ouverture de l'endoste peut s'accompagner d'un geyser qui est une issue brutale de liquide cérébrospinal présent de manière anormale dans les cavités de l'oreille interne. Cela est particulièrement le cas chez les patients ayant des malformations cochléo-vestibulaires avec une communication anormale entre les espaces sous-arachnoïdiens et les espaces labyrinthiques, au niveau du fond du CAI. Il est donc plus prudent de n'ouvrir l'endoste que lorsque le temps suivant est achevé. Cela est valable aussi pour la voie de la FR modifiée.

Il est aussi souhaitable d'éviter que la poudre d'os ne pénètre dans la lumière du premier tour de spire. On risquerait de repousser devant l'électrode des débris qui pourraient obturer la lumière et s'opposer à la progression de l'électrode conduisant à une insertion incomplète. De

plus, la pénétration de fragments osseux à l'intérieur de la cochlée pourrait déclencher des phénomènes inflammatoires et évoluer ultérieurement vers la fibrose et l'ossification.

Le choix entre une insertion à travers la fenêtre ronde ou à travers une cochléostomie au promontoire reste sujet à controverse.

La voix de la FR offre les avantages suivants⁶⁴ :

- La fuite de liquide périlymphatique à l'ouverture de la cochlée est moins importante
- Le fraisage n'est pas nécessaire, et par conséquent la poudre d'os ne pénètre pas à l'intérieur de la rampe tympanique.
- Le risque de traumatisme acoustique lié au fraisage de la capsule otique est nettement réduit.
- Elle garantit l'accès la rampe tympanique, et permet d'exploiter le tour basal de la cochlée dans sa totalité.
- Le colmatage par des fragments d'aponévrose ou de muscle temporal autour du porte-electrode est plus étanche. Par conséquent, il favorise la cicatrisation et empêche la propagation ultérieure d'une infection, notamment une otite moyenne, vers l'oreille interne et les méninges.

Malgré ces avantages, la voie de la FR comporte de nombreux challenges qui doivent être pris en considération⁶⁴ :

- Le degré d'exposition et d'accessibilité chirurgicale de la FR à travers le récessus facial peut rendre cette voie impossible et imposer la réalisation d'une cochléostomie au promontoire.

- Les variantes anatomiques en termes de morphologie, de taille, d'orientation et de situation dans l'espace peuvent avoir un impact négatif sur l'insertion réussie et non traumatique des électrodes.

Toutefois, la FR reste un repère chirurgical important, et son identification est nécessaire, indépendamment de la technique utilisée.⁶⁷ En effet, même lorsqu'on opte pour une cochléostomie au promontoire, le site du fraisage est déterminé en se basant sur ce repère (1mm en avant et en bas de la FR), afin de réduire le risque de traumatisme des structures intracochléaires.⁶

2. 6 Confection d'une logette osseuse pour le récepteur-stimulateur :

Le temps suivant consiste à créer un lit osseux cortical qui admettra le corps de l'implant. Ce lit est préparé en enlevant l'os à la fraise coupante puis diamantée, et tient compte de la forme spécifique de chaque implant. (Figure 120)

Certains implants ne nécessitent pas de fraisage, grâce à une miniaturisation et donc une faible épaisseur, et peuvent être maintenus en place par des vis autotaraudantes. Certains chirurgiens créent des trous dans l'épaisseur de la corticale de manière à passer des fils non résorbables destinés à sécuriser l'implant. Pour d'autres, cela n'est pas utile et l'implant est seulement positionné dans sa logette osseuse, sous le périoste, en regard du muscle temporal. La suture du lambeau musculo-periosté étant suffisante pour plaquer le corps de l'implant dans sa logette.

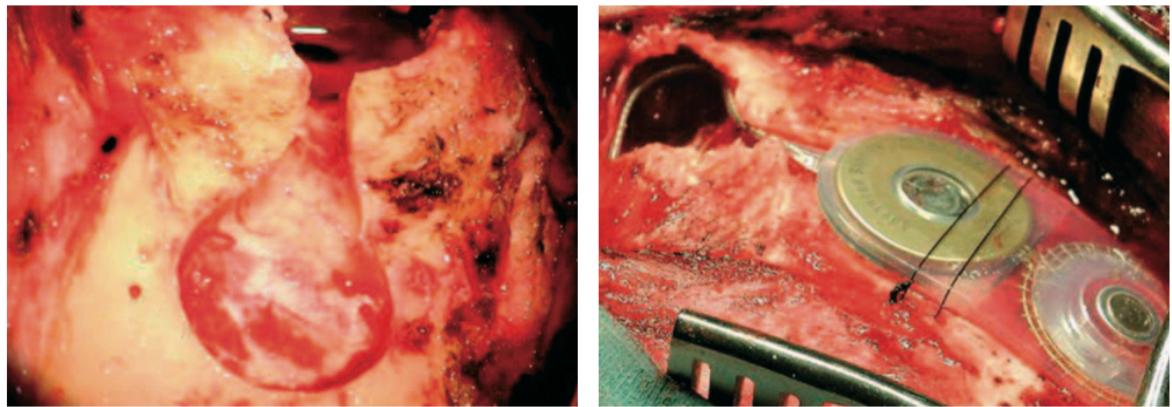


Figure 120 : Fraisage d'une logette osseuse corticale pour accueillir le corps de l'implant, puis mise en place et fixation de ce dernier par un fil non résorbable. Les fils sont passés par des trous trans corticaux pour sécuriser l'implant dans sa logette et ne doivent pas surcroiser le porte-électrode afin d'éviter un cisaillement.⁶²

2. 7 Insertion du porte-électrode :

Le porte-électrode est saisi à l'aide d'un microforceps puis introduit à l'intérieur de la rampe tympanique du 1^{er} tour de spire. Il existe différentes méthodes d'insertion ayant comme objectif commun d'assurer une insertion complète des électrodes en intracochléaire. (Figure 121)

Une instrumentation spéciale peut aider à la manipulation non traumatique du porte-électrode afin d'éviter une déformation ou une fracture du faisceau.

L'insertion doit se garder également de ne pas léser les structures intracochléaires afin de préserver l'audition résiduelle. En effet, certains patients implantés cochléaires présentent des reliquats auditifs sur les fréquences basses, en particulier, qui pourraient être exploitables par une amplification acoustique concomitante à une stimulation électrique intracochléaire des fréquences moyennes et hautes.

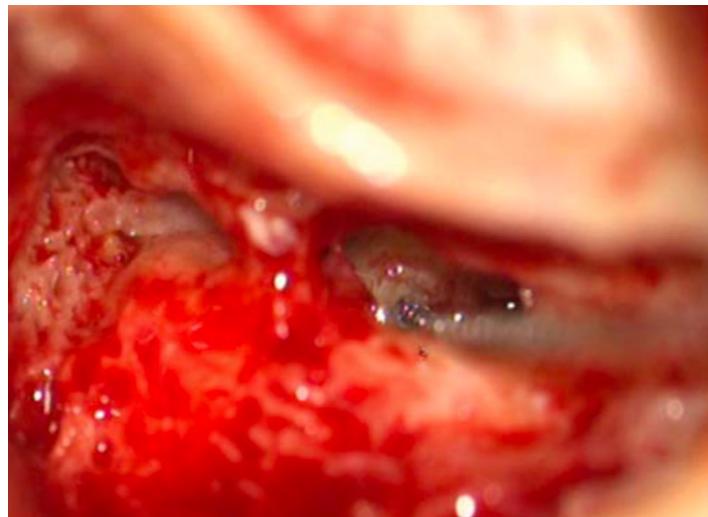


Figure 121 : insertion du porte-électrode à travers la FR.⁶²

Après avoir introduit la totalité des électrodes en intracochléaire, il est capital de réaliser une étanchéité absolue de la cochléostomie pour éviter tout risque de contamination microbienne par l'oreille moyenne, source potentielle de méningite bactérienne et de fistule labyrinthique. Cette étanchéité est réalisée selon les habitudes par des fragments d'aponévrose et/ou de muscle temporal en utilisant ou non de la colle biologique.

L'excès du porte-électrode est enroulé pour former une boucle dans la cavité de mastoïdectomie ce qui permet une adaptation régulière à la croissance de l'os temporal chez le jeune enfant.

Dès la mise en place de l'implant, on ne peut plus utiliser la coagulation monopolaire sous peine d'endommager le nerf auditif et seule la coagulation bipolaire est possible. Le patient doit en être averti pour toute autre intervention ultérieure ; une carte de porteur avec les précautions, notamment vis-à-vis de la réalisation ultérieure d'une imagerie par résonnance magnétique, lui sera d'ailleurs remise dès sa sortie de l'hôpital

2. 8 Fermeture du champ opératoire :

La fermeture se fait en 3 plans, sans drainage :

- Un plan musculo-périosté
- Un plan sous-cutané
- Un plan cutané.

Le pansement est réalisé par un bandage auriculo-fronto-occipital.

3. Situations anatomiques particulières et difficultés opératoires :

3. 1 Implantation cochléaire chez le jeune enfant et le nourrisson :

La mise en place de programmes de dépistage universel de la surdité en milieu néonatal a permis l'identification d'une population d'enfants déficients auditifs à un stade très précoce. Ces enfants sont des candidats potentiels à une implantation cochléaire, en fonction du degré de sévérité de la surdité ainsi que son retentissement sur le développement du langage.⁶⁸

Il est actuellement parfaitement démontré que les résultats de l'implantation cochléaire sont d'autant meilleurs que l'implant est mis en place précocement.⁶⁹⁻⁷¹

L'âge minimal se situe aux alentours d'un an. Cependant, plusieurs études ont démontré qu'une implantation plus précoce, avant l'âge de 12 mois, est possible avec des résultats à long terme nettement meilleurs en matière de développement du langage et de compréhension de la parole.⁷²⁻⁷⁶

Ainsi, les chirurgiens sont actuellement confrontés à des enfants de plus en plus jeunes, aux particularités anatomiques et chirurgicales qui doivent être prises en considération :

- Il existe un risque anesthésique non négligeable chez l'enfant âgé de moins de 12 mois (bronchospasme, hypoxie, bradycardie, arrêt cardio-respiratoire), d'autant plus important qu'il existe d'autres pathologies associées. Ce risque peut être diminué par la présence sur place d'une équipe d'anesthésie pédiatrique.^{68,77}
- L'infiltration adrénalinée doit être titrée selon le poids et l'âge.⁶¹
- Bien que le saignement reste relativement faible dans la chirurgie otologique, l'hémostase doit être rigoureuse, en raison d'une masse sanguine circulante réduite (80 ml/kg) chez le nourrisson, et d'une mauvaise tolérance au saignement : une déperdition sanguine dépassant 10% du volume circulant est suffisante pour déclencher une réponse physiologique pour lutter contre l'hypovolémie.⁷⁸
- La pointe mastoïdienne est peu développée chez le jeune nourrisson, surtout avant l'âge de 12 mois, et une incision retro-auriculaire classique risque de lésier le nerf facial. L'incision doit donc éviter la région du sillon rétro-auriculaire et la pointe mastoïdienne où le nerf facial est très superficiel. En pratique, puisqu'il n'y a pas de repère de sortie du nerf facial, il faut veiller à rester au-dessus d'une ligne horizontale passant par le bord inférieur du CAE.⁶⁰
- La peau est en général plus fine, et donc plus fragile, et sa manipulation doit être précautionneuse, notamment lors de la mise en place des écarteurs.⁶¹
- Le labyrinthe postérieur est plus proche de la corticale mastoïdienne du fait d'un défaut de pneumatisation des cellules mastoïdiennes chez le nourrisson. Il faut donc se repérer en profondeur, notamment par la courte apophyse de l'enclume.
- Le fraisage de la mastoïde se fait souvent au sein d'un os médullaire immature et hémorragique, pouvant rendre l'identification des repères classiques, difficile.^{62,68}
- Le fraisage du lit de l'implant se heurte à une corticale osseuse peu épaisse (2 à 3mm chez le très jeune enfant), et doit être réalisé sous contrôle visuel microscopique afin d'éviter de blesser la dure-mère.^{62,68,79}

- Les électrodes doivent être suffisamment longues pour s'adapter progressivement à la croissance de l'os temporal, et doivent être fermement fixées à la FR ou en regard du site de la cochléostomie afin d'éviter leur extrusion progressive en extra-cochléaire.⁷⁹
- Il n'y a pas de croissance postnatale du labyrinthe et du récessus facial. Ainsi, la tympanotomie postérieure, l'ouverture de la cochlée et l'insertion des électrodes se fait selon les mêmes principes précédemment cités.
- Certains enfants peuvent avoir des handicaps associés, difficiles à diagnostiquer à un âge très jeune (retard mental, troubles du comportement, troubles d'apprentissage, déficits cognitifs ...etc) susceptibles d'entraver la capacité de l'enfant à tirer profit des informations auditives auxquelles il a accès via l'implant cochléaire.⁶⁸

3. 2 Implantation cochléaire et otite moyenne chronique :

La présence d'une otite moyenne chronique (OMC) pose de nombreux problèmes compliquant considérablement la chirurgie de l'implantation cochléaire^{80,81,82} :

- Éburnation des cellules mastoïdiennes
- Présence d'une muqueuse inflammatoire et hémorragique ainsi que des tissus de granulation, entravant la visualisation adéquate des repères chirurgicaux.
- Risque accru de complications endocrâniennes (labyrinthite, méningite...etc)
- Poussées de réchauffement après implantation rebelles au traitement médical pouvant nécessiter une explantation.
- Problèmes de cicatrisation entretenus par l'infection avec risque d'extrusion.
- Présence d'un cholestéatome.
- Risque de récurrence d'un cholestéatome après implantation (reliquat épidermique ou récidive)

- Implantation cochléaire sur une oreille déjà opérée pour OMC (tympanoplastie en technique fermée ou cavité d'évidement pétro-mastoïdien) ayant comme conséquence une altération de l'anatomie et une modification des repères habituels.

La stratégie chirurgicale dépend de la forme clinique et de son degré d'activité :

L'otite séromuqueuse, très fréquente chez l'enfant, peut se résoudre spontanément ou être traitée par une paracentèse avec mise en place d'un aérateur transtympanique (ATT).⁷⁷

La pose d'un ATT permet certes d'améliorer l'aération de l'oreille moyenne et de réduire l'inflammation de la muqueuse, mais peut s'accompagner d'un certain nombre de complications (perforation tympanique persistante après ablation ou chute spontanée du drain, otorrhée chronique et récidivante ...etc) exposant les enfants implantés cochléaires à un risque infectieux surajouté. De plus, la prise en charge de ces complications pourrait retarder l'implantation, et prolonger davantage la période de privation auditive.⁸¹

En se basant sur ce raisonnement, Cevizci et al⁸¹ suggèrent qu'il n'est pas nécessaire de recourir à un traitement chirurgical pour une otite séromuqueuse préalablement à une implantation cochléaire.

Dans les autres formes d'otite moyenne chronique, un acte chirurgical fonctionnel peut être envisagé simultanément avec l'implantation cochléaire à condition que l'oreille soit asséchée (otite moyenne chronique inactive) durant les 6 mois précédent le geste.⁸²

En revanche, la forme active (avec ou sans cholestéatome) est considérée comme étant une contre-indication à l'implantation cochléaire vu le risque de contamination directe des liquides de l'oreille interne et des espaces sous-arachnoïdiens⁸⁰, et il est préférable dans ce cas-

là de retarder l'implantation qui sera réalisée dans un second temps, 3 à 6 mois après un geste chirurgical sur l'otite chronique.⁸²

En présence d'une cavité d'évidement pétro-mastoïdien préexistante ou d'une otite moyenne chronique active et récidivante, il peut être utile de recourir à une pétrectomie subtotale avec exclusion complète de l'oreille moyenne et externe par oblitération de l'orifice la trompe d'eustache, fermeture du conduit auditif externe et comblement de la cavité tympano-mastoidienne par la graisse abdominale ou un lambeau pédiculé du muscle temporal⁸². Cette technique permet de réduire considérablement le risque d'infection et de récidive après l'implantation en créant une cavité isolée, étanche et stérile, ne nécessitant aucun entretien ultérieur⁸². Toutefois, le comblement de cette cavité rend impossible toute surveillance tomodensitométrique à la recherche d'une récurrence d'un cholestéatome développé à partir d'un reliquat épidermique, et même l'IRM (généralement possible avec des aimants 1,5T pour tous les modèles modernes d'implants cochléaires) apporte des informations limitées en raison des artéfacts.^{61,82}

3. 3 Les ossifications cochléaires :

Comme nous l'avons pu le constater dans les chapitres précédents, l'imagerie préopératoire apporte des données utiles concernant la faisabilité du geste, notamment une éventuelle obstruction de la lumière cochléaire par une fibrose ou une ossification séquelleuse pouvant gêner la progression du porte-électrode et entraver son insertion complète et non traumatique.

Cela permet certes au chirurgien d'élaborer une stratégie chirurgicale adaptée en prévoyant les éventuelles difficultés chirurgicales, mais la technique d'insertion optimale ne sera

déterminée, en réalité, qu'en peropératoire en fonction du siège exact et du degré d'extension de l'obstacle.

La figure ci-dessous rappelle brièvement l'anatomie chirurgicale du tour basal de la cochlée, qui nous sera très utile pour mieux comprendre la suite de ce chapitre. (Figure 122)

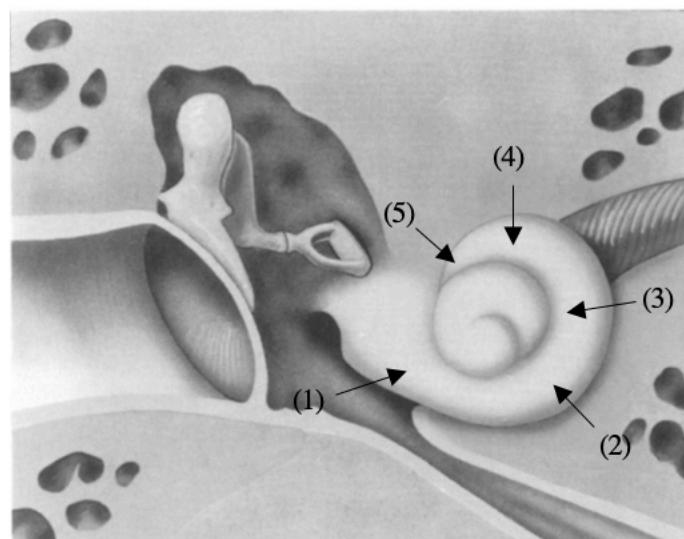


Figure 122 : Segmentation du tour basal de la cochlée. On distingue un segment inférieur (1) relativement rectiligne, et un segment supérieur enroulé constitué de 3 portions : une portion ascendante (3), une portion supérieure (4) et une portion descendante (5). Le virage du premier tour de spire (2) représente la jonction entre ces 2 segments.⁴¹

C'est ainsi que les ossifications cochléaires peuvent être classées schématiquement en 3 catégories⁴¹ :

- 1- Obstruction limitée à la niche de la FR.
- 2- Obstruction limitée au segment inférieur du tour basal de la cochlée.
- 3- Obstruction étendue au segment supérieur du tour basal de la cochlée

Lorsque l'ossification est limitée à la niche de la FR, l'accès à la rampe tympanique via une cochléostomie au promontoire ou après fraisage de la membrane ossifiée est possible sans

difficulté significative^{36,41}. Or, le problème qui se pose est le repérage de la niche et l'identification de la membrane qui peuvent s'avérer difficile dans des situations pareilles⁴¹. Le chirurgien devra alors estimer la localisation de la FR en se basant sur d'autres repères comme l'éminence pyramidale, le tendon du muscle stapédiens, le stapes et le nerf de Jacobson.⁴¹

Dans la 2^{ème} catégorie, situation la plus fréquente, l'oblitération siège au niveau du segment inférieur du tour basal (Figure 123). Il peut s'agir d'un tissu de fibrose, d'une matrice cellulaire légèrement calcifiée ou d'une néo-ossification. Son étendue est variable, et conditionne le choix de la technique chirurgicale.

Lorsqu'elle reste limitée au segment inférieur (8 à 10 mm à partir de la FR) et respecte la zone de jonction avec le segment supérieur, elle peut être enlevée à l'aide d'un crochet ou tunnelisée par une fraise diamantée, jusqu'à ce qu'on arrive à voir une lumière cochléaire perméable permettant une insertion complète des électrodes.

La néo-ossification qui se développe à l'intérieur de la cochlée présente une couleur blanchâtre plus claire que la couleur ivoire de la capsule otique, et une consistance souvent plus friable⁴², ce qui permet de guider la tunnelisation. Tout de même, le chirurgien devra rester vigilant car :

- Un fraisage trop antérieur risque de blesser le canal carotidien, qui est très proche de la cochlée.⁶¹
- Une fraise qui n'est pas bien orientée dans l'axe de la rampe tympanique, peut endommager la lame spirale et la membrane basilaire situés en haut, ou pénétrer une cellule aérienne infra-labyrinthique en bas avec un mauvais placement des électrodes à l'intérieur de celle-ci.⁵⁹

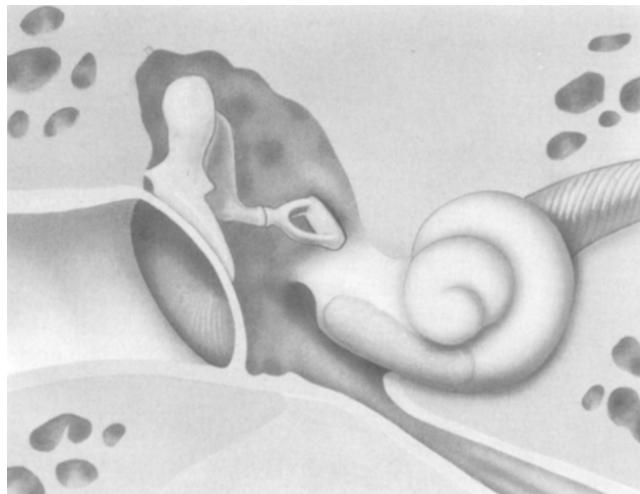


Figure 123 : Ossification cochléaire limitée au segment inférieur avec présence d'une lumière perméable en aval, accessible après fraisage. ⁴¹

Dans la dernière catégorie, l'oblitération s'étend au-delà du virage du premier tour de spire et atteint le segment supérieur à des degrés variables. Après un fraisage initial à travers l'obstacle situé au niveau du segment inférieur du tour basal, si aucune lumière perméable en aval n'est décelable, il faut arrêter la tunnelisation car d'une part, il est actuellement impossible de poursuivre le fraisage en suivant l'enroulement de la cochlée et d'autre part on risque de blesser le canal carotidien.^{41,42}

Ainsi, les alternatives chirurgicales suivantes sont possibles ^{41,61} :

- Insertion partielle après tunnelisation dans le segment inférieur du tour basal. (Figure 124)
- Introduction à travers la rampe vestibulaire qui reste parfois perméable. (Figure 125)
- Utilisation d'un porte-électrode multifaisceaux qui comporte un faisceau introduit de manière classique, à travers la FR ou une cochléostomie, et un 2^{ème} faisceau introduit par une autre cochléostomie au niveau du 2^{ème} tour de la cochlée.

- Petrectomie subtotale et fraisage extensif de la cochlée réalisant un néo-canal circulaire autour du modiolus destiné à admettre le faisceau d'électrodes. (Figure 126)
- Abord sus-pétreux par la fosse cérébrale moyenne, puis fraisage de l'apex cochléaire (cochléostomie apicale) et insertion rétrograde du porte-électrode.

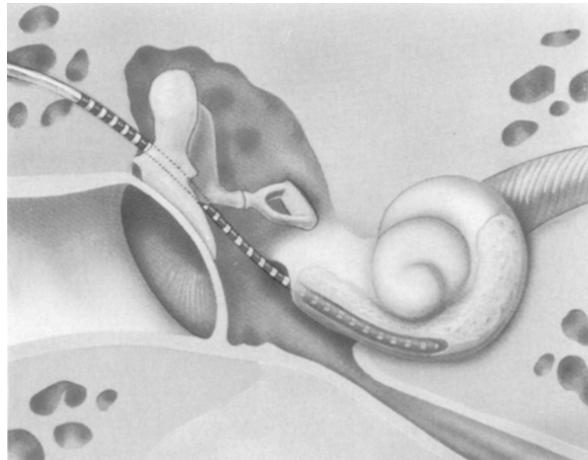


Figure 124 : Insertion partielle après tunnelisation dans le segment inférieur du tour basal de la cochlée.⁴¹

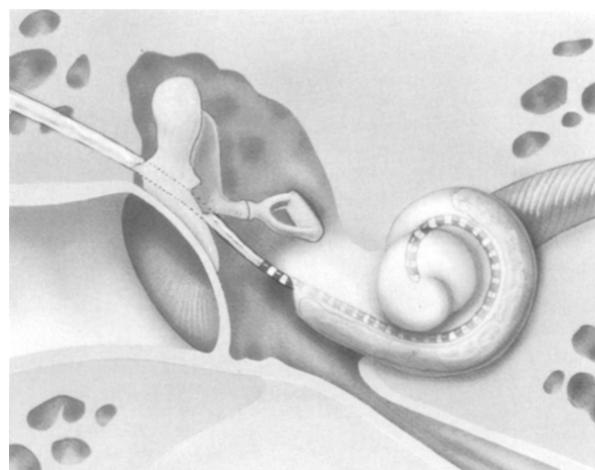


Figure 125 : insertion à travers la rampe vestibulaire.⁴¹

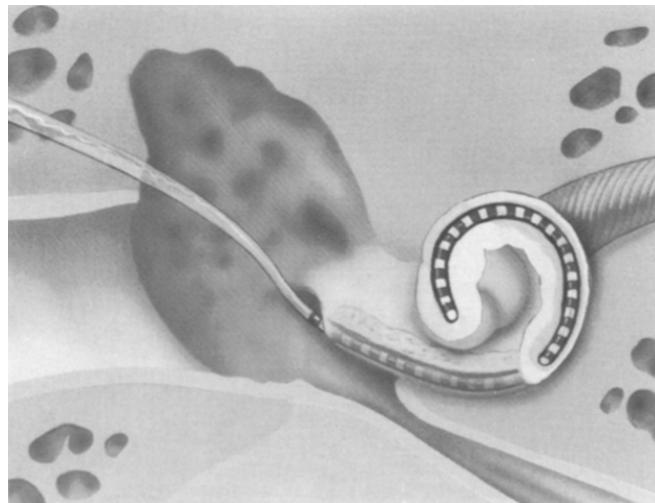


Figure 126 : Fraisage d'un néo-canal circulaire autour du modiolus.⁴¹

3.4 Implantation cochléaire et malformations de l'oreille interne :

L'implantation d'une cochlée malformée constitue un défi majeur pour le chirurgien otologiste. Un certain nombre de contraintes chirurgicales entravent le bon déroulement de la chirurgie et augmentent le risque de complications per et postopératoires.

En présence d'une malformation de l'oreille interne, les principales difficultés pouvant être rencontrées sont⁸:

- 1- Le geyser.
- 2- Les anomalies du trajet du nerf facial.
- 3- Le choix d'un porte-électrode adapté à la morphologie cochléaire.
- 4- Le mauvais placement du porte-électrode.

✚ **Le geyser :**

Le geyser est un écoulement en jet du LCR qui survient à l'ouverture de la cochlée, à travers la fenêtre ronde ou à travers le site de cochléostomie (Figure 127). Son incidence est variable, estimée à 1 % dans une large série portant sur les complications de l'implantation cochléaire⁸⁴, mais nettement plus élevée (jusqu'à 50%) en présence d'une malformation labyrinthique³³.

Le geyser est dû à la présence d'une communication anormale entre les espaces sous-arachnoïdiens et le labyrinthe. Cette communication peut être secondaire à³⁵ :

- Un défaut osseux au niveau de la base du modiolus.
- Une absence complète ou une hypoplasie du modiolus.
- Une dilatation de l'aqueduc de la cochlée qui devient anormalement perméable.

Le LCR circule alors dans l'oreille interne, responsable d'une hyperpression intralabyrinthique.

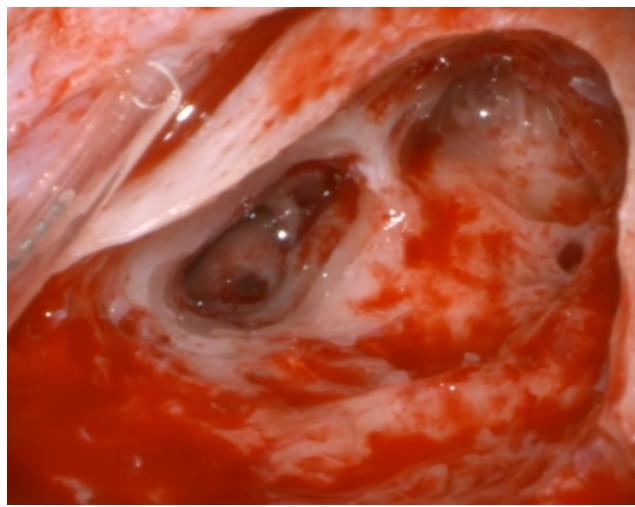


Figure 127 : Écoulement d'un liquide clair après une cochléostomie (Geyser).⁸³

Il s'agit d'une complication redoutable, difficile à gérer en peropératoire car :

- La réflexion de la lumière sur le liquide clair et transparent peut perturber la visualisation du porte-électrode au moment de son insertion.
- Le LCR qui jaillit sous pression s'oppose à la progression du porte-électrode à l'intérieur de la cochlée.
- La fuite de LCR peut être difficile à contrôler, et sa persistance expose le patient à un risque accru de méningite postopératoire.

Son diagnostic est chirurgical, et on peut la retrouver sous 2 formes³⁵ :

La forme sévère :

- Geyser proprement dit ou « *gusher* » chez les anglo-saxons.
- Communication large entre l'oreille interne et l'espace sous-arachnoïdien.
- Écoulement abondant, difficile à arrêter.
- Durée : 10-20min.

La forme modérée :

- « *Oozing* » chez les anglo-saxons.
- Petite communication entre l'oreille interne et l'espace sous-arachnoïdien
- Écoulement intermittent, de faible abondance, qui s'arrête spontanément en quelques minutes.

L'objectif principal de sa prise en charge est de contrôler la fuite du LCR et d'éviter la récidive en postopératoire. Pour ce faire, plusieurs mesures peuvent être entreprises³³ :

a- Taille de la cochléostomie :

La taille de la cochléostomie peut être réduite à celle du diamètre du faisceau d'électrodes, permettant à ce dernier de bloquer l'écoulement du LCR lors de son insertion. Toutefois, certains auteurs préconisent plutôt une cochléostomie large afin de libérer l'accès aux instruments et permettre un packing efficace par des fragments d'aponévrose et/ou de muscle temporal.

b- Timing d'insertion :

La réflexion de la lumière sur le liquide clair et transparent peut empêcher la visualisation du faisceau d'électrodes au moment de son insertion, et le LCR qui jaillit sous pression s'oppose à sa progression à l'intérieur de la cochlée. Il est donc préférable de mettre la tête en positon proclive afin de ralentir le débit d'écoulement, et de laisser couler le LCR jusqu'à ce que le jet devienne intermittent et de faible abondance. C'est à ce moment-là qu'on pourra tenter l'insertion.

c- Colmatage par des tissus mous :

L'application de fragments d'aponévrose et/ou de muscle temporal permet de fermer hermétiquement l'orifice de cochléostomie. Cela est très important, car une fuite de LCR persistante expose le patient au risque de méningite post-opératoire et peut être responsable ultérieurement d'une extrusion lente et progressive du faisceau d'électrodes hors de la cochlée. Le colmatage peut être réalisé par des fragments séparés ou bien par la confection d'un morceau d'aponévrose de forme circulaire (5-6mm de diamètre) et perforé en son centre pour permettre le passage du faisceau d'électrodes. Ce montage agit comme un joint d'étanchéité venant obstruer la cochléostomie en fin d'insertion. (Figure 128)



Figure 128 : confection d'un fragment circulaire d'aponévrose du muscle temporal, qui est monté sur le porte-électrode comme un joint d'étanchéité.⁸³

d- Utilisation d'un porte-électrode personnalisé :

Certains constructeurs proposent des modèles spécialement conçus pour stopper la fuite du LCR en cas de survenue d'un geyser. Un épaulement siliconé sous forme d'un cône tronqué tel un « bouchon de liège » assure l'étanchéité de la cochléostomie en fin d'insertion. (Figure 129)



Figure 129 : Porte-électrode avec un épaulement siliconé de forme conique spécialement conçu pour stopper la fuite de LCR par la cochléostomie⁸⁵.

e- Autres mesures :

Une dérivation lombaire externe, bien que très rarement nécessaire, permet de baisser la pression du LCR en l'évacuant par une autre voie, ce qui favorise la cicatrisation et la fermeture naturelle de la cochléostomie autour du porte-électrode.

Lorsque les mesures décrites ci-dessus restent insuffisantes pour stopper la fuite du LCR, on peut être amené à réaliser une petrectomie subtotale avec isolement et oblitération complète des cavités tympano-mastoidiennes, ce qui permet d'assurer un contrôle efficace de la fuite et d'éviter toute récidive en postopératoire.

► **Les anomalies du trajet du nerf facial :**

Le trajet du nerf facial intra-pétrreux est souvent anormal dans les malformations de l'oreille interne, ce qui peut rendre l'accès chirurgical, par la voie classique de la tympanotomie postérieure, difficile voire impossible, imposant dans les formes les plus sévères, une modification de la technique chirurgicale. Cela justifie son étude minutieuse au vu d'un scanner préopératoire et l'utilisation systématique du monitorage nerveux au cours de l'intervention, chez tous les enfants présentant une malformation labyrinthique.

► **Le choix d'un porte-électrode adapté :**

L'implantation d'une cochlée malformée impose le choix d'un porte-électrode de taille et de forme adaptée à la morphologie cochléaire.

A titre d'exemples : Dans la cavité commune (CC), la taille du porte-électrode doit être adaptée à celle de la cavité : la présence d'une cavité large devrait faire envisager un porte-électrode plus long. La mesure du périmètre (p) de la cavité sur l'imagerie préopératoire selon la formule $p = 2\pi r$ (r = rayon de la cavité) permet au chirurgien d'estimer la longueur du porte-électrode, requise pour une insertion et une stimulation électrique optimale. Dans l'hypoplasie cochléaire, la cochlée est de taille réduite, et le choix d'un porte-électrode trop long ou trop épais pourrait être à l'origine d'une insertion incomplète.

L'imagerie joue donc un rôle essentiel en préopératoire. En précisant le type exact de la malformation, elle permet au chirurgien d'optimiser sa technique chirurgicale en choisissant un porte-électrode adapté.

► **Le mauvais placement du porte-électrode :**

La présence de distorsions dans l'architecture interne du labyrinthe favorise la migration et le mauvais placement du porte-électrode, notamment dans le vestibule, les canaux semi-circulaires, ou dans le conduit auditif interne.

3. 5 Les variantes anatomiques :

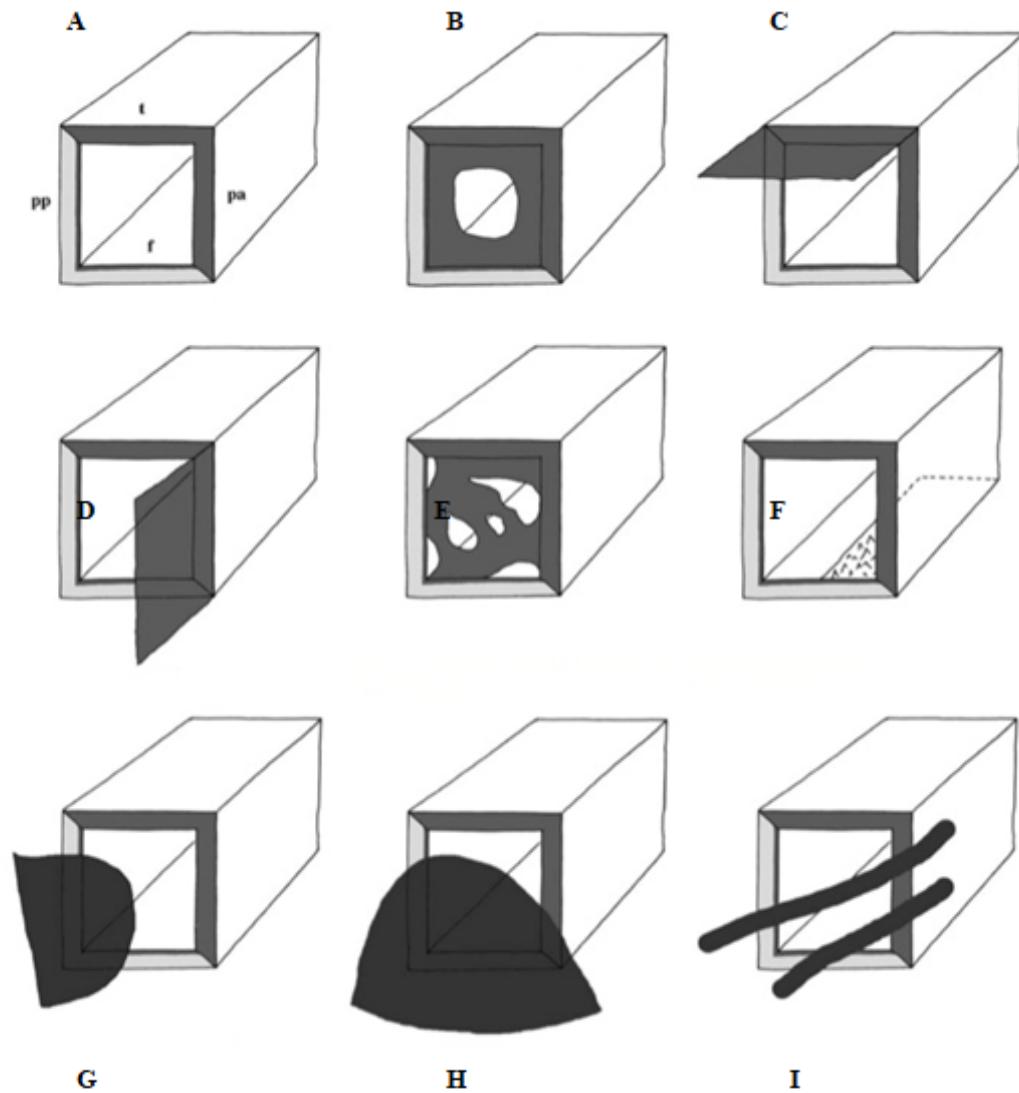
Le sinus sigmoïde est parfois très procident et très superficiel, et peut d'une part être lésé dès les premiers tours de fraise au moment de la mastoïdectomie, et d'autre part, limiter l'accès chirurgical à l'antre et au récessus facial.

La dure-mère temporale peut être procidente en bas réalisant une saille limitant l'accès à l'attique et l'identification de repères chirurgicaux essentiels (CSC latéral et courte apophyse de l'enclume) pour entreprendre les temps opératoires suivants.

Le nerf facial présente parfois un trajet anormal à l'intérieur de l'os temporal. Une grande variété de dispositions anatomiques peut exister, exposant le nerf aux traumatismes iatrogènes, et limitant considérablement l'accès chirurgical à la FR par la voie classique transmastoïdienne avec tympanotomie postérieure, ce qui laisse envisager d'autres alternatives chirurgicales pour poser l'implant dans les meilleures conditions anatomiques possibles.

La morphologie de la niche ainsi que sa situation et son orientation dans l'espace peuvent être également très variables.

Tóth et al.⁸⁶ ont décrit schématiquement 9 types de variantes anatomiques de la niche de la FR. (figure 130⁸⁶)



Dans la figure ci-dessus, l'image (A) représente l'aspect d'une niche normale. On peut lui décrire 4 parois osseuses :

- Supérieure (t) ou « *tegmen* »
- Antérieure (pa) ou « *postis anterior* »
- Postérieure (pp) ou « *postis posterior* »
- Inférieure (f) ou « *fustis* »

L'image (B) montre une atrésie de la FR qui s'observe lorsque toutes ses parois sont épaissies.

L'image (C) montre une procidence du tegmen de la niche.

Dans l'optique d'améliorer la visibilité de la membrane de la FR, un fraisage à ce niveau peut être utile, mais doit rester prudent car on risque d'endommager la lame spirale, ou de pénétrer dans la rampe vestibulaire⁶⁷.

L'image (D) montre une procidence de la paroi antérieure, réalisant un véritable septum masquant partiellement l'entrée de la niche.

Les aspects morphologiques illustrés par les images (C) et (D) seraient le résultat d'une inégalité de croissance des parois de la niche, au cours du développement embryonnaire.

Plus rarement la niche est recouverte par une pseudomembrane, qui est parfois ossifiée.

(Image E)

Dans l'image (F), le fustis ainsi que le plancher de la rampe tympanique sont absents, réalisant une communication directe entre la rampe tympanique et les cellules aériennes infralabyrinthiques.

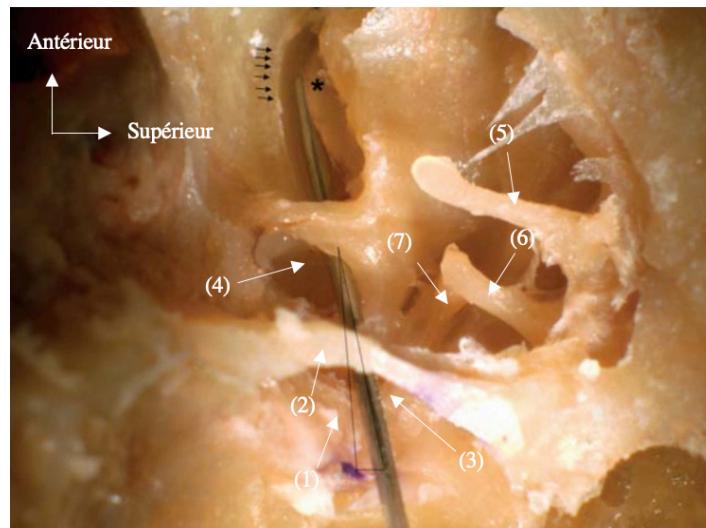
D'autres structures adjacentes, en dehors de la niche, peuvent également modifier sa morphologie :

- Une exostose (image G) peut dévier la trajectoire d'insertion du faisceau d'électrodes.
- Le dôme de la VJI, lorsqu'il est haut situé, peut cacher complètement l'entrée de la niche
(Image H)
- La niche peut également être recouverte par des trabécules de taille variable (image I)

Par ailleurs, certains processus pathologiques (traumatismes du rocher, otospongiose, cholestéatome, tumeurs du rocher, ...etc) peuvent aussi être responsables d'une altération de morphologie de la niche⁸⁶.

Même en présence d'une niche d'aspect normal, cette dernière peut siéger en position très postérieure, ce qui la rend inaccessible à travers la tympanotomie postérieure.

Pour terminer, la FR peut être orientée vers le bas dans un plan horizontal, ce qui impose au chirurgien, au moment de l'insertion, de diriger son faisceau d'électrodes vers le haut, pour accéder à la rampe tympanique, mais cela risque de traumatiser la membrane basilaire et la lame spirale. L'idéal serait une orientation postérieure de la niche dans un plan vertical, faisant face au récessus facial, ce qui permet une insertion dans l'axe de la rampe tympanique du tour basal⁸⁷. (Figure 131)



(1) : nerf facial, (2) : corde du tympan, (3) : récessus facial ouvert (tympanotomie postérieure), (4) : niche de la FR, (*): lame spirale, (5) : manche du marteau, (6) : branche descendante de l'enclume, (7) : étrier.

Figure 131 : La niche de la FR est orientée en arrière dans un plan vertical, faisant face au récessus facial, permettant une insertion dans l'axe de la rampe tympanique du tour basal. Ici, le conduit auditif externe et la membrane tympanique sont retirés et le tour basal de la cochlée (flèches noires) est exposé.

Lorsque les conditions anatomiques ne sont pas favorables, plusieurs alternatives chirurgicales sont possibles⁸⁸:

- Voie transcanalaire (élévation d'un lambeau tympano-méatal avec ou sans atticotomy transcanalaire)
- Voie combinée (transmastoïdienne et transcanalaire)
- Évidement pétro-mastoïdien en sacrifiant le mur postérieur du conduit osseux avec éventuelle reconstruction.
- Pétrexie subtotale.
- Abord sus-pétrœux.

III. Corrélations radio-chirurgicales de l'implantation cochléaire :

1. La Mastoïdectomie :

Dans notre série, 3 paramètres, pouvant avoir un impact sur le bon déroulement de ce premier temps opératoire, ont été étudiés :

- 1 – Le degré de pneumatisation des cavités mastoïdiennes.
- 2 – La position du sinus sigmoïde.
- 3 – La position de la dure-mère temporale.

1.1 La pneumatisation des cavités mastoïdiennes :

Les résultats de notre étude démontrent qu'il existe une corrélation significative entre les données de l'imagerie et celles de la chirurgie, en ce qui concerne la pneumatisation des cavités mastoïdiennes, (accord excellent, $k=0,92$).

Notre analyse objective également qu'en présence d'une mastoïde non aérée, la durée de l'intervention est plus longue, et le degré de difficulté annoté à la mastoïdectomie est plus élevé. En effet, dans une mastoïde non aérée :

- Le fraisage de l'os devient laborieux
- L'identification des repères classiques est naturellement plus difficile, car leurs reliefs sont effacés.
- Le risque de blesser accidentellement un organe noble (dure-mère temporale, sinus sigmoïde, nerf facial, labyrinthe postérieur) est plus élevé.

Les résultats de notre série concordent parfaitement avec ceux de la littérature :

Dans leur étude, Alam-Eldeen et al¹⁸ ont distingué **4** types de structures mastoïdiennes :

- Pneumatique
- Diploïque
- Mixte
- Éburnée ou sclérotique

Le type de pneumatisation constaté en peropératoire, a été prédit correctement par le scanner des rochers, chez **94%** de leurs patients.

Hashemi et al⁸⁹ affirment que la TDM reste un outil très fiable, pour l'évaluation préopératoire des rapports anatomiques entre les différents repères chirurgicaux, dont l'identification est essentielle dans une mastoïdectomie, à savoir l'antre mastoïdien, le sinus sigmoïde, le tegmen, le mur postérieur du conduit osseux, le CSC latéral et la courte apophyse de l'enclume. Ils ont démontré dans leur travail, que les distances mesurées entre ces différentes structures, sur la TDM, étaient semblables à celles mesurées en peropératoire.

A titre d'exemple :

- La distance entre la courte apophyse de l'enclume et la corticale mastoïdienne externe.
- La distance entre le CSC latéral et la corticale mastoïdienne externe.

Dans certaines situations, où l'identification des repères classiques devient difficile (otomastoïdite chronique, malformations, antécédent de chirurgie otologique...etc), la fiabilité de ces 2 mesures permettrait au chirurgien d'estimer la profondeur qu'il ne devrait pas dépasser au moment du fraisage pour ne pas blesser le labyrinthe postérieur et le coude du nerf facial.

Par ailleurs, et en confrontant les données de l'imagerie à celles de la chirurgie, Park et al¹⁴ ont conclu qu'un défaut d'aération des cavités mastoïdiennes était significativement lié à un degré de difficulté plus élevé au moment de la mastoïdectomie ($\chi^2 = 26,7$; $p < 0,001$).

De la même manière, Woolley et al¹⁷ ont constaté qu'en présence d'une mastoïde non aérée, la durée de la chirurgie était plus longue, mais contrairement à ce qui devrait être attendu, cela n'avait aucun effet sur le taux de complications peropératoires.

1.2 La position du sinus sigmoïde :

Les résultats de notre série démontrent qu'il existe une concordance significative entre les données de l'imagerie et celles de la chirurgie, en ce qui concerne l'évaluation de la position du sinus sigmoïde, (accord excellent, $k = 0,85$), et semblent être cohérents avec ceux d' d'Alam-Eldeen et al¹⁸ qui montrent que l'emplacement du SS, a pu être déterminé de manière fiable, par le scanner, en préopératoire, chez 72% de leurs patients.

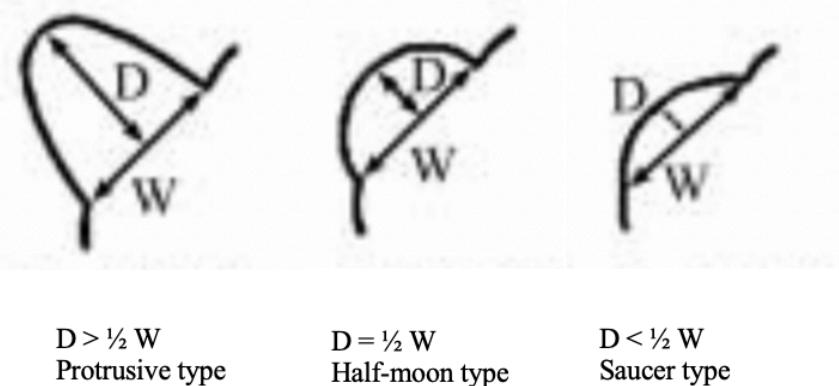
Par contre, les résultats avancés par Hashemi et al⁸⁹, ne semblent pas être compatibles avec les nôtres, et montrent des discordances entre l'imagerie et la chirurgie. Dans leur étude, Hashemi et al⁸⁹ ont pris des mesures entre le bord antérieur du SS et l'épine de Henlé, sur le scanner puis en peropératoire, et en comparant les données de l'imagerie à celles de la chirurgie, ils ont constaté une différence statistiquement significative entre ces deux. Ce contraste peut être expliqué par le degré d'exposition chirurgicale du SS qui est souvent suboptimal. En effet, lors de sa squelettisation, le SS reste protégé par sa coque osseuse, ce qui pourrait sous-estimer les mesures réalisées en peropératoire.

Nos résultats démontrent également qu'en présence d'une procidence du SS, la chirurgie est plus longue, et plus difficile.

En effet, le SS constitue le bord postérieur du triangle d'attaque classique lors du fraisage de la corticale mastoïdienne, et sa procidence peut d'une part, limiter l'accès chirurgical à l'antre mastoïdien, et d'autre part, accroît le risque d'hémorragie profuse par effraction de sa coque osseuse.

L'étude des variantes anatomiques du SS, et de leur impact chirurgical sur la voie transmastoïdienne ont fait l'objet de plusieurs travaux dans la littérature :

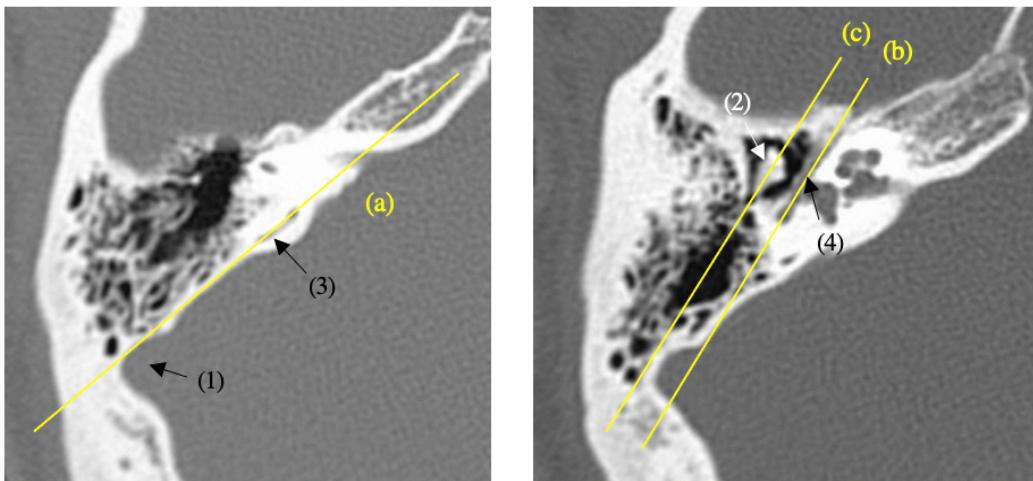
Ichijo⁹⁰ et al ont établi une classification radiologique qui permet de différencier 3 formes du SS, en mesurant ses dimensions sur des coupes scannographiques axiales du rocher passant par la niche de la FR (Figure 132).



Selon Sun et al¹⁶, cette classification est basée uniquement sur la forme du SS, et ne permet pas de déterminer sa position ni ses rapports avec les structures adjacentes à l'intérieur de l'os temporal. Or, pour qu'une classification ait une signification chirurgicale, elle doit inclure des repères anatomiques bien établis, et présenter une corrélation avec le degré de difficulté pouvant être rencontré en peropératoire.

De ce fait, Sun et al¹⁶ ont proposé une nouvelle classification permettant de distinguer 4 types de variantes anatomiques du SS.

La figure ci-dessous illustre et explique brièvement cette classification : (Figure 133)



TDM du rocher droit en coupes axiales : (1) : sinus sigmoïde, (2) : articulation incudo-malléaire (aspect en « cornet de glace »), (3) : CSC postérieur, (4) : 2^{ème} portion du nerf facial intra-pétrœux.

- Ligne (a) : prolongeant en arrière le CSC postérieur
- Ligne (b) : prolongeant en arrière la portion tympanique du nerf facial
- Ligne (c) : tracée dans l'axe de l'articulation incudo-malléaire.

En prenant ces 3 lignes comme plans de référence, Sun et al⁸ ont défini 4 types de variantes anatomiques :

- Type 1 : le sinus sigmoïde reste en dedans et en arrière de la ligne (a)
- Type 2 : le sinus sigmoïde est situé entre (a) et (b)
- Type 3 : le sinus sigmoïde est situé entre (b) et (c)
- Type 4 : le sinus sigmoïde dépasse la ligne (c) en antérolatéral.

Figure 133 : Classification des variantes anatomiques du SS selon Sun et al.

Ainsi, en prenant comme référence des repères chirurgicaux pertinents, cette nouvelle classification, fourni au chirurgien otologiste une idée sur la faisabilité de la voie rétro-auriculaire transmastoïdienne, lorsque le sinus sigmoïde est procident.

Mandour et al⁹¹ ont mis cette méthode à l'épreuve, et ont démontré dans leur étude, en comparant les données de l'imagerie aux constations peropératoires, que les types 3 et 4 étaient significativement associés à une mastoïdectomie plus difficile, ce qui rejette notre constat.

La méthode que nous avons utilisé dans notre étude, pour évaluer la position du SS en préopératoire, est celle qui a été proposée initialement par Júnior al⁵, et consiste à mesurer directement la distance entre le bord antérieur du SS, et le mur postérieur du CAE, sur des coupes scannographiques axiales du rocher. Les résultats de Júnior al⁵, soutiennent ceux de notre série, et montrent qu'une mesure inférieure à **9 mm** est un facteur prédictif de difficultés lors de la mastoïdectomie.

En réalité, cette distance correspond à l'espace à travers lequel se fera l'abord chirurgical de l'antre et du récessus facial. On peut donc en déduire que lorsque cet espace devient étroit, l'accès est plus difficile.

Park et al ¹⁴ quant à eux, ont proposé une autre méthode qui consiste à mesurer, sur le scanner des rochers en coupes axiales, la distance entre le bord antérieur du SS et une ligne reliant la fenêtre ronde (*) à la portion mastoïdienne du nerf facial. (Figure 134).

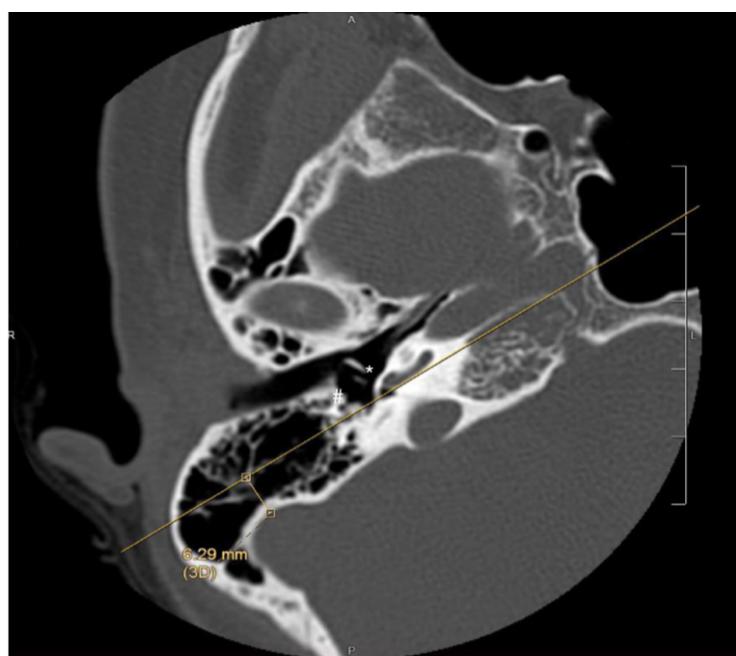


Figure 134 : TDM du rocher droit en coupe axiale montrant la distance entre le bord antérieur du SS et une ligne reliant la FR (*) à la portion mastoïdienne du nerf facial (#).¹⁴

Les résultats de Park et al¹⁴ contrastent avec ceux de notre étude, et montrent qu'il n'existe aucune relation statistiquement significative entre la position du SS, et le degré de difficulté rencontré en peropératoire. Cela peut être expliqué par le fait que, dans la chirurgie de l'implantation cochléaire, au moment de la mastoïdectomie, la zone de fraisage reste à distance du bord antérieur du SS, et le volume de la cavité est relativement limité, contrairement à une mastoïdectomie réalisée pour traiter un cholésteatome, ou pour aborder un neurinome de l'acoustique par voie translabyrinthique, qui nécessite la mise à plat de l'ensemble des cellules mastoïdiennes et la squelettisation du tegmen en haut et le SS en arrière.

1.3 La position de la dure-mère temporale :

L'analyse des résultats de notre étude, montre qu'il existe un bon degré d'accord entre le scanner et la chirurgie, dans l'évaluation de la position de la dure-mère temporale ($k=0,72$). La TDM des rochers a une faible valeur prédictive positive (66,7%), mais garde néanmoins une spécificité et une valeur prédictive négative élevées (98,8% et 99,2% respectivement). En d'autres termes, le scanner semble être plus performant pour détecter des conditions anatomiques favorables (dure-mère en position normale), ce qui peut être utile pour la sélection du coté à opérer.

Dans l'ensemble, nos résultats sont comparables à ceux d'Alam-Eldeen et al¹⁸ qui montrent que l'emplacement de la dure-mère temporale a pu être déterminé de manière fiable, en préopératoire, par le scanner, chez 98% de leurs patients (98,1% dans notre série).

L'analyse de nos résultats a démontré également qu'en présence d'une procidence de la dure-mère temporale, la chirurgie devient plus longue et plus difficile, ce qui concorde parfaitement avec les données de la littérature.

En effet, lorsque la dure-mère est procidente en bas, elle réalise une saillie plus ou moins importante, limitant l'accès à l'antre et à l'attique, ce qui peut gêner la visualisation de certains repères chirurgicaux essentiels (CSC latéral et courte apophyse de l'enclume), pour localiser le nerf facial, et entreprendre les étapes chirurgicales suivantes. De plus, cette procidence expose également la dure-mère, à une effraction malencontreuse dès le début du fraisage, et l'absence de repères en profondeur, accroît le risque de blessure iatrogène du nerf facial et du labyrinthe postérieur.

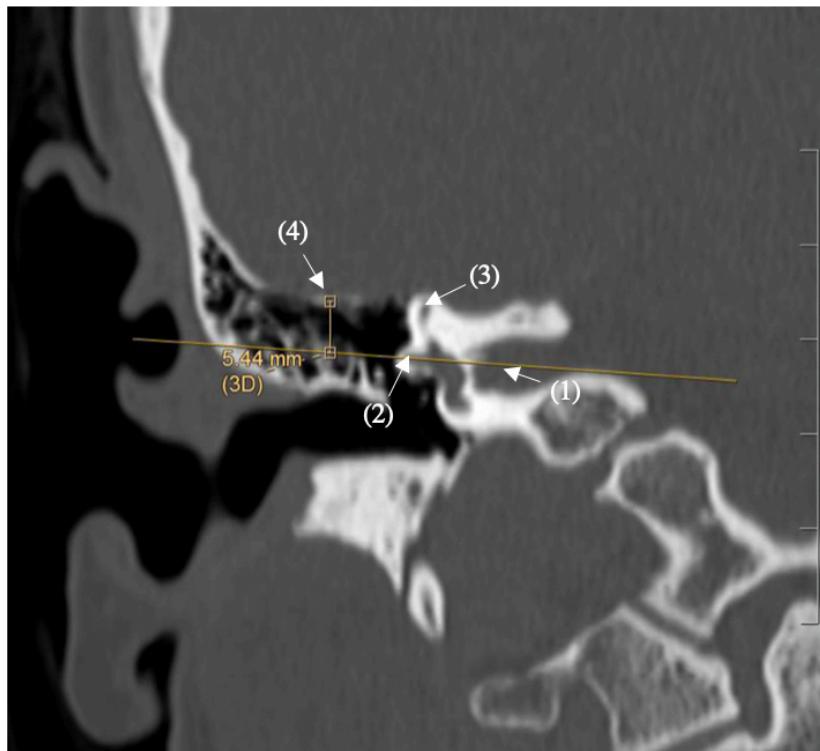
La méthode que nous avons utilisé dans notre étude, pour évaluer la position de la dure-mère en préopératoire, est celle qui a été proposée initialement par Júnior al⁵, et consiste à mesurer la distance entre le tegmen, et le bord supérieur de la pyramide pétrouse, sur des coupes coronales passant par le CAI. Les résultats de Júnior al⁵, corroborent ceux de notre série, et montrent qu'une mesure supérieure à **7 mm** est un facteur prédictif de difficultés lors de la mastoïdectomie.

En utilisant cette même méthode, Mandour et al⁹¹ ont aussi conclu que la procidence de la dure-mère temporale était significativement liée à un degré de difficulté plus élevé, au moment de la mastoïdectomie. En effet, dans leur étude, Mandour et al⁹¹ ont classé leurs patients en 3 groupes, selon le degré de difficulté rencontré en peropératoire (groupe 1 : aucune difficulté, groupe 2 : difficulté modérée, et groupe 3 : difficulté élevée), et ont constaté que la distance mesurée sur le scanner, entre le tegmen et le bord supérieur de la pyramide pétrouse, était significativement plus élevée dans le groupe 3 comparé au groupe 1.

En suivant le même principe, Park al¹⁴ ont utilisé une méthode similaire, qui consiste à mesurer sur la même coupe scannographique précédemment décrite, la distance entre le tegmen et un plan horizontal passant par le CSC latéral (Figure 135), et en confrontant les données de

l'imagerie à celles de la chirurgie, ils ont démontré à leur tour qu'en présence d'une procidence de la dure-mère, le degré de difficulté annoté à la mastoïdectomie était plus élevé.

La méthode proposée par Park al¹⁴ semble plus adaptée, car elle prend en compte un repère anatomique important : le CSC latéral, dont l'identification est essentielle, pour prévenir une effraction du labyrinthe postérieur, et localiser le coude du nerf facial. De ce fait, lorsque la distance mesurée entre le tegmen (dure-mère temporale) et le CSC latéral diminue, le degré de difficulté perçu par le chirurgien sera naturellement plus élevé.



(1) : CAI, (2) : CSC latéral, (3) : CSC supérieur, (4) : Tegmen

Figure 135 : TDM du rocher droit en reconstruction coronale montrant la distance entre le tegmen et le CSC latéral.¹⁴

2. La tympanotomie postérieure :

Dans notre série, 3 paramètres principaux, pouvant avoir un impact sur le degré de faisabilité de la tympanotomie postérieure ont été étudiés :

- 1- Le trajet de la 3^{ème} portion du nerf facial.
- 2- La présence/absence de cellules aériennes en regard du récessus facial.
- 3- La position du sinus sigmoïde.

2. 1 Le trajet de la 3^{ème} portion du nerf facial :

Le nerf facial intra-pétreux, dans sa portion mastoïdienne, constitue la limite médiale du récessus facial, ce qui l'expose à un risque de blessure iatrogène au moment de la tympanotomie postérieure. Ce risque est bien documenté dans la littérature, et d'autant plus élevé que le nerf présente un canal osseux déhiscent ou un trajet intra-pétreux anormal²¹.

Le nerf facial peut présenter un trajet :

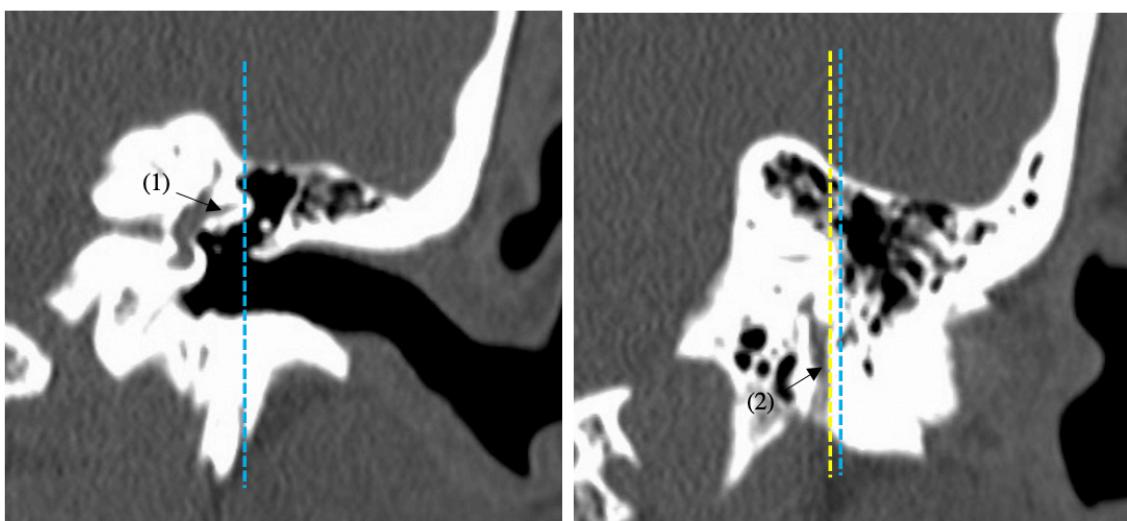
- Antérieur : compromettant l'accessibilité de la FR à travers le récessus facial.
- Postérieur : susceptible d'être lésé à l'ouverture de l'antre mastoïdien.
- Latéral : réduit considérablement la largeur du récessus facial, et peut compromettre la faisabilité de la tympanotomie postérieure.
-

Dans notre étude, nous avons rapporté un seul cas, où le récessus facial était trop étroit dû à la présence d'un déplacement latéral de la 3^{ème} portion du nerf facial. La largeur du récessus facial, mesurée sur la TDM des rochers en coupes axiales, était de **2,6mm**. En peropératoire nous étions contraints d'élargir la tympanotomie postérieure, en sacrifiant la corde du tympan, pour une meilleure exposition chirurgicale du promontoire et de la FR. Après élargissement, la largeur de la tympanotomie postérieure était toujours insuffisante pour repérer

la FR, et trop étroite pour la réalisation d'une cochléostomie au promontoire. Nous avions donc décidé de changer la voie d'abord en utilisant une voie transcanalaire, avec élévation d'un lambeau tympano-méatal.

Nous pouvons donc déduire qu'un trajet latéral de la portion mastoïdienne du nerf facial, sur la TDM des rochers, pourrait être un facteur prédictif de difficultés chirurgicales lors de la tympanotomie postérieure. Néanmoins, le nombre de cas rapportés dans notre série (1 seul) reste insuffisant pour confirmer cette hypothèse.

Dans le but d'évaluer l'impact du trajet du nerf facial sur la faisabilité de la tympanotomie postérieure, Telmesani et Alrammah⁹² ont proposé une classification radiologique, qui permet d'étudier le déplacement latéral de sa portion mastoïdienne, sur la TDM des rochers en reconstructions coronales, et en prenant comme repère : le CSC latéral. Pour cela, ils ont tracé 2 lignes, une qui passe par le bord latéral du CSC latéral et l'autre par le bord latéral de la 3^{ème} portion du canal facial. (Figure 136)



TDM du rocher gauche en reconstructions coronales :

(1) : CSC latéral, (2) : segment mastoïdien du canal facial.

La ligne en pointillé bleu représente le bord latéral du CSC latéral alors que celle en pointillé jaune représente le bord latéral du segment mastoïdien du canal facial.

Figure 136 : Méthode radiologique utilisée dans la classification de Telmesani.⁹²

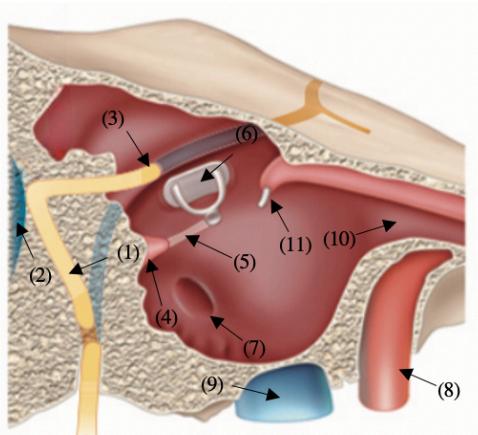
De ce fait, la position du segment mastoïdien du canal facial peut être classée en 3 types :

- Type I : en dedans du CSC latéral.
- Type II : au même niveau que le CSC latéral.
- Type III : en dehors du CSC latéral.
 - IIIa : < 2mm.
 - IIIb : > 2mm.

En corrélant les résultats de cette classification aux données chirurgicales, Telmesani et Alrammah⁹² ont pu démontrer qu'il existe une association statistiquement significative ($p<0,001$) entre la localisation de la portion mastoïdienne du nerf facial, par rapport au CSC latéral, sur le scanner, et la voie d'abord chirurgical utilisée pour exposer la FR. En effet, dans le type IIIb, l'accès à la FR via la tympanotomie postérieure, était impossible (récessus facial trop étroit), imposant le recours à d'autres alternatives chirurgicales (voie transcanalaire ou combinée avec élévation d'un lambeau tympano-méatal).

Les résultats de Telmesani et Alrammah⁹² confirment notre constat, mais la méthode utilisée dans leur classification, reste difficile à appliquer en pratique courante, et nécessite une étude sur console, vu que les 2 structures étudiées ne figurent pas sur la même coupe scannographique.

Dans notre série, nous n'avons noté aucun cas de protrusion du nerf facial dans l'antre mastoïdien (trajet postérieur), et par conséquent, l'effet que peut avoir cette configuration anatomique, sur le déroulement de la chirurgie, n'a pas été étudié. Néanmoins, d'un point de vue théorique, le coude du nerf facial réalise, chez certains patients, une sorte de boucle postérieure, qui peut s'étendre en arrière jusqu'au SS²⁰ (Figure 137) , et l'accès à l'antre devient naturellement plus difficile, en raison du risque élevé, de blessure nerveuse.



(1) : portion mastoïdienne du nerf facial, (2) : sinus sigmoïde, (3) : portion tympanique du nerf facial, (4) : éminence pyramidale, (5) : tendon du muscle stapédiens (6) : stapes, (7) : fenêtre ronde, (8) : carotide intra-pétreuse, (9) : golfe de la veine jugulaire, (10) : trompe d'eustache, (11) : processus cochléariforme et tendon du muscle tensor tympani

Figure 137 : Trajet anormal de la portion mastoïdienne du nerf facial réalisant une boucle postérieure arrivant au contact du SS.

Notons enfin que les protrusions antérieures de la 3^{ème} portion du nerf facial, seront traitées et corrélés, dans un chapitre ultérieur, avec la visibilité de la FR.

2. 2 La pneumatisation du récessus facial :

Les résultats de notre étude, montrent que l'absence de cellules aériennes dans le récessus facial, sur le scanner, est significativement liée à un accès chirurgical difficile lors de la tympanotomie postérieure ($p<0,001$), et concordent parfaitement avec ceux de Mandour et al⁹¹ ($p<0,001$).

Park et al¹⁴ adhèrent également à nos résultats, et démontrent dans leur travail que la présence/absence de cellules aériennes dans le récessus facial est significativement liée au degré de difficulté annoté en peropératoire à la tympanotomie postérieure ($p=0,05$).

La présence d'une cellule mastoïdienne latéralement à la 3^{ème} portion du nerf facial, constitue un repère pratique et fiable, qui permet de mener à bien la tympanotomie postérieure en toute sécurité. Elle indique la localisation du récessus facial, annonce l'ouverture de la caisse,

et permet au chirurgien de poursuivre le fraisage sans danger pour le nerf facial et la corde du tympan⁹³.

Dans le cas contraire, lorsque cette cellule aérienne est absente, elle est remplacée par de l'os, et par conséquent : le repérage du canal facial et de la corde du tympan ainsi que l'ouverture du récessus facial deviennent plus compliqués.

2.3 Le sinus sigmoïde :

Dans notre étude, afin d'évaluer la position du SS, en préopératoire, nous avons mesuré, sur la TDM des rochers en coupes axiales, la distance entre son bord antérieur et le mur postérieur du CAE : la distance minimale mesurée était de **7 mm**.

Tomura et al⁹⁴ ont rapporté dans leur étude, que cette même distance était presque nulle chez **1,6%** de leurs patients. Dans une situation pareille, le sinus sigmoïde est tellement procident en avant qu'il arrive presque en contact avec le mur postérieur du conduit osseux, et risque d'entraver complètement l'accès chirurgical à l'antre et au récessus facial^{17,95} (Figure 138)

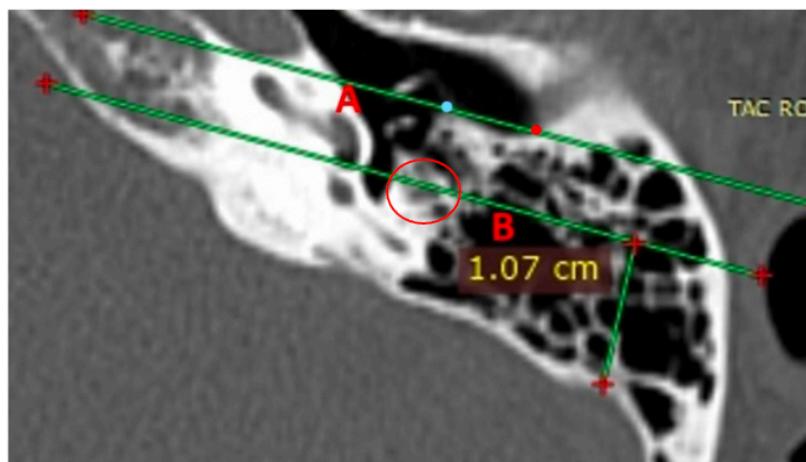


Figure 138 : TDM du rocher droit en coupe axiale, montrant une importante procidence du SS. L'accès à l'antre et au récessus facial par voie transmastoïdienne est impossible.⁹⁴

Dans le but d'étudier l'effet que peut avoir une procidence du SS sur la faisabilité de la tympanotomie postérieure, Galal et al¹⁵ ont utilisé 3 méthodes radiologiques permettant de déterminer la position du sinus en préopératoire, ensuite ils ont corrélé les données de l'imagerie aux constatations chirurgicales. Les 2 premières méthodes sont respectivement celles de Park et al¹⁴, et Sun et al¹⁶, que nous avons précédemment décrites. La 3^{ème}, proposée par Galal et al¹⁵, consiste dans un premier temps à tracer 2 lignes sur une coupe scannographique axiale du rocher :

- Une première ligne passant par le mur postérieur du CAE.
- Une deuxième ligne parallèle à la précédente, et qui passe par le bord antérieur du segment mastoïdien du nerf facial.

Ainsi, la distance entre bord antérieur du SS et cette deuxième ligne est mesurée. (Figure 139)



TDM du rocher gauche en coupe axiale.

- Ligne A : mur postérieur du conduit osseux
- Ligne B : bord antérieur de la 3^{ème} portion du nerf facial (parallèle à la ligne A).

La distance entre le bord antérieur du sinus sigmoïde et la ligne B est mesurée.

Figure 139 : Méthode radiologique proposée par Galal et al pour déterminer la position du sinus sigmoïde.¹⁵

Dans l'étude de Galal et al¹⁵, l'analyse statistique montre que la classification de Sun et al¹⁶ n'est pas significative ($p=0,091$). En effet, cette méthode peut être affectée par les variantes anatomiques du trajet de la portion tympanique du nerf facial.

En revanche, il existe une forte corrélation entre les mesures tomodensitométriques obtenues par la méthode de Park et al¹⁴, et le degré de difficulté chirurgicale rencontré lors de la tympanotomie postérieure ($p<0,001$). Cette méthode reste toutefois sujette à une variabilité non négligeable, car elle prend comme point repère : la FR, dont la position varie en fonction de l'angle de rotation du tour basal de la cochlée. De surcroit, cette méthode fournit des valeurs négatives, lorsque le SS est très procident et dépasse en avant la ligne de référence.

D'un autre côté, il existe également une corrélation significative entre les mesures obtenues par la méthode de Galal et al¹⁵, et le degré de difficulté annoté à la tympanotomie postérieure ($p <0,001$), avec une valeur seuil de **2,46mm**. En d'autres termes, lorsque la distance mesurée par cette méthode est inférieure à ce seuil, il y a une forte probabilité que la tympanotomie postérieure ne soit pas faisable, et il faudrait par conséquent penser à une autre voie d'abord chirurgicale. Cette méthode présente l'avantage de ne pas être affectée par la variabilité du trajet de la portion tympanique nerf facial, ni par la position de la FR, et inclue 2 repères essentiels, et déterminants pour le degré de faisabilité de la tympanotomie postérieure à savoir :

- Le mur postérieur du CAE
- La 3^{ème} portion du nerf facial.

Dans notre série, nous n'avons relevé aucun cas de procidence qui puisse entraver l'accès chirurgical au récessus facial, et par conséquent nous n'avons pas pu étudier cette hypothèse.

3. La visibilité de la FR :

L'exposition chirurgicale et la visualisation peropératoire adéquate de la fenêtre ronde (FR) est une étape fondamentale dans la chirurgie de l'implantation cochléaire, qui conditionnera la suite de l'intervention. En effet, le choix de la technique d'insertion dépend essentiellement de l'accessibilité de la FR. Néanmoins, le repérage de la niche et la visualisation de la membrane de la FR sont parfois difficiles, en raison de la grande variabilité que présente cette dernière en termes de morphologie, de dimensions, d'orientation et de situation dans l'espace. De plus, la FR contracte également des rapports complexes avec certaines structures adjacentes (portion mastoïdienne du nerf facial, golfe de la veine jugulaire interne...etc) qui peuvent compromettre son accessibilité à travers le récessus facial.

L'imagerie joue alors un rôle important en préopératoire, et permet au chirurgien d'anticiper les éventuelles difficultés d'accès chirurgical à la FR pouvant être rencontrées durant l'intervention.

Dans notre série, 5 paramètres susceptibles d'affecter la visibilité et l'accessibilité de la FR à travers la tympanotomie postérieure ont été étudiés :

- 1- Le trajet de la 3^{ème} portion du nerf facial
- 2- L'orientation du CAE
- 3- La largeur du récessus facial
- 4- L'orientation de la niche
- 5- La position de la FR

Nous tenons à préciser que les variations des dimensions de la niche, étant d'ordre infra-millimétrique, et par conséquent difficiles à apprécier avec précision, n'ont pas été abordés dans notre travail.

3. 1 Trajet de la 3^{ème} portion du nerf facial :

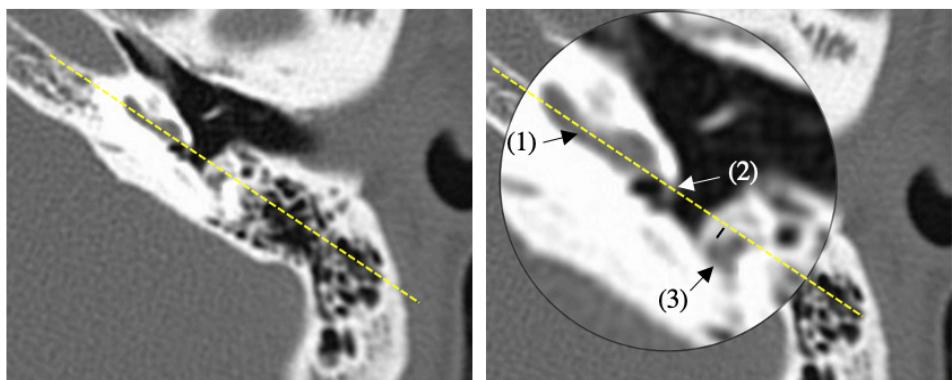
Les résultats de notre série montrent qu'il existe une concordance significative entre le scanner et la chirurgie dans l'étude du trajet du nerf facial (accord excellent, $k=0,88$). Parmi les 22 cas de procidence (trajet antérieur) de la 3^{ème} portion du nerf facial notés sur le scanner, 21 ont été confirmés en peropératoire.

Nos résultats sont compatibles avec ceux d'Alam-Eldeen et al¹⁸ qui montrent que le l'emplacement de la 3^{ème} portion du nerf facial a pu être déterminé de manière fiable, sur le scanner, en préopératoire, chez 82% de leurs patients (98,1% dans notre série).

L'analyse de nos résultats montre également qu'il existe une corrélation statistiquement significative entre le trajet de la portion mastoïdienne du nerf facial et l'accessibilité de la FR ($p<0,001$) : Un trajet antérieur constitue un facteur prédictif de mauvaise exposition chirurgicale. En effet, lorsque le nerf facial est procident, son canal osseux surplombe la niche, et empêche la visualisation de cette dernière à travers la tympanotomie postérieure.

L'étude des variantes anatomiques du trajet de la 3^{ème} portion du nerf facial, et de leurs implications chirurgicales a fait l'objet de nombreuses études dans la littérature :

Dans le but de déterminer la localisation du nerf facial intra-pétreux dans sa portion mastoïdienne, en préopératoire, Kashio⁹⁶, Rajati⁹⁷, et Fouad⁹⁸ ont proposé de mesurer, sur des coupes scannographiques axiales, la distance entre son bord antérieur et une ligne de référence prolongeant en arrière l'axe longitudinal du tour basal de la cochlée (Figure 140).



(1) : Tour basal de la cochlée, (2) : niche de la FR, (3) : 3^{ème} portion du canal facial

Figure 140 : TDM du rocher gauche en coupes axiales montrant la distance entre le bord antérieur de la 3^{ème} portion du canal facial et l'axe longitudinal de la cochlée.

Kashio⁹⁶ et Fouad⁹⁸ ont constaté qu'il existe une corrélation significative entre la distance mesurée, et le pourcentage de la membrane de la FR visible en peropératoire ($p<0,01$ et $p<0,001$ respectivement), ce qui confirme les résultats de notre étude.

En réalité, cette distance traduit le degré de proximité de la 3^{ème} portion du canal facial avec la FR. Elle peut prendre des valeurs très basses, voire nulles ou négatives (Figure 141) témoignant d'un trajet très antérieur du canal facial qui déborde en avant sur la FR, et entrave la visualisation et l'accès chirurgical à cette dernière, à travers la tympanotomie postérieure.

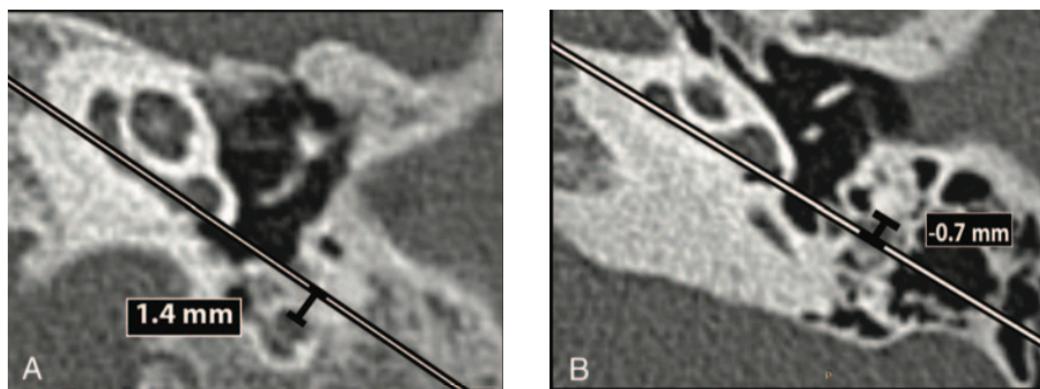


Figure 141 : TDM du rocher gauche en coupes axiales objectivant un nerf facial en position normale, siégeant en arrière de la ligne de référence (A). La distance qui le sépare de cette ligne

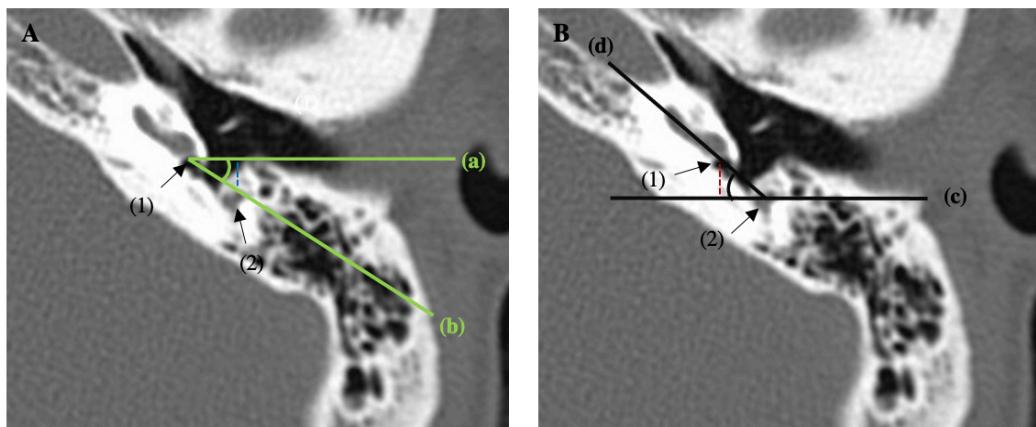
est de 1,4 mm contrairement à (B) qui montre une distance de -0,7mm témoignant d'un trajet antérieur dépassant cette ligne en avant.

En revanche, les résultats de Rajati et al⁹⁷ contrastent avec ceux de Kashio⁹⁶ et Fouad⁹⁸ et montrent que les différences observées, entre le groupe témoin (FR complètement visible), et le groupe étudié (FR non visible), sont statistiquement non significatives ($p=0,16$). Cette discordance peut être reliée au caractère infra-millimétrique de cette distance, qui reste difficile à mesurer avec précision, et à reproduire de manière fiable.

Afin d'éviter ce biais, nous avons proposé dans notre étude, une méthode plus simple, pratique et reproductible, qui ressemble certes à celles de Kashio⁹⁶, Rajati⁹⁷, et Fouad⁹⁸, mais qui ne requiert aucune mensuration particulière. Le principe reste le même : tracer une ligne de référence qui prolonge en arrière l'axe longitudinal du tour basal de la cochlée, et déterminer la position la 3^{ème} portion du nerf facial par rapport à cette ligne.

Par ailleurs Rajati⁹⁷, et Fouad⁹⁸ ont également proposé chacun une nouvelle méthode afin d'étudier davantage, les conséquences de la procidence du nerf facial sur l'accessibilité de la FR.

La figure suivante illustre et explique brièvement les méthodes proposées respectivement par Rajati⁹⁷, et Fouad⁹⁸ (Figure 142)



TDM du rocher gauche en coupes axiales.

(1) : membrane de la FR, (2) : portion mastoïdienne du nerf facial.

(A) : méthode proposée par Rajati.

Ligne (a) : passant par le milieu la membrane de la FR dans un plan horizontal.

Ligne (b) : entre le bord antérieur de la portion mastoïdienne du nerf facial et le milieu la membrane de la FR

○ Variables analysées :

- La distance verticale entre bord antérieur du nerf facial et la ligne (a).
- L'angle entre la ligne (a) et la ligne (b)

(B) : méthode proposée par Fouad.

Ligne (c) : passant par le milieu de la portion mastoïdienne du nerf facial dans un plan horizontal.

Ligne (d) : entre le nerf facial et le milieu la membrane de la FR.

○ Variables analysées :

- La distance verticale entre le milieu de la membrane de la FR et la ligne (c)
- L'angle entre la ligne (c) et la ligne (d)

Figure 142 : méthodes proposées par Rajati et Fouad dans leurs études.

En confrontant les données de l'imagerie à la visibilité de la FR en peropératoire, Rajati et al⁹⁷ ont noté que les 2 variables analysées dans leur étude (Figure 142), prenaient des valeurs nettement supérieures dans le groupe de patients ayant une FR complètement visible ($p=0,01$ et $p=0,04$ respectivement pour chaque variable).

De la même manière Fouad et al⁹⁸, ont démontré également qu'il existe une corrélation significative entre les 2 autres variables étudiées (Figure 142), et l'accessibilité de la FR en peropératoire ($p<0,001$ pour les 2 paramètres). En effet, ils ont noté que la FR était toujours non visible (Type III), quand :

- La distance verticale mesurée entre la FR et le plan horizontal passant par le nerf facial est $<4\text{mm}$.
- L'angle mesuré entre la FR, le nerf facial et le plan horizontal passant par ce dernier est $<33^\circ$.

D'un autre côté, Mandour et al⁹⁹ ont établi une classification radiologique qui permet de préciser la localisation de la 3^{ème} portion du nerf facial intra-pétreux, en préopératoire, et cette fois-ci en prenant comme repère : le CSC latéral.

Ainsi, sur des coupes scannographiques coronales du rocher, en fonction de la position du canal facial par rapport aux bras antérieur et postérieur du CSC latéral, on distingue 3 types :

- Type I : en arrière du bras postérieur du CSC latéral
- Type II : entre les 2 bras du CSC latéral
- Type III : au même niveau ou en avant du bras antérieur du CSC latéral

Mandour et al⁹⁹ ont démontré dans leur étude qu'il existe une corrélation significative entre cette classification, et l'accessibilité de la FR à travers la tympanotomie postérieure ($p<0,001$) : le type III (trajet antérieur) étant un facteur prédictif d'une exposition chirurgicale limitée, ce qui rejouit notre constat.

La classification proposée par Mandour et al⁹⁹ a une grande valeur diagnostique en termes de prédiction des difficultés d'accès chirurgical à la FR, avec une Se, une Sp, une Vpp et une Vpn de **78,6%, 99,2%, 84,7%, et 98,7%** respectivement, et ces chiffres sont comparables à nos résultats (Tableau XVII)

Tableau XVII : Prédiction de la visibilité de la FR : Comparaison entre les résultats de notre série et ceux de Mandour et al.

Série	Nombre de cas	Variable analysée (TDM)	Valeur p	Se	Sp	Vpp	Vpn
Mandour et al ⁹⁹	246	Localisation de la 3 ^{ème} portion du nerf facial par rapport au CSC latéral.	<0,001*	78,6%	99,2%	84,7%	98,7%
Notre série	254	Localisation de la 3 ^{ème} portion du nerf facial par rapport à l'axe longitudinal du tour basal de la cochlée.	<0,001*	37,5%	99,5%	95,5%	84,9%

* : Corrélation statistiquement significative avec la visibilité de la FR en peropératoire.

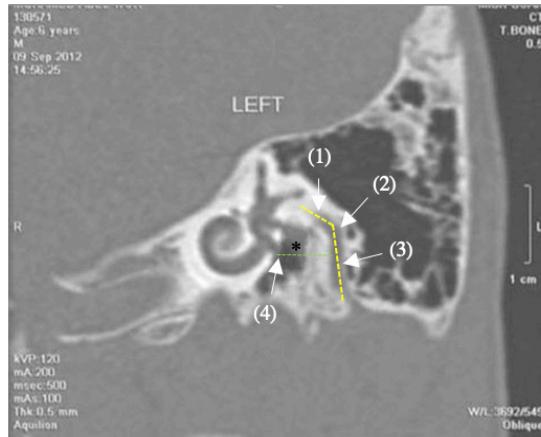
Selon le tableau ci-dessus, la méthode utilisée dans notre série, pour déterminer l'emplacement de la 3^{ème} portion du nerf facial, n'est pas sensible (Se= 37,5%) pour la prédiction de la visibilité de la FR en peropératoire.

En d'autres termes, seulement 37,5% des patients ayant une FR inaccessible pendant la chirurgie, avaient un nerf facial procident sur la TDM. En effet, la visibilité de la FR dépend de divers facteurs, autre que le trajet du nerf facial, qui doivent être pris en considération pour plus de précision. Néanmoins, notre méthode garde une valeur prédictive positive élevée (95,5%) : c'est-à-dire que lorsque le nerf est procident sur la TDM, il faut s'attendre à des difficultés d'accès chirurgical à la FR.

Par ailleurs, Hasaballah et al¹⁰⁰ ont opté pour des reconstructions dans un plan sagittal oblique parallèle à l'axe de la pyramide pétreuse, qui permettent d'étudier à la fois la portion tympanique et mastoïdienne du canal facial, sur la même coupe.

Parmi les mesures scannographiques effectuées par Hasaballah et al¹⁰⁰, on note :

- 1- La distance entre la 3^{ème} portion du canal facial et la fenêtre ronde.
- 2- L'angle constitué par la 2^{ème} et la 3^{ème} portion du canal facial (Figure 143).



(1) : portion tympanique, (2) : coude du nerf facial, (3) : portion mastoïdienne, (4) : fenêtre ronde

Figure 143 : TDM du rocher gauche en reconstruction sagittale oblique montrant la distance mesurée entre la fenêtre ronde et la 3^{ème} portion du canal facial (*) et l'angle constitué par la 2^{ème} et la 3^{ème} portion du canal facial.¹⁰⁰

Ces 2 paramètres sont pertinents, dans la mesure où ils peuvent avoir aussi un impact sur l'accessibilité de la FR. En effet lorsque l'angle du coude du nerf facial augmente, son segment mastoïdien prend un trajet plus postérieur et s'éloigne de la FR, ce qui améliore sa visibilité et la rend plus accessible. De la même manière, nous pouvons déduire qu'une augmentation de la distance mesurée entre la FR et la 3^{ème} portion du canal facial aura le même effet¹⁰⁰. Cette hypothèse a été confirmée par l'analyse statistique menée par Hasaballah et al¹⁰⁰, qui montre une corrélation significative entre ces 2 variables radiologiques et la visibilité de la FR en peropératoire ($p=0,049$ et $p=0,014$ respectivement pour chaque variable).

Nous présentons ci-dessous un tableau récapitulatif qui compare les résultats des différentes études retrouvées dans la littérature avec ceux de notre série. (Tableau XVIII)

Tableau XVIII : Récapitulatif des résultats des différentes études retrouvées dans la littérature.

Série	Nombre de cas	Variable analysée (TDM)	Valeur p
Kashio ⁹⁶	70	Distance entre la 3 ^{ème} portion du nerf facial et l'axe longitudinal du tour basal de la cochlée.	<0,01*
Rajati ⁹⁷	455	Idem	0,16
Fouad ⁹⁸	60	Idem	<0,001*
Rajati ⁹⁷	455	Distance verticale entre la 3 ^{ème} portion du nerf facial et le plan horizontal passant par le milieu de la FR.	0,001*
Rajati ⁹⁷	455	Angle entre le nerf facial, la FR et le plan horizontal passant la FR	0,004*
Fouad ⁹⁸	60	Distance verticale entre la FR et le plan horizontal passant par le milieu la 3 ^{ème} portion du nerf facial	<0,001*
Fouad ⁹⁸	60	Angle entre la FR, le nerf facial, et le plan horizontal passant par le nerf facial.	<0,001*
Mandour ⁹⁹	246	Localisation de la 3 ^{ème} portion du nerf facial par rapport au CSC latéral (reconstructions coronales).	<0,001*
Hasaballah ¹⁰⁰	18	Angle constitué par le coude du nerf facial (reconstructions sagittales obliques).	0,049*
Hasaballah ¹⁰⁰	18	Distance entre la 3 ^{ème} portion du nerf facial et la FR (reconstructions sagittales obliques).	0,014*
Notre série	254	Localisation de la 3 ^{ème} portion du nerf facial par rapport à l'axe longitudinal du tour basal de la cochlée.	<0,001*

* : Corrélation statistiquement significative avec la visibilité de la FR en peropératoire.

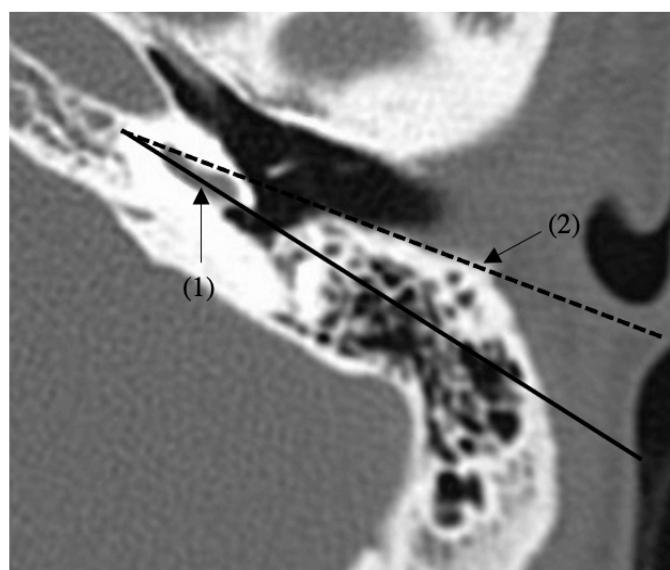
3. 2 Orientation du CAE :

Après l'ouverture de la caisse au dépends du récessus facial, le champ de vision du microscope opératoire est limité en haut par le mur postérieur du conduit auditif externe osseux. McRackan et al¹⁰¹ rapportent que chez les enfants, ce dernier tends à avoir une orientation postérieure, presque parallèle à l'axe longitudinal du tour basal de la cochlée, ce qui

pourrait gêner la mise en place d'un implant cochléaire par la voie de la tympanotomie postérieure, et ce par défaut d'exposition chirurgicale.

Dans le but de vérifier cette hypothèse, Kashio et al⁹⁶ ont proposé de mesurer, sur la TDM des rocher en coupes axiales, l'angle constitué par le mur postérieur du conduit osseux et l'axe longitudinal du tour basal de la cochlée (Figure 144), puis de corrélérer les valeurs obtenues avec le degré de visibilité de la FR constaté en peropératoire.

Les résultats de l'analyse menée par Kashio et al⁹⁶ montrent que statistiquement, l'angle mesuré sur le scanner est nettement plus bas (témoignant d'une inclinaison postérieure du conduit) chez les patients ayant une mauvaise exposition chirurgicale de la FR ($p<0,001$), et confirment donc l'hypothèse de McMackan et al¹⁰¹.



(1) : tour basal de la cochlée, (2) : mur postérieur du CAE osseux

Figure 144 : TDM du rocher gauche en coupe axiale montrant l'angle mesuré entre le mur postérieur du CAE osseux et le l'axe longitudinal du tour basal de la cochlée.

Kang et al¹⁰² soutiennent également cette hypothèse et montrent dans leur étude que l'angle mesuré sur le scanner (proposé par Kashio et al⁹⁶) est nettement plus élevé chez les

patients implantés par la voie de la FR comparé aux patients ayant nécessité une cochléostomie au promontoire, et cette différence est statistiquement significative à une valeur $p=0,001$.

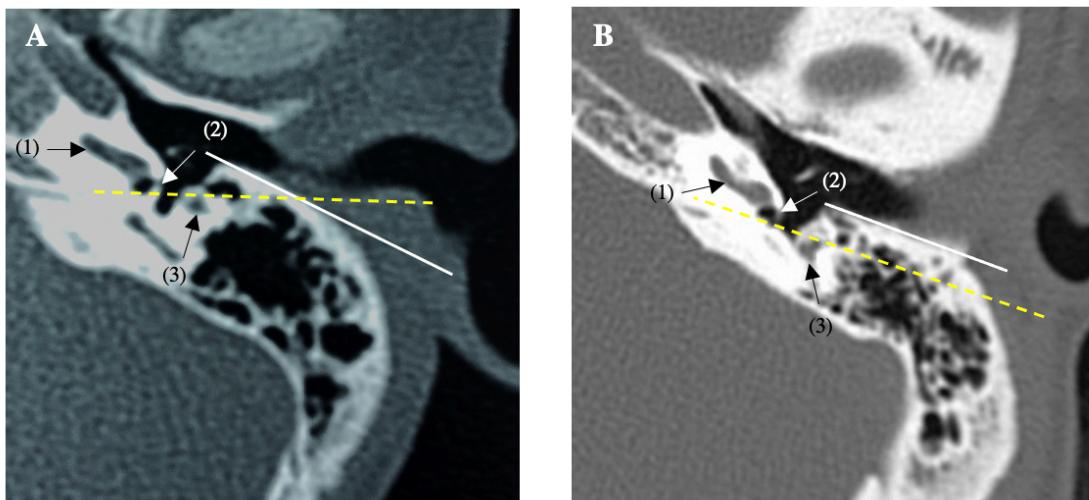
En revanche, les résultats de Rajati⁹⁷ et Fouad⁹⁸ sont discordants avec ceux de Kashio⁹⁶ et Kang¹⁰², et montrent que l'angle mesuré entre le mur postérieur du CAE et l'axe longitudinal du tour basal de la cochlée, ne présente pas de corrélation significative avec le degré de visibilité de la FR ($p=0,79$ et $p=0,59$ respectivement pour Rajati⁹⁷ et Fouad⁹⁸).

Cette discordance peut être due au développement incomplet du conduit osseux jusqu'à l'âge de 6 ans ce qui rend cette mesure difficile à appliquer et à reproduire avec précision avant cet âge. En effet, les patients inclus dans les séries de Rajati⁹⁷ et Fouad⁹⁸ avaient tous un âge inférieur à 6 ans contrairement à celles de Kashio⁹⁶ et Kang¹⁰².

Dans notre étude, nous avons opté pour une méthode (proposée par Mandour et al⁶) incluant 2 paramètres radiologiques importants et déterminants pour la visibilité de la FR à travers la tympanotomie postérieure :

- Le mur postérieur du CAE.
- La 3^{ème} portion du nerf facial.

La figure suivante rappelle brièvement cette méthode : (Figure 145)



TDM des rochers en coupes axiales.

(1) : Tour basal de la cochlée, (2) : niche de la FR, (3) : 3^{ème} portion du nerf facial.

- Une première ligne (blanche) est tracée le long du mur postérieur du CAE osseux → ligne du CAE
- Une deuxième ligne (en pointillés jaunes) est tracée en passant par le bord antérieur de la 3^{ème} portion du nerf facial, et par le bord postérieur de la niche de la FR → ligne de prédition.

Lorsque ces 2 lignes sont parallèles (B), le champ de vision à travers la tympanotomie postérieure est libre, et la FR est classée « visible »

Dans le cas contraire, lorsque ces 2 lignes s'entrecroisent (A), la visibilité de la FR à travers la tympanotomie postérieure risque d'être limitée par :

- o Une inclinaison postérieure du CAE.
 - o Une procidence de la 3^{ème} portion du nerf facial
- La FR est donc classée « non visible ».

Figure 145 : Prédiction de la visibilité de la FR selon la méthode proposée par Mandour et al.

L'analyse de nos résultats montre que la visibilité de la FR, prévue par l'imagerie (méthode de Mandour et al⁶) correspond à la visibilité réelle notée en peropératoire, avec une corrélation significative entre les difficultés chirurgicales attendues et les difficultés réelles rencontrées pendant la chirurgie ($p<0,001$).

Il s'agit d'une méthode simple, pratique et très utile pour la prédition des difficultés d'accès chirurgical à la FR avec une Vpp et une Vpn de 84% et 91,2% respectivement. Néanmoins elle est peu sensible ($Se=70\%$) mais reste tout de même très spécifique ($Sp=95,9\%$).

Le tableau suivant compare nos résultats avec ceux de Mandour et al^{6,91} (Tableau XIX)

Tableau XIX : Prédition de la visibilité de la FR : comparaison entre les résultats de notre série et ceux de Mandour.

Série	Nombre de cas	Variable analysée (TDM)	Valeur p	Se	Sp	Vpp	Vpn
Mandour et al ⁶	198	Localisation de la 3 ^{ème} portion du nerf facial + orientation du CAE	<0,001*	100%	93,5%	100%	97,1%
Notre série	254	Idem	<0,001*	70%	95,9%	84%	91,2%

* : Corrélation statistiquement significative avec la visibilité de la FR en peropératoire.

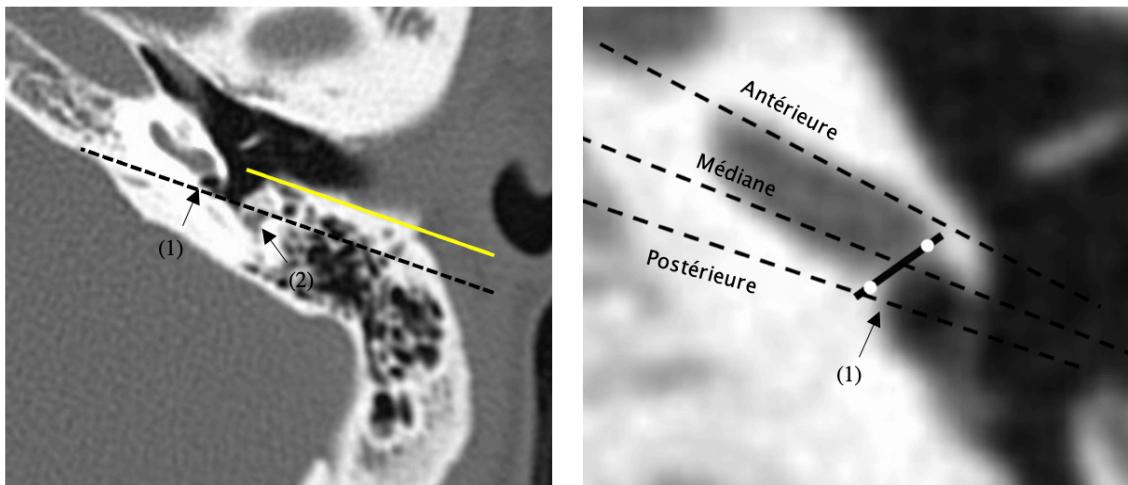
On remarque dans le tableau ci-dessus, que la sensibilité est relativement faible dans notre série (70%) comparée à celle de Mandour et al (100%).

Notre résultat sous-entend que lorsque la FR est non visible en peropératoire, on a approximativement une chance sur 3 de retrouver une FR classée « visible » à l'imagerie (ligne de prédition parallèle avec la ligne du CAE), et cela nous semble logique car cette méthode, ne prend pas en considération les autres facteurs pouvant compromettre la visibilité de la FR, pendant la chirurgie (orientation de la niche, sténoses et ossifications de la FR, procidence du golfe de la VJI...etc).

En revanche la sensibilité très élevée avancée par Mandour et al⁷¹ peut être liée à un biais de sélection, car les patients ayant des malformations de l'oreille interne ont été exclus de leur travail. Or, ces malformations sont souvent associées à des anomalies de trajet du nerf facial, et dans certains cas à des difficultés d'identification de la FR en raison d'une modification des repères anatomiques habituels.

D'un autre côté, Kashio et al⁹⁶ ont proposé également une méthode radiologique qui, en suivant le même principe, permet d'évaluer l'accessibilité chirurgicale de la FR.

La figure suivante illustre et explique brièvement la méthode proposée par Kashio et al⁹⁶ (Figure 146)



TDM des rochers en coupes axiales.

(1) : membrane de la FR, (2) : portion mastoïdienne du nerf facial, ligne jaune : mur postérieur du CAE osseux. Une ligne parallèle au mur postérieur du CAE, et passant par le bord antérieur de la portion mastoïdienne du nerf facial est représentée en pointillé noir → ligne de prédiction.

La localisation de cette ligne par rapport à la membrane de la FR est classée :

- Antérieure
- Médiane
- Postérieure

Figure 146 : Prédiction de la visibilité de la FR selon la méthode proposée par Kashio et al.

L'analyse de Kashio⁹⁶ et al montre que la localisation de la ligne de prédiction, par rapport à la membrane de la FR, est fortement corrélée à la visibilité de la FR notée en peropératoire : une localisation antérieure étant un facteur prédictif de mauvaise exposition chirurgicale.

En revanche, les résultats de Rajati⁹⁷ et Fouad⁹⁸ sont de nouveau discordants avec ceux de Kashio⁹⁶, et montrent que cette méthode ne présente pas de corrélation statistiquement

significative avec l'accessibilité chirurgicale de la FR ($p=0,75$, et $p=0,25$ respectivement pour Rajati⁹⁷ et Fouad⁹⁸).

Nous présentons ci-dessous un tableau récapitulatif qui compare les résultats des différentes études retrouvées dans la littérature avec ceux de notre série. (Tableau XX)

Tableau XX : Récapitulatif des résultats des différentes études retrouvées dans la littérature.

Série	Nombre de cas	Variable analysée (TDM)	Valeur p
Kashio ⁹⁶	70	Angle mesuré entre le mur postérieur du CAE osseux et l'axe longitudinal du tour basal de la cochlée	<0,001*
Kang ¹⁰²	84	Idem	0,001*
Rajati ⁹⁷	455	Idem	0,79
Fouad ⁹⁸	60	Idem	0,59
Kashio ⁹⁶	70	Localisation de la ligne de prédiction par rapport à la FR → ligne parallèle au mur postérieur du CAE et passant par le bord antérieur de la 3 ^{ème} portion du nerf facial.	<0,001*
Rajati ⁹⁷	455	Idem	0,75
Fouad ⁹⁸	60	Idem	0,25
Mandour ⁶	198	Localisation de la 3 ^{ème} portion du nerf facial + orientation du CAE.	<0,001*
Notre série	254	Idem	<0,001*

* : Corrélation statistiquement significative avec la visibilité de la FR en peropératoire.

3.3 Largeur du récessus facial :

Le récessus facial est un espace triangulaire dans le retrotympانum bordé par la fossa incudis en haut, la 3^{ème} portion du nerf facial médialement, et la corde du tympan latéralement.

Les dimensions de cet espace sont inconstantes en raison de la grande variabilité que présentent :

- Le trajet de la 3^{ème} portion du nerf facial.
- L'origine et le trajet de corde du tympan.

Hasaballah et al¹⁰⁰, démontrent dans leur travail qu'il existe une forte corrélation entre le trajet de la portion mastoïdienne du nerf facial et la largeur de la tympanotomie postérieure, mesurée en peropératoire ($p<0,001$), et expliquent que lorsque le segment mastoïdien du nerf facial prend un trajet postérieur, la distance qui sépare ce dernier de la corde du tympan augmente et par conséquent le récessus facial devient plus large.

Telmesani et Alrammah⁹² montrent également dans leur étude, qu'un trajet latéral de la portion mastoïdienne du nerf facial, peut réduire considérablement la largeur de son récessus et compromettre ainsi la faisabilité de la tympanotomie postérieure.

Jain et al¹⁰³ rapportent le cas d'un patient ayant une corde du tympan prenant son origine sous le foramen stylomastoïdien (dans l'espace rétrostylien) et un deuxième cas où cette dernière nait presque au niveau du coude du nerf facial, (sous le CSC latéral) avec un récessus facial quasi inexistant.

Jain et al¹⁰³ avancent que l'angle cordo-facial est également variable et présente une corrélation significative avec les dimensions du récessus facial.

Cette grande variabilité s'accompagne d'un risque opératoire bien documenté dans la littérature, et justifie une attention particulière pour cette région anatomique lors du bilan radiologique préopératoire. Ainsi, lorsque les conditions anatomiques sont défavorables, le chirurgien pourra considérer d'autres alternatives chirurgicales afin de mieux exposer la FR sans pour autant compromettre l'intégrité des structures nobles adjacentes.

Dans notre série, nous avons noté 2 cas où le récessus facial était trop étroit, mesurant respectivement 2,6 et 2,7mm sur la TDM. En peropératoire, nous avons rencontré des difficultés d'accès chirurgical à la FR, à travers la tympanotomie postérieure, chez les 2 patients, et nous

étions contraints d'employer d'autres alternatives chirurgicales afin d'accéder à la rampe tympanique du tour basal de la cochlée. Il semble donc évident que la largeur du récessus facial peut avoir un impact significatif sur l'accessibilité de la FR.

Dans notre série, afin de vérifier cette hypothèse, nous avons mesuré, sur des coupes TDM axiales du rocher, la largeur du récessus facial. La corde du tympan étant difficile à mettre en évidence au scanner, la largeur du récessus facial a été mesurée entre le nerf facial et l'annulus tympanique.

Ensuite, nous avons établi 2 groupes en fonction du degré de visibilité de la FR en peropératoire : groupe 1 (FR visible), groupe 2 (FR non visible). Puis, nous avons comparé les moyennes des valeurs obtenues entre ces 2 groupes.

Les résultats de notre analyse montrent que les différences observées entre ces 2 catégories sont statistiquement non significatives.

Cette discordance peut être reliée au fait que nous n'avons pas pu estimer avec précision, la vraie largeur du récessus facial. En réalité, la distance mesurée dans notre étude, reflète plutôt la largeur qu'aurait le récessus facial si l'on devait sacrifier la corde du tympan pour élargir la tympanotomie postérieure et améliorer la visibilité de la FR. Ainsi, en peropératoire, les patients ayant une FR non visible et ceux ayant une FR complètement visible, pourraient avoir des mesures scannographiques quasi identiques.

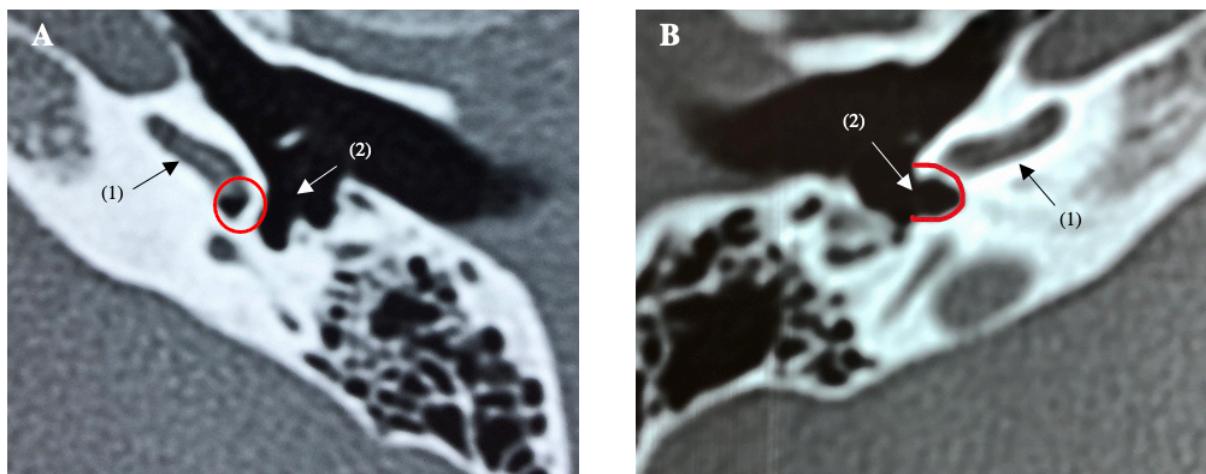
De plus, le nombre de cas rapportés dans notre série, de récessus facial étroit (2 cas) n'est pas suffisant pour tirer des conclusions générales.

Nos résultats semblent être cohérents avec ceux de Rajati⁹⁷, Fouad⁹⁸, Kashio⁹⁶ et Bettman¹⁰⁴ qui montrent tous, que la largeur du récessus facial (mesurée sur la TDM entre le nerf facial et l'annulus tympanique) ne présente pas de lien avec l'accessibilité chirurgicale de la FR. Cependant, ces résultats doivent être pris avec précaution, car la distance mesurée sur la TDM, ne reflète pas la vraie largeur du récessus facial et risque de surestimer cette dernière.

3.4 Orientation de la niche :

Dans notre étude, afin d'évaluer l'impact de l'orientation de la niche sur l'accessibilité chirurgicale de la FR, nous avons opté pour une méthode simple (proposée par Elzayat et al⁷) qui consiste à imaginer la configuration externe de la niche, à partir de son aspect scannographique sur des coupes axiales du rocher.

La figure suivante illustre et explique brièvement cette méthode : (Figure 147)



TDM des rochers en coupes axiales. (1) : Tour basal de la cochlée, (2) : niche de la FR.

Lorsque la niche de la FR présente un aspect arrondi (A), nous supposons qu'en peropératoire, elle sera orientée en bas, dans un plan horizontal parallèle au plan axial, et par conséquent, difficile à visualiser à travers la tympanotomie postérieure.

Dans le cas contraire, lorsque la niche présente un aspect arciforme (B), nous supposons que cette dernière sera orientée en dehors et en arrière, dans un plan vertical oblique, faisant face au récessus facial, et par conséquent, elle sera visible et accessible sans difficultés.

Figure 147 : Prédiction de la visibilité de la FR selon la méthode proposée par Elzayat et al.

L'analyse de nos résultats, montre que statistiquement, il existe une forte corrélation entre les difficultés d'accès chirurgical à la FR, prévues par l'imagerie (méthode de Elzayat et al⁷), et les difficultés réelles rencontrées pendant la chirurgie ($p <0,001$). Parmi les **51** cas de FR classées radiologiquement « non visible » (niche d'aspect arrondi sur les coupes axiales), **44** ont été confirmés en peropératoire, et parmi les **203** cas de FR classées radiologiquement « visible » (niche d'aspect arciforme sur les coupes axiales), **187** ont été également confirmés en peropératoire.

Cette méthode nous a donc permis de prévoir de manière exacte, le degré de visibilité de la FR chez **231** de nos patients, soit **91%**, avec une Se, une Sp, une Vpp, et une Vpn de **73,3%**, **96,4%**, **86,3%** et **92,1%** respectivement, et ces chiffres sont comparables avec ceux de Elzayat et al⁷ (Tableau XXI)

Tableau XXI : Prédiction de la visibilité de la FR : comparaison entre les résultats de notre série et ceux de Elzayat.

Série	Nombre de cas	Variable analysée (TDM)	Se	Sp	Vpp	Vpn
Elzayat et al ⁷	110	Aspect de la niche de la FR (coupes axiales)	79,4%	86,8%	72,9%	90,4%
Notre série	254	Idem	73,3%	96,4%	86,3%	92,1%

* : Corrélation statistiquement significative avec la visibilité de la FR en peropératoire.

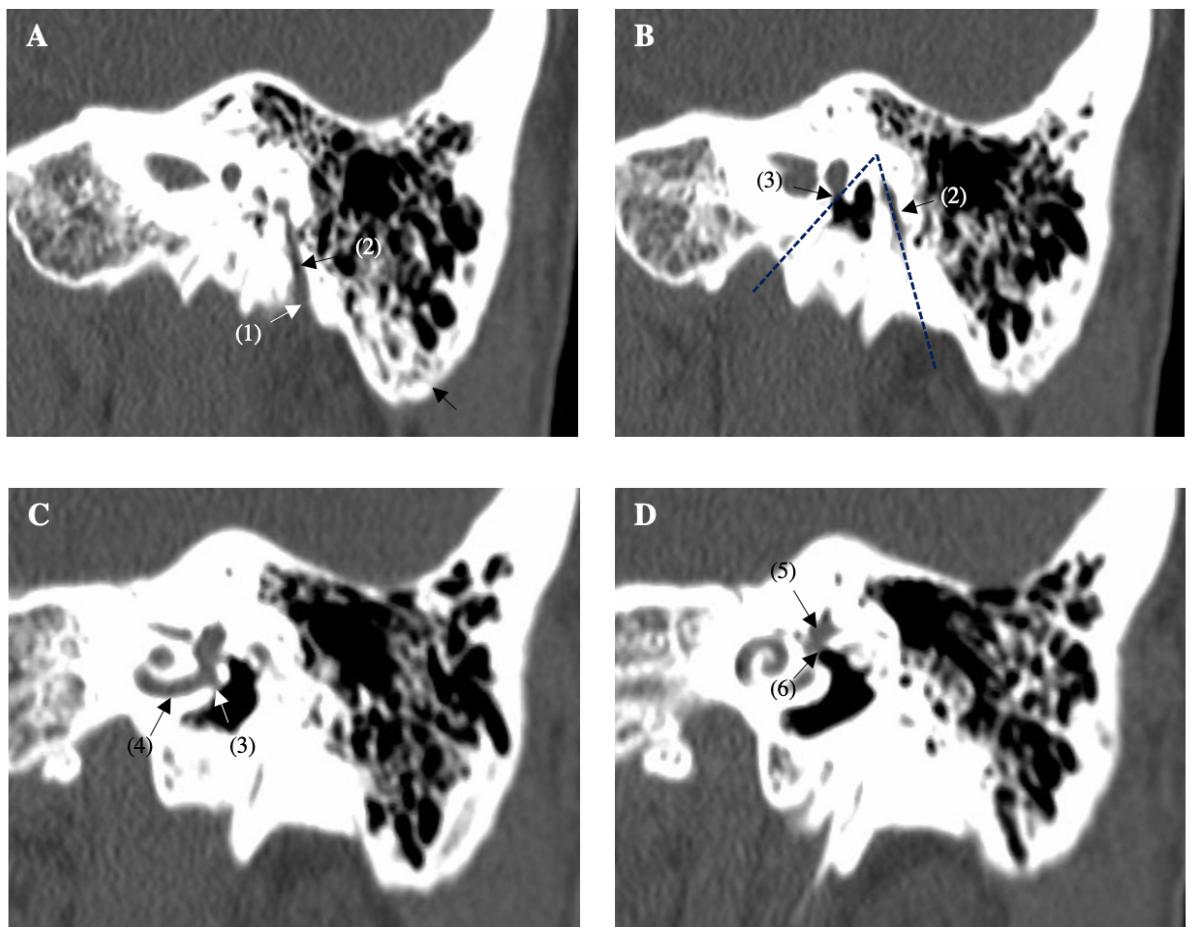
Notons encore une fois que la sensibilité est relativement faible dans notre série (**73,3%**) comparée à celle de Elzayat⁷ (**79,4%**).

Notre résultat nous semble logique car cette méthode ne prend pas en compte les autres facteurs pouvant compromettre l'accessibilité chirurgicale de la FR, notamment le trajet de la 3^{ème} portion du nerf facial.

Dans une autre étude, et toujours dans le but d'étudier le rôle de l'imagerie dans l'évaluation préopératoire de l'accessibilité de la FR, Elzayat et al¹⁰⁵ ont proposé de mesurer l'angle « membrano-facial » ; c'est-à-dire l'angle constitué par :

- L'axe longitudinal de la portion mastoïdienne du nerf facial
- La membrane de la FR.

Afin de réaliser cette mesure, Elzayat et al¹⁰⁵ se sont basé sur des reconstructions sagittales obliques, parallèles à l'axe longitudinal de la pyramide pétreuse, et perpendiculaires à l'axe du CSC supérieur (Figure 148).



(1) : foramen stylo-mastoïdien, (2) : portion mastoïdienne du nerf facial intra-pétreux, (3) : membrane de la FR, (4) : tour basal de la cochlée, (5) : vestibule, (6) : fenêtre ovale, - - - : angle membrano-facial.

Figure 148 : TDM du rocher gauche en reconstructions sagittales obliques d'arrière en avant (A→D).

Elzayat et al¹⁰⁵ démontrent dans leur série, qu'il existe une association statistiquement significative entre l'angle membrano-facial mesuré sur la TDM et :

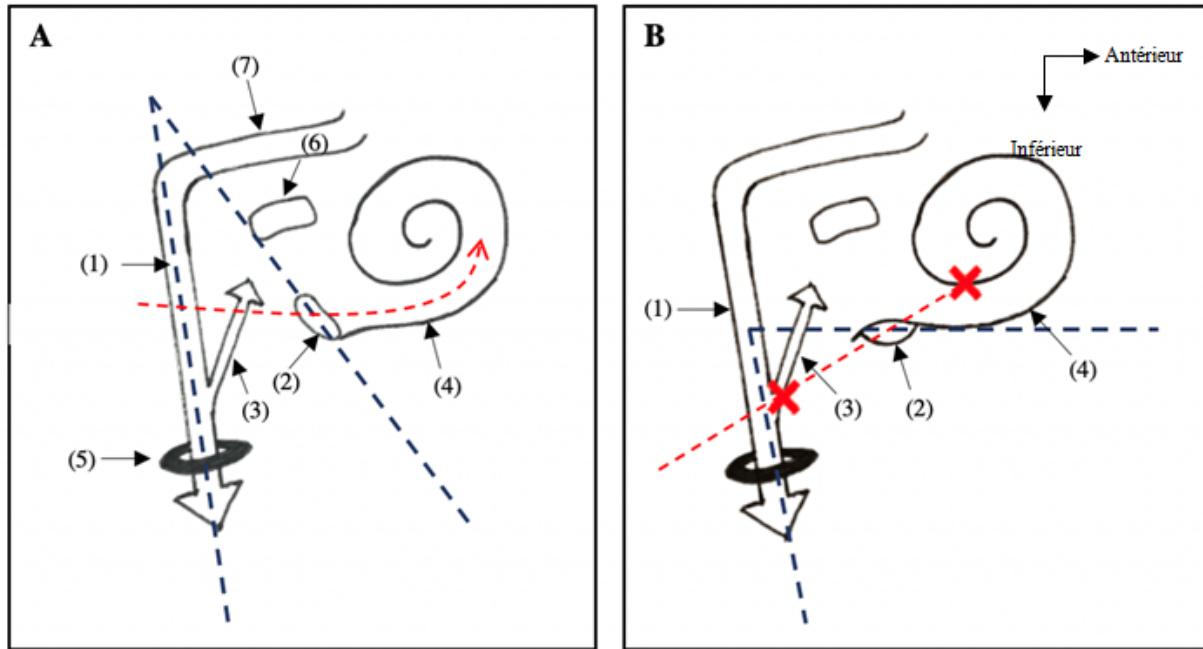
- 1- La visibilité de la FR notée en peropératoire ($p<0,001$).
- 2- La faisabilité de l'insertion du porte-électrode par la voie de la FR ($p<0,001$).

En effet, l'angle membrano-facial était nettement plus élevé dans les cas où la FR était classée type **IIB** et type **III** (selon la classification STH), et tous avaient nécessité une cochléostomie au promontoire.

En se basant sur les résultats de leur analyse statistique, Elzayat et al¹⁰⁵ suggèrent comme valeur seuil : **15,1°**.

Cela veut dire que lorsque l'angle membrano-facial est supérieur à cette valeur, il y a une forte probabilité que la FR soit inaccessible et qu'une cochléostomie au promontoire soit nécessaire pour accéder à la rampe tympanique du tour basal de la cochlée ($Se=100\%$, $Sp=82\%$, $Vpp=76,6\%$, $Vpn= 100\%$).

Afin de mieux comprendre les résultats de Elzayat et al¹⁰⁵ nous proposons le schéma explicatif suivant (Figure 149).



(1) : portion mastoïdienne du nerf facial, (2) : membrane de la FR, (3) : corde du tympan, (4) : tour basal de la cochlée, (5) : foramen stylo-mastoïdien, (6) : fenêtre ovale, (7) : portion tympanique du nerf facial, — : angle membrano-facial, - - - : trajectoire d'insertion du porte-électrode via la FR.

Figure 149 : Effet de l'angle membrano-facial sur l'accessibilité chirurgicale de la FR.

Dans l'image (A), l'angle est relativement étroit et cela se traduit par une orientation postéro-latérale de la FR dans un plan vertical presque parallèle à celui du récessus facial, permettant une visualisation adéquate de cette dernière à travers la tympanotomie postérieure, et une insertion non traumatique, en un seul coup, dans l'axe de la rampe tympanique du tour basal de la cochlée. Tandis que dans l'image (B), l'angle est relativement plus large, et cela se traduit par une orientation inférieure de la FR dans un plan presque horizontal, ce qui la rend inaccessible et difficile à visualiser à travers la tympanotomie postérieure.

Notons également que dans ce deuxième cas de figure (B), l'accès à la rampe tympanique via la FR reste problématique, car cela nécessite d'une part, le recours à certaines manœuvres et alternatives chirurgicales afin de libérer l'accès, et d'autre part, l'adaptation de la trajectoire d'insertion à l'axe d'orientation de la FR. En effet, lorsque la FR est orientée vers le bas, le

chirurgien sera obligé, au moment de l'insertion, de diriger son porte-électrode vers le haut et risque d'endommager les structures intracochléaires adjacentes. En d'autres termes, dans une situation pareille, la voie de la FR se heurte à de nombreuses contraintes et il est donc plus convenable de réaliser une cochléostomie au promontoire.

Selon Takahashi et Sando¹⁰⁶, l'orientation de la niche ainsi que la taille variable des parois osseuses qui la surplombent font en sorte que, lorsqu'on regarde directement à travers le récessus facial, la visibilité de la membrane de la FR est très restreinte (seulement 30% de sa partie inférieure est visible). Néanmoins, Roland et al⁶⁴ montrent dans leur travail que la visibilité de la membrane de la FR peut être améliorée grâce au fraisage des auvents osseux qui débordent sur l'ouverture de la niche, et avancent que la surface de la membrane de la FR étant visible, peut augmenter d'un facteur allant de 1,5 à 3, après la régularisation des berges osseuses, et que ce dernier peut aller jusqu'à 13 lorsque l'ouverture de la niche est d'emblée très restreinte.

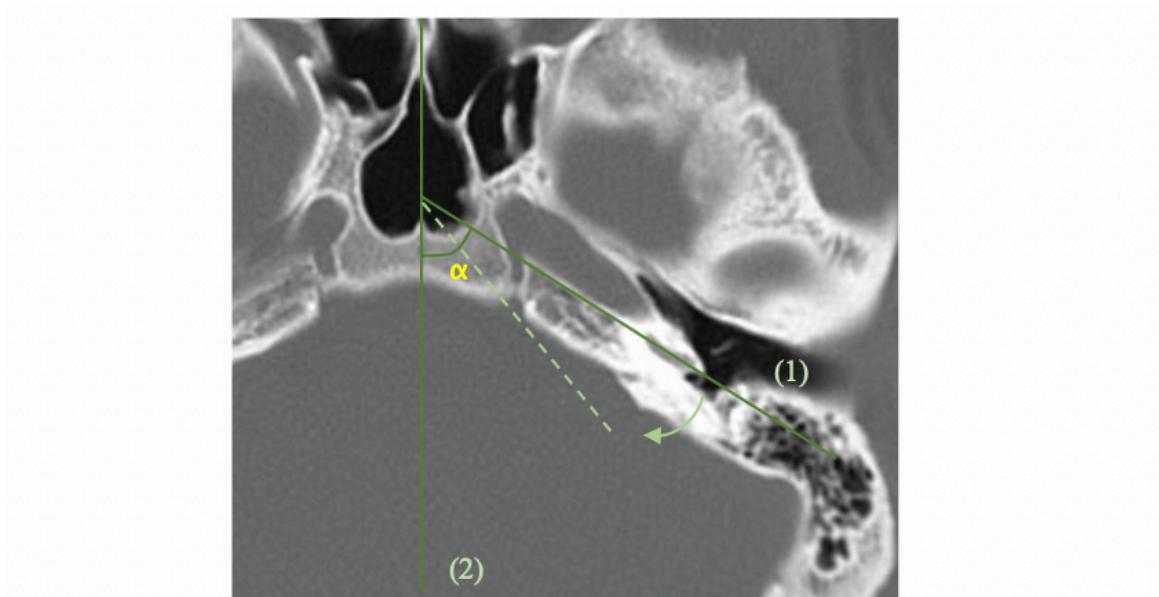
De ce fait, l'identification sur le scanner d'un auvent osseux qui déborde sur la FR ne devrait pas faire obstacle à l'accès chirurgical de cette dernière, car on peut facilement l'enlever à la fraise. Park¹⁴, Jain¹⁰³, et Elzayat et al¹⁰⁵ corroborent tous cette hypothèse, et montrent dans leurs travaux respectifs que le degré d'hypertrrophie osseuse des parois de la niche, apprécié sur la TDM, ne présente pas d'impact significatif sur l'accessibilité chirurgicale de la FR, et que les facteurs déterminants sont plutôt : les dimensions, l'orientation et la localisation de la niche.

3. 5 Position de la FR :

La position de la FR au niveau la paroi médiale de la caisse du tympan est variable, et cela risque de compromettre sa visualisation adéquate en peropératoire.

Pendem et al stipulent que ces variations sont dues à des rotations de la cochlée autour de l'axe vertical et/ou horizontal.

Dans le but de localiser la FR en préopératoire, Sharma et al¹⁰⁷ proposent de mesurer, sur la TDM des rochers en coupes axiales, l'angle α entre l'axe longitudinal du tour basal de la cochlée et la ligne médiane (Figure 150).



(1) : axe longitudinal du tour basal de la cochlée, (2) : ligne médiane, → : sens de rotation

Figure 150 : TDM du rocher gauche en coupe axiale montrant l'angle α mesuré entre l'axe longitudinal du tour basal de la cochlée et la ligne médiane.

Cette mesure correspond en réalité à l'angle de rotation de la cochlée autour de l'axe vertical. Ainsi, lorsque cet angle diminue, cela témoigne d'une rotation de la cochlée dans le sens postéro-médial, mettant la FR en position très postérieure, qui devient par conséquent, hors de portée à travers le récessus facial.

Les résultats de Sharma et al¹⁰⁷ confirment cette hypothèse et montrent qu'il existe une corrélation statistiquement significative entre l'angle α mesuré sur le scanner et la visibilité de la

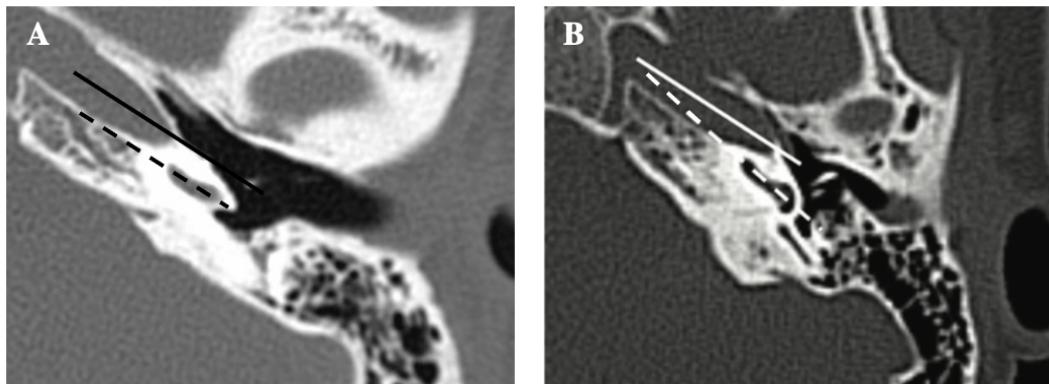
FR notée en peropératoire ($p=0,016$), avec des valeurs nettement diminuées dans les cas où la FR est moins visible.

En revanche, dans notre série, nous n'avons pas pu établir un lien entre l'angle α et la visibilité de la FR en peropératoire. En effet, en comparant les moyennes des valeurs obtenues pour l'angle α , nous n'avons relevé aucune différence statistiquement significative entre les 2 groupes précédemment décrits.

Cette discordance peut être expliquée par l'existence d'une variabilité intra- et inter-observateur importante, que nous n'avons pas pris en considération dans notre étude, alors que ce type de mesures nécessite souvent une marge d'erreur très réduite pour pouvoir en tirer des conclusions générales.

Alam-Eldeen et al¹⁸ suggèrent une méthode radiologique plus simple, qui permet d'apprécier (sans devoir mesurer) l'angle de rotation du tour basal de la cochée en comparant son axe longitudinal avec celui de la portion horizontale du canal carotidien sur des coupes scannographiques axiales du rocher.

La figure suivante illustre et décrit cette méthode (Figure 151) :



TDM des rochers en coupes axiales. (1) : tour basal de la cochlée, (2) : canal carotidien (portion horizontale)

Lorsque le tour basal de la cochlée est aligné avec la portion horizontale du canal carotidien (A) : l'accès à la FR devrait être libre.

Dans le cas contraire (B), lorsque la cochlée effectue une rotation postérieure, son tour basal ne s'aligne pas avec le canal carotidien, et la FR devrait siéger en position postérieure, inaccessible à travers le récessus facial.

Figure 151 : Prédiction de l'accessibilité chirurgicale de la FR selon la méthode proposée par Alam-Eldeen et al.

Dans leur série, Alam-Eldeen et al¹⁸ sont parvenus grâce à cette méthode, à déterminer de manière exacte, le degré d'accessibilité chirurgicale de la FR chez **80%** de leurs patients, avec une Sp, une Vpn, et une Vpp de **91,2%, 82,9% et 66,7%** respectivement. Néanmoins, la sensibilité de cette méthode reste relativement faible (**Se= 46,1%**) car l'accessibilité chirurgicale de la FR, ne dépend pas seulement de l'angle de rotation de la cochlée, mais aussi de nombreux autres facteurs précédemment cités.

Qabady et al¹⁰⁸, utilisent cette même méthode dans leur étude et rapportent une Se, une Sp, une Vpp, et une Vpn **20%, 95%, 30% et 91%** respectivement. La spécificité et la valeur prédictive négative élevées de cette méthode en font un test diagnostique performant pour exclure les conditions anatomiques défavorables.

D'un autre côté, et toujours dans la même optique, Pendem et al¹⁰⁹, proposent dans leur travail, de mesurer sur la TDM des rochers en reconstructions coronales obliques, la distance entre la FR et :

- 1- La fenêtre ovale (FO)
- 2- La courte apophyse de l'enclume

Selon Pendem et al¹⁰⁹, les mesures réalisées respectivement sur le scanner et en peropératoire, sont très compatibles ($p<0,01$). De ce fait, en se basant sur des repères bien établis et pertinents, ces mesures scannographiques pourraient aider le chirurgien otologiste à localiser la FR au préalable, et ainsi, anticiper les éventuelles difficultés chirurgicales pouvant être rencontrées durant l'intervention.

Pendem et al¹⁰⁹ ajoutent que ces mesures scannographiques présentent également une corrélation significative avec le degré de visibilité de la FR constaté en peropératoire ($p<0,01$).

En effet, leurs résultats montrent que lorsque :

- 1- La distance mesurée entre la FR et la FO augmente.
 - 2- La distance mesurée entre la FR et la courte apophyse de l'enclume diminue.
- La FR devient moins accessible à travers le tympanotomie postérieure.

Au terme de ce chapitre, on comprend que l'évaluation de l'accessibilité de la FR, ne peut se concevoir sans adopter une approche globale et multifactorielle, incluant l'ensemble des variables pouvant avoir un impact notable sur la chirurgie.

Comme en témoignent nos résultats, si l'on essaye d'anticiper les difficultés d'accès chirurgical à la FR, en se basant seulement sur une ou 2 variables, on se retrouvera forcément avec un nombre élevé de faux négatifs. En effet, les 2 méthodes radiologiques que nous avons

utilisé dans notre série (Mandour⁶ et Elzayat⁷) avaient une sensibilité relativement faible (70% et 73,3% respectivement). Cela veut dire que, si on ne considère que les variables étudiées par ces 2 méthodes, presque le tiers des cas où nous avons rencontré des difficultés chirurgicales, avait un scanner normal (FR classée radiologiquement « visible »).

Par contre, en combinant ces 2 méthodes, on prend en considération l'ensemble des variables étudiées, et on obtient une sensibilité nettement plus élevée (83,3%) que lorsqu'on analyse chaque variable séparément. (Tableau XXII)

Tableau XXII : Méthode Mandour et Elzayat combinées.

	FR « visible » (Type I ou IIa)	FR « non visible » (Type IIb ou III)	Total
FR « visible » (TDM) ¹	182	10	192
FR « non visible » (TDM) ²	12	50	62
Total	194	60	254
Se	Sp	Vpp	Vpn
83,3%	93,8%	80,6%	94,8%

¹ : la niche présente un aspect arciforme (méthode Elzayat) et la ligne de prédiction est parallèle avec la ligne du CAE (méthode Mandour).

² : la niche présente un aspect arrondi (méthode Elzayat) ou bien, la ligne de prédiction croise la ligne du CAE (méthode Mandour)

De surcroit, parmi les 10 cas de « faux négatifs » rapportés dans notre série, 4 seulement avaient une TDM strictement normale, tandis que les autres, avaient tous des anomalies, qui pourraient être en rapport avec les difficultés chirurgicales rencontrées (procidence du golfe la VJI, sténoses et ossifications de la FR, otite séromuqueuse...etc).

De ce fait, en incluant plus de variables, on pourrait anticiper les difficultés avec plus de précision. (Tableau XXIII).

Tableau XXIII : « Faux négatifs » : Corrélations radio-chirurgicales.

N°	Imagerie	Compte-rendu opératoire
1	– Procidence du golfe de la VJI.	<ul style="list-style-type: none"> – Procidence du golfe de la VJ – FR non visible – Cochléostomie
2	– TDM normale.	<ul style="list-style-type: none"> – FR partiellement visible – Insertion après élargissement de la FR.
3	– Procidence du golfe de la VJI	<ul style="list-style-type: none"> – FR partiellement visible – Insertion via la FR
4	– Récessus facial étroit (2,7mm)	<ul style="list-style-type: none"> – FR postérieure non visible – Insertion via la FR après élargissement de la tympanotomie postérieure.
5	<ul style="list-style-type: none"> – Sténose congénitale de la FR – Agénésie de la FO + malformations ossiculaires. – Otite séromuqueuse. 	<ul style="list-style-type: none"> – FR partiellement visible – Insertion après élargissement de la FR.
6	– TDM normale.	<ul style="list-style-type: none"> – FR très postérieure non visible. – Cochléostomie.
7	– TDM normale.	<ul style="list-style-type: none"> – Procidence de la 3^{ème} portion du nerf facial – FR non visible – Cochléostomie
8	– FR ossifiée.	<ul style="list-style-type: none"> – FR non visible cachée par une pseudomembrane ossifiée – Insertion via la FR après fraisage de la membrane ossifiée.
9	– TDM normale.	<ul style="list-style-type: none"> – FR postérieure partiellement visible – Insertion après élargissement de la FR en antéro-inférieur
10	– Otite séromuqueuse.	<ul style="list-style-type: none"> – FR cachée par une pseudomembrane. – Insertion via la FR après incision de la muqueuse.

4. Geyser et malformations de l'oreille interne :

Dans notre série, 2 paramètres étaient associés à un risque important de geyser ($p<0,001$) :

- 1– L'aspect du Modiolus.
- 2– Le diamètre de la fossette cochléaire.

En effet, nous avons noté **4** cas de geyser en peropératoire : Tous, avaient une fossette cochléaire élargie associée à un défaut osseux au niveau de la base du modiolus ou un modiolus incomplet ou complètement absent. Ces anomalies radiologiques, nous ont permis de suspecter l'existence d'une communication anormale entre d'une part, le LCR circulant dans les espaces sous-arachnoïdiens, et d'autre part, la périlymphe présente dans les rampes tympanique et vestibulaire, préjugeant d'un risque élevé de geyser au moment de l'ouverture de la cochlée. Ainsi, nous avons pu anticiper cette complication au préalable grâce aux données de l'imagerie.

Par ailleurs, dans notre étude, nous avons rapporté également **5** cas de dilatation de l'aqueduc du vestibule (associée à une partition incomplète type II dans **2** cas, isolée et bilatérale dans **3** cas), **3** cas d'élargissement du CAI, et **1** cas d'hypoplasie cochléaire. Par contre, en peropératoire, nous n'avons pas noté de geyser chez ces patients-là. En réexaminant les images scannographiques, nous avons remarqué que tous ces patients avaient une fossette cochléaire d'aspect normal, sans défaut osseux décelable, notamment en regard de la base du modiolus : la cochlée étant complètement séparée du fond du CAI malgré les anomalies morphologiques observées.

Cela laisse suggérer que « malformations de l'oreille interne » n'est pas toujours synonyme de « geyser », et qu'il existe d'autres éléments déterminants (élargissement de la fossette cochléaire, déhiscence au niveau de la base du modiolus ...etc) qui seraient mieux

corrélés au risque de survenue de cette complication, et qui pourraient manquer même en présence d'une malformation cochléo-vestibulaire évidente.

Les résultats de notre étude rejoignent globalement ceux de la littérature :

Hongjian et al¹¹⁰ trouvent dans leur série, que tous les patients ayant présenté un geyser en peropératoire, avaient un défaut osseux sur le scanner, au niveau de la base du modiolus, à l'extrémité latérale du CAI. En revanche, les patients qui n'avaient pas cette anomalie sur le scanner, même en présence de malformations cochléo-vestibulaires apparentes, ne présentaient aucune fuite de LCR au moment de la cochléostomie.

La mise en évidence d'un défaut osseux à l'extrémité latérale du CAI, constitue donc un facteur prédictif de geyser. Par conséquent, cette région anatomique devrait faire l'objet d'une analyse radiologique préopératoire, systématique et minutieuse, afin d'estimer au préalable le risque de survenue de cette complication.

Selon Kamogashira et al¹⁰⁷, en cas de malformation de l'oreille interne, sa classification ne permet pas de prévoir l'occurrence d'un geyser en peropératoire. En effet, dans leur série, aucune différence statistiquement significative n'a été notée, parmi les différents types de malformations, en termes de fréquence de survenue de cet incident. Kamogashira et al¹⁰⁷, expliquent que la classification des malformations de l'oreille interne, proposée initialement par Jackler³¹, puis mise à jour par Sennaroglu³³, est fondée sur des bases purement embryologiques et n'est pas adaptée pour évaluer les risques opératoires.

En revanche, ils constatent dans leur série, que le geyser est plus fréquent en peropératoire, chez les patients ayant au moins une des anomalies radiologiques suivantes :

- Modiolus absent.
- Fossette cochléaire élargie.
- Dilatation de l'aqueduc du vestibule.

Les résultats de leur analyse statistique montrent que ces 3 paramètres, sont fortement corrélés à la survenue d'un geyser, et pourraient donc être considérés comme des éléments prédictifs importants.

L'aqueduc du vestibule est un canal osseux qui relie le vestibule à la fosse crânienne postérieure. Il livre passage au canal endolymphatique. Ce dernier se termine sous la dure-mère de l'angle ponto-cérébelleux, au niveau de la fossette unguéale (orifice endocrânien de l'aqueduc du vestibule), par un renflement : le sac endolymphatique, véritable prolongement endocrânien du labyrinthe membraneux.

De ce fait, la mise en évidence d'une dilatation de l'aqueduc du vestibule sur la TDM ou d'une dilatation du conduit et/ou du sac endolymphatique à l'IRM, ne devrait pas être associée à un risque élevé de geyser au moment de la cochléostomie, car le compartiment endolymphatique est un espace clos, et ne communique pas avec le LCR contenu dans les espaces sous-arachnoïdiens. Cependant cette anomalie est rarement isolée, et s'accompagne le plus souvent de malformations cochléaires (hypoplasie ou absence du modiolus, partition incomplète...etc) pouvant expliquer la fuite du LCR en peropératoire.

De surcroit, dans une étude histopathologique portant sur les malformations de l'oreille interne, Sennaroglu et al¹¹¹ stipulent que la dilatation de l'aqueduc du vestibule serait due à un élargissement du conduit et du sac endolymphatique suite à une sécrétion excessive et anormale d'endolymph durant la vie embryonnaire, et que cette dilatation serait responsable d'une transmission de la pression élevée du LCR au vestibule et à la cochlée, entraînant sur son

passage un large spectre d'anomalies cochléo-vestibulaires. Ainsi, la découverte d'une dilatation de l'aqueduc du vestibule à la TDM ou une dilatation du conduit et/ou du sac endolymphatique à l'IRM, doit inciter à une analyse fine et soigneuse de la cochlée, car la coexistence d'anomalies morphologiques à ce niveau, est fréquente et expose à un risque élevé de geyser.

D'un autre côté, Cabbarzade et al³⁵ rapportent dans leur étude, le cas de 2 patients ayant présenté un geyser au moment de la cochléostomie, malgré qu'ils avaient une TDM préopératoire interprétée initialement comme étant normale. En réexaminant les images scannographiques de ces 2 patients, ils mettent en évidence un élargissement de la fossette cochléaire associé à un défaut osseux au niveau de la base du modiolus faisant communiquer la cochlée avec l'extrémité latérale du CAI (Figure 151).



Figure 151 : TDM des rochers en coupes axiales. L'image (A) montre un élargissement de la fossette cochléaire en postéro-latéral (flèche noire), associé à un défaut osseux au niveau de la base du modiolus, faisant communiquer la cochlée avec le fond du CAI, tandis que l'image (B) montre une fossette cochléaire et un modiolus d'aspect normal sans défaut osseux décelable : la cochlée étant complètement séparée du fond du CAI.³⁵

D'après Cabbarzade et al³⁵, il convient donc d'accorder une attention particulière à cette région anatomique lors du bilan radiologique préopératoire, afin de ne pas passer à côté de ces anomalies, surtout lorsque l'architecture cochléaire paraît à première vue normale.

Cabbarzade et al³⁵ ajoutent aussi que la mise en évidence d'un défaut osseux à l'imagerie, en regard de l'extrémité latérale du CAI, ne se traduit pas systématiquement par un geyser en peropératoire, et cela peut être expliqué par la présence à ce niveau, d'une membrane très fine non détectable par la TDM ou l'IRM, séparant la périlymphe du LCR circulant dans les espaces sous-arachnoïdiens.

En parallèle, McFadden et al¹¹² rapportent eux aussi le cas de 2 patients ayant présenté un geyser au moment de la cochléostomie, malgré qu'ils avaient une TDM préopératoire normale, et en réexaminant cette fois-ci les images scannographiques de ces patients-là, effectivement aucune anomalie suggestive d'un risque élevé de geyser n'a été relevée. Il faut donc garder à l'esprit qu'une TDM strictement normale n'exclut pas la survenue d'un geyser, et que le chirurgien otologiste doit toujours rester vigilant et préparé à gérer ce type de complications en peropératoire.

Varadarajan et al¹¹³ montrent dans leur étude que les déhiscences siégeant au niveau de la base du modiolus, peuvent être difficiles à mettre en évidence sur les coupes scannographiques « standards », et nécessitent parfois le recours à des reconstructions dans un plan oblique. Cela pourrait induire le radiologue ainsi que le chirurgien en erreur, et les pousser à interpréter, de manière erronée, la TDM des rochers comme étant normale.

Un autre paramètre pouvant être impliqué dans la survenue du geyser, est la dilatation de l'aqueduc de la cochlée : il s'agit d'un canalicule osseux prenant naissance au niveau de la paroi inférieure de la rampe tympanique du segment initial non enroulé du tube limacéen, et faisant communiquer l'espace périlymphatique avec les espaces sous-arachnoïdiens de la fosse crânienne postérieure.

Des cas rapportés dans la littérature suggèrent que ce canalicule peut être perméable chez certains individus :

- Dépôts d'hématies dans l'aqueduc de la cochlée après une hémorragie méningée.¹¹⁴
- Présence de fluorescéine en regard de la rampe tympanique, après injection intrathécale (au niveau lombaire).¹¹⁵

La mise en évidence d'une dilatation témoigne donc d'une perméabilité anormale, et pourrait être associée à un risque élevé de geyser en peropératoire. Néanmoins, d'après Jackler et Hwang¹¹⁶, cette anomalie reste extrêmement rare voire quasi-inexistante.

5. Les ossifications cochléaires :

L'impact des données de l'imagerie sur la chirurgie de l'implantation cochléaire, en termes d'évaluation préopératoire de la perméabilité cochléaire, a fait l'objet de nombreuses études dans la littérature. (Tableau XXIV)

Le tableau suivant est une synthèse des résultats fournis par ces études :

Tableau XXIV : Étude de la perméabilité cochléaire : corrélations radio-chirurgicales.

Série	Nombre de cas	Modalité d'imagerie étudiée	Se	Sp	Vpp	Vpn
Jackler et al ³⁸	36	TDM des rochers	54%	100%	100%	79%
Frau et al ⁴³	81	Idem	66,7%	100%	100%	81,4%
Wiet et al ¹¹⁷	28	Idem	73%	100%	100%	83,3%
Balkany et al ⁴⁰	105	Idem	73,3%	100%	100%	96%
Nair et al ¹¹⁸	335	Idem	71%	100%	100%	94%
Parisier et al ¹¹⁹	22	Idem	42%	100%	100%	21,4%
Bettman ³⁶	46	Idem	56%	100%	100%	90%
Silberman ⁴⁵	17	Idem	66,7%	100%	100%	93,3%
Seidman ⁴²	81	Idem	35,7%	98,1%	90,9%	74,6%
Johnson et al ³⁹	13	Idem	81,8%	50%	90%	33,3%
Bath et al ¹²⁰	26	Idem	58,3%	71,4%	63,6%	66,6%
Notre série	254	TDM des rochers	77,8%	100%	100%	99,2%
Silberman ⁴⁵	17	IRM	100%	100%	100%	100%
Isaacson et al ⁴⁶	25	Idem	94%	87,5%	94,1%	87,5%
Notre série	254	Idem	100%	100%	100%	100%

A première vue, on remarque que la majorité des études que nous avons citées dans ce tableau, ne rapportent aucun « faux positif » sur la TDM des rochers, conférant à cet examen radiologique une valeur prédictive positive et une spécificité de 100%. En d'autres termes, tous les cas suspectés d'avoir une ossification cochléaire sur la TDM, ont été confirmés en peropératoire.

Un scanner « anormal » permet donc de prévoir de manière fiable, la présence d'un défaut de perméabilité cochléaire.

La TDM des rochers manque néanmoins de sensibilité dans certaines études (nombre relativement élevé de « faux négatifs »). Cela peut être expliqué par l'existence, dans certains cas, de remaniements fibro-inflammatoires intracochléaires en cours de calcification (précurseurs à une ossification séquellaire), qui sont souvent difficiles à détecter sur la TDM.

Ainsi, un scanner « normal » n'exclut pas la présence d'une obstruction en regard de la lumière cochléaire. Le chirurgien doit donc être prêt à gérer ce genre de situations inattendues en peropératoire, en ayant une bonne maîtrise des techniques et alternatives chirurgicales destinées à planter des cochlées non perméables. Aussi, il ne faut jamais hésiter à suspecter la présence d'un défaut de perméabilité cochléaire, même si le scanner est normal, et ce particulièrement en cas d'antécédent de méningite, de traumatisme du rocher, d'otospongiose cochléaire ou autre facteur de risque prédisposant à la survenue d'une ossification labyrinthique.

Nonobstant, dans la série de Balkany et al⁴⁰, aucun cas d'ossification cochléaire majeure, étendue au-delà du segment inférieur du tour basal, n'a été rencontré de manière inopinée en peropératoire. Les patients classés « faux négatifs » avaient tous des formes d'ossification modérées. Par conséquent, un fraisage de quelques millimètres à l'intérieur de la rampe tympanique du tour basal était suffisant pour entrevoir une lumière perméable, permettant une insertion complète chez ces patients.

Frau et al⁴³ soutiennent les résultats de Balkany⁴⁰, et affirment dans leur étude que les phénomènes de fibrose intracochléaire, non décelés par le scanner, ne présentent pas d'impact significatif sur les résultats de la chirurgie.

Un autre point important à souligner, est qu'il faut également veiller à ce que les images scannographiques soient récentes, afin de minimiser le taux de « faux négatifs ». En effet, l'ossification labyrinthique étant un processus évolutif dans le temps, un scanner obtenu à plusieurs mois avant le geste opératoire, risque d'être normal, et ne pourra donc pas refléter de manière fiable l'état de la cochlée.

D'autre part, quelques études rapportent des « faux positifs » sur le scanner. Cela pourrait être expliqué par un effet de volume partiel. Cet effet est dû à l'existence au sein d'un même pixel de structures de densité très différentes. Par exemple : capsule otique de densité osseuse et son contenu de densité liquidienne.

Afin de palier à cet artefact, il faut réaliser des coupes suffisamment fines, pour que la taille des pixels soit inférieure à celle des structures étudiées.

D'un autre côté, l'IRM de l'oreille interne montre une excellente valeur diagnostique, supérieure au scanner, en termes d'évaluation de la perméabilité cochléaire. C'est l'examen de choix, car elle permet d'apprécier le signal du contenu liquidien du labyrinthe.

L'analyse du signal permet de dépister à un stade très précoce, les remaniements fibro-inflammatoires (souvent non détectés par le scanner), qui risquent de compromettre la perméabilité cochléaire. En d'autres termes, elle permet d'évaluer la quantité de liquide labyrinthique restant, et donc de statuer sur l'urgence de l'implantation cochléaire, avant l'apparition d'une ossification majeure et extensive nécessitant le recours à des alternatives chirurgicales complexes.

Isaacson et al⁴⁶ démontrent dans leurs série qu'il existe une corrélation directe entre les données de l'IRM (siège et degré d'extension de la fibrose/ossification) et les constatations

chirurgicales (degré de difficulté rencontré en peropératoire / le type de technique chirurgicale mise en œuvre afin d'obtenir une insertion optimale) avec une **Se**, une **Sp**, une **Vpp** et une **Vpn** de **94%, 87,5%, 94,1% et 87,5%** respectivement.

Isaacson et al⁴⁶ précisent que dans leurs série, 2 patients avaient une imagerie de mauvaise qualité, et après les avoir exclu, la sensibilité ainsi que la valeur prédictive négative de l'IRM a augmenté considérablement pour atteindre **100%**.

La qualité des images fournies par le radiologue, ainsi que le protocole d'imagerie utilisé pour évaluer l'état de la cochlée en préopératoire, sont donc des éléments tout autant importants qu'il faut prendre en considération.



CONCLUSION



L'implantation cochléaire a révolutionné la prise en charge des surdités neurosensorielles. Elle a longtemps démontré son utilité et son efficacité, et constitue le traitement de choix pour la réhabilitation des surdités sévères à profondes bilatérales.

L'imagerie occupe une place essentielle dans l'évaluation des candidats éligible à l'implantation cochléaire. Grâce aux progrès des techniques d'imagerie, une meilleure compréhension de l'anatomie intriquée de l'os temporal, a permis le développement de techniques chirurgicales innovantes permettant d'implanter les cas les plus compliqués.

L'analyse soigneuse des images radiologiques en préopératoire, permet au chirurgien otologiste de concevoir une stratégie d'accès chirurgical adaptée, aux conditions anatomiques spécifiques de chaque patient. Cette approche vise à faciliter la mise en place de l'implant, tout en préservant l'intégrité des structures nobles adjacentes, et en minimisant le risque de complications et de traumatismes iatrogènes.

Le scanner des rochers est particulièrement utile pour analyser les repères osseux de la mastoïde et de la caisse du tympan. Il permet d'étudier avec précision la pneumatisation des cavités tympano-mastoidiennes, la position du sinus sigmoïde et des méninges, ainsi que le trajet du nerf facial. Il fournit au chirurgien une idée sur l'accessibilité de la FR, et permet également d'analyser le labyrinthe osseux à la recherche d'ossifications cochléaires, ou de malformations labyrinthiques.

D'autre part, l'IRM est plus performante pour l'étude des espaces liquidiens et des structures nerveuses de l'oreille interne. Elle permet de vérifier la présence des nerfs acoustiques et l'absence de pathologie retro-cochléaire. L'analyse du signal permet de dépister à un stade très précoce, les remaniements fibro-inflammatoires (souvent non détectés par le scanner),

permettant d'identifier les patients à risque d'évoluer vers la fibrose et l'ossification, et donc de statuer sur l'urgence de l'implantation cochléaire.

Ces 2 modalités d'imagerie fournissent des renseignements complémentaires et pertinents permettant au chirurgien d'optimiser sa technique chirurgicale. Il paraît donc évident que les données de l'imagerie peuvent avoir un impact significatif sur la chirurgie de l'implantation cochléaire.

Une parfaite connaissance de la technique opératoire et des principaux repères chirurgicaux, reste essentielle pour l'interprétation des images radiologiques et pour une meilleure corrélation radio-chirurgicale. L'avènement des techniques de neuro-navigation et de chirurgie robotisée et mini-invasive pour la préservation de l'audition résiduelle, pourrait bénéficier des progrès de l'imagerie, et nécessite une étroite collaboration entre radiologue expérimenté et chirurgien otologiste.



RESUMES



Résumé :

L'imagerie occupe une place essentielle dans l'évaluation des candidats éligible à l'implantation cochléaire. Elle participe à la sélection appropriée des candidats, en éliminant les contre-indications de cette chirurgie, et permet de dépister les éventuelles difficultés chirurgicales, susceptible de compromettre la faisabilité du geste.

L'objectif de notre travail est d'évaluer la corrélation entre les données radiologiques et chirurgicales chez les patients implantés cochléaire, et d'étudier l'impact des données de l'imagerie sur la chirurgie de l'implantation cochléaire.

Il s'agit d'une étude rétrospective descriptive et analytique, étalée sur une période de 6 ans, du 1er Janvier 2017 au 1er Janvier 2023, portant sur **254** cas de surdité de perception sévère ou profonde bilatérale, implantés au service d'Oto-Rhino-Laryngologie et Chirurgie Cervico-Faciale du Centre Hospitalier Universitaire Mohammed VI de Marrakech. Les données de l'imagerie préopératoire ont été analysées sur une série de paramètres puis confrontées aux constations chirurgicales.

L'analyse de nos résultats a montré un bon degré d'accord entre le scanner et la chirurgie dans l'étude de la position des méninges temporales ($k=0,72$) et un accord excellent pour l'évaluation de la pneumatisation de la mastoïde ($k=0,92$) et du récessus facial ($k=0,93$), de la position du sinus sigmoïde ($k=0,85$), et du trajet du nerf facial ($k=0,88$).

La mastoïdectomie était rendue difficile par la présence d'une éburnation mastoïdienne, une procidence du sinus sigmoïde, ou des méninges temporales ($p<0,001$). La tympanotomie postérieure était significativement plus difficile à réaliser en présence d'un récessus facial acellulaire ($p<0,001$). La méthode Mandour et Elzayat étaient très utiles pour l'étude de

l'accessibilité de la fenêtre ronde (FR), avec un impact significatif sur la technique opératoire. Lorsque ces 2 méthodes indiquent potentiellement des difficultés d'accès chirurgical, il existe une forte probabilité qu'une cochléostomie soit nécessaire pour accéder à la rampe tympanique du tour basal de la cochlée ($p<0,001$). L'imagerie par résonnance magnétique était supérieure au scanner dans l'évaluation de la perméabilité cochléaire, avec une Se, une Sp, une Vpp, et une Vpn de **100%**. Le type de malformation n'était pas corrélé à l'incidence du geyser en per-op, et le risque était plus élevé en présence d'une fossette cochléaire élargie, d'un défaut osseux au niveau de la base du modiolus ou d'un modiolus incomplet ou complètement absent ($p<0,001$).

L'analyse soigneuse des images radiologiques en préopératoire, permet au chirurgien otologiste de concevoir une stratégie d'accès chirurgical adaptée, aux conditions anatomiques spécifiques de chaque patient. Cette approche vise à faciliter la mise en place de l'implant, tout en préservant l'intégrité des structures nobles adjacentes, et en minimisant le risque de complications et de traumatismes iatrogènes.

Abstract :

Imaging plays a pivotal role in the assessment of candidates eligible for cochlear implantation (CI). It contributes to appropriate patients' selection by eliminating CI surgery contraindications and aids the surgeon to identify potential surgical hazards that may have a significant impact on the surgical approach.

The aim of this study is to evaluate the correlation between radiological and surgical data during CI surgery and to investigate the impact of preoperative imaging on the surgical approach.

This was a retrospective observational study on a series of 254 CI surgeries performed at our ENT Head and Neck surgery department during the period from January 2017 to January 2023. Preoperative imaging data were analyzed across a series of parameters and subsequently compared to surgical findings.

Our results revealed a high degree of agreement between CT scan and surgical findings in the assessment of the level of the temporal dura ($k=0.72$). An excellent agreement was observed for the assessment of mastoid pneumatization ($k=0.92$), facial recess pneumatization ($k=0.93$), sigmoid sinus location ($k=0.85$), and the course of the facial nerve ($k=0.88$).

Mastoidectomy was significantly more challenging in the presence of mastoid sclerosis, anteriorly located sigmoid sinus, or low-lying temporal dura ($p<0.001$). Posterior tympanotomy was significantly more difficult in the presence of a non-pneumatized facial recess ($p<0.001$). Both Mandour's and Elzayat's method showed a significant correlation with intra-operative scoring of round window (RW) visibility, and had a significant impact on the surgical approach. When these two methods both indicated potential difficult surgical access, there was a strong

probability that drilling a cochleostomy would be necessary to access the scala tympani of the basal turn of the cochlea ($p<0.001$). MRI outperformed CT scan in the assessment of cochlear patency, with a sensitivity, a specificity, a positive predictive value, and a negative predictive value all at **100%**. The type of inner ear malformation was not correlated with the incidence of cerebrospinal fluid (CSF) gusher, and the risk was significantly higher in the presence of an enlarged cochlear fossa, bony defects at the base of the modiolus, or absent completely modiolus ($p<0.001$).

Thorough analysis of preoperative imaging of the temporal bone enables the otologic surgeon to elaborate a tailored surgical strategy that accommodates the specific anatomy of each candidate. This approach aims to facilitate implant placement while preserving the integrity of adjacent structures and minimizing the risk of complications and iatrogenic injuries.

ملخص :

أسفرت النتائج البحثية عن استئثار التصوير التشخيصي الطبي بمكانة بارزة في تقييم المرضى المرشحين لعملية زراعة قوقعة الأذن، من حيث الإسفار عن موانع الجراحة والكشف عن صعوباتها المحتملة، التي من شأنها أن تؤثر سلبا على نجاح التدخل الجراحي.

تبين هذه الدراسة تقييم وجود الارتباط بين البيانات الإشعاعية والجراحية في علاج مرض الصمم الحسي الراغبين في زراعة القوقة، والتنقيب عن مدى تأثير كشوفات الأشعة وبياناتها على عملية زراعة القوقة وتثبيت غرسها.

يتعلق الأمر بدراسة وصفية وتحليلية واسترجاعية، انتظمت في ست سنوات، من فاتح يناير 2017 إلى فاتح يناير 2023، وغنت ب 245 حالة من الصمم الحسي العصبي الحاد أو فقدان السمع العميق (ثنائي الجانب)، مستفيدة من زراعة قوقة الأذن بجناح أمراض الأنف والأذن والحنجرة، التابع للمركز الاستشفائي الجامعي محمد السادس بمراكنش. وقد تم تحليل بيانات ونتائج التصوير التشخيصي-الممهد للجراحة، وإخضاعها لسلسلة من المعايير، ثم مقارنتها باستنتاجات ما بعد الجراحة.

وقد أسفر تحليل النتائج عن درجة عالية من التوافق بين التصوير المقطعي المحوسب والتدخل الجراحي في دراسة موضع السحايا ($k=0,72$)، وتوافقا مبينا في تقييم تهوية الخشاء ($k=0,92$)، والفتحة الوجهية ($k=0,93$)، وموضع الجيب السيني ($k = 0.85$) ومسار العصب الوجهي ($k=0,88$) .

كان استئصال الخشاء - وهو العظم البارز خلف الأذن - عملية معقدة، إثر وجود تصلب في الخشاء، أو هبوط الجيب السيني، أو السحايا الصدغية ($p<0.001$) . وقد أثبتت طريقة محمود منظور وطريقة سعد الزيات، عن فعاليتها في دراسة إمكانية الوصول إلى النافذة المستديرة (FR)، وكان لها الأثر على مستوى تقنيات الجراحة. حين تشير الطريقتان المذكورتان إلى عراقيل وصعوبات في الوصول الجراحي، فإنه ثمة احتمال كبير بأن يكون إجراء ثقب في القوقة(cochleostomie) ضرورة للوصول إلى السلم الطبلي للجزء القاعدي للقوقة. هذا، وكانت صور الرنين المغناطيسيي أفضل من الفحص بالأشعة المقطعة في تقييم سلامة القناة السمعية، مع تسجيل نسبة 100٪، على مستوى الحساسية (Se) والنوعية (Sp)، والقيمة التنبؤية الإيجابية (Vpp) ، والقيمة التنبؤية السلبية (Vpn) . ولم يكن نوع التشوه مرتبطا بحدوث geyser en per-op، بل كان الخطير أشد مع وجود اتساع في ثقب القوقة أو عيب عظيم على مستوى عِماد القوقة، أو نقصان في عِماد القوقة أو انعدامه بشكل تام ($p<0,001$).

يتبع التحليل الدقيق للصور الإشعاعية - قبل الجراحة- للطبيب المختص، إمكانية صياغة استراتيجية تمكنه من الوصول إلى الموضع الجراحي، تتناسب مع الظروف التشريحية المحددة لكل مريض. ويهدف هذا النهج إلى تسهيل ونجاح الزراعة، مع الحفاظ على سلامة الهياكل الحساسة المجاورة، وتقليل مخاطر الآثار الجانبية والإصابات الناتجة عن التدخلات الطبية.



BIBLIOGRAPHIE



1. **Dauman R, Carbonnière B, Soriano V, et al.**
Implants cochléaires chez l'adulte et l'enfant.
 2. **Hijazi M.**
Évaluation du programme d'implantation cochléaire pédiatrique au CHU de Rouen.
 3. **Imagerie de l'Oreille et du Rocher**
Rapport de la Société française d'ORL, 2010.
 4. **Elzayat S, Mandour M, et al.**
Correlation of Preoperative Computerized Tomography Scoring System and the Surgical Encounters in Cochlear Implantation. *J Int Adv Otol.* 2021;17(3):200–206.
 5. **Pereira Júnior AR, Pinheiro SD, Castro JDV, Ximenes Filho JA, Freitas MR.**
Mastoidectomy: anatomical parameters x surgical difficulty. *Int. Arch. Otorhinolaryngol.* 2012;16(1):57–61
 6. **Mandour MF, Khalifa MA, Khalifa HA, Tomoum MO.**
A novel radiologic check test of round window accessibility for cochlear implantation: Our experience in 198 cases. *Clin Otolaryngol.* 2017;42(5):1108–1111.
 7. **Elzayat S, Mandour M, et al.**
Predicting Round Window Visibility During Cochlear Implantation Using High Resolution CT scan. *J Int Adv Otol.* 2018;15:15–15.
 8. **Sennaroğlu L, Bajin MD.**
Classification and Current Management of Inner Ear Malformations. *Balk Med J.* 2017;34(5):397–411.
 9. **Widmann G, Dejaco D, Luger A, Schmutzhard J.**
Pre- and post-operative imaging of cochlear implants: a pictorial review. *Insights Imaging.* 2020;11(1):93.
 10. **Vogl T, Tawfik A, Emam A, et al.**
Pre-, Intra- and Post-Operative Imaging of Cochlear Implants. *RöFo – Fortschritte Auf Dem Geb Röntgenstrahlen Bildgeb Verfahr.* 2015;187(11):980–989.
 11. **Thomassin JM, Dessi P, Danvin JB, Forman C.**
Anatomie de l'oreille moyenne. *EMC – Oto–Rhino–Laryngol.* 2008;3(2):1–19.
-

12. **Elmaleh-Bergès M, Van Den Abbeele T.**
Le sourd est un enfant: qu'est-ce que ça change. *J Radiol.* 2006;87(11):1795–1810.
13. **Han SJ, Song MH, Kim J, Lee WS, Lee HK.**
Classification of temporal bone pneumatization based on sigmoid sinus using computed tomography. *Clin Radiol.* 2007;62(11):1110–1118.
14. **Park E, Amoodi H, Kuthubutheen J, Chen JM, Nedzelski JM, Lin VYW.**
Predictors of round window accessibility for adult cochlear implantation based on pre-operative CT scan: a prospective observational study. *J Otolaryngol – Head Neck Surg.* 2015;44(1):20.
15. **Alexandria, Egypt, Galal A, Caruso A, et al.**
Effect of Sigmoid Sinus Position on the Difficulty and Approaches to Cochlear Implantation Surgery. *J Int Adv Otol.* 2021;17(1):23–29.
16. **Sun DI, Jang KH, Park YS, Yeo SW, Choi J, Lee SJ.**
A Suggested New Classification System for the Anatomic Variations of the Sigmoid Sinus: A Preliminary Study. *Int. Adv. Otol.* 2009; 5:(1) 1–5
17. **Woolley AL, Oser AB, Lusk RP, Bahadory RS.**
Preoperative Temporal Bone Computed Tomography Scan and Its Use in Evaluating the Pediatric Cochlear Implant Candidate. *The Laryngoscope.* 1997;107(8):1100–1106.
18. **Alam-Eldeen MH, Rashad UM, Ali AHA.**
Radiological requirements for surgical planning in cochlear implant candidates. *Indian J Radiol Imaging.* 2017;27(03):274–281.
19. **Legent F, Perlemuter L, Vandenbrouck C.**
Cahiers d'anatomie ORL: Tome 1, Oreille. Masson; 1984.
20. **Barbut J, Tankéré F, Bernat I.**
Anatomia del nervo faciale. *EMC – Otorinolaringoiatr.* 2017;16(3):1–19.
21. **England R, Strachan D, Raine C.**
Facial nerve aberrations and their implications for cochlear implantation. *Cochlear Implants Int.* 2000;1(2):88–94.

22. **Sennaroglu L, Saatci I.**
A new classification for cochleovestibular malformations. *The Laryngoscope*. 2002;112(12):2230–2241.
23. **Nager GT, Proctor B.**
Anatomic variations and anomalies involving the facial canal. *Otolaryngol Clin North Am*. 1991;24(3):531–553.
24. **Benson JC, Diehn F, Passe T, et al.**
The Forgotten Second Window: A Pictorial Review of Round Window Pathologies. *Am J Neuroradiol*. 2020;41(2):192–199.
25. **Young RJ, Shatzkes DR, Babb JS, Lalwani AK.**
The cochlear–carotid interval: anatomic variation and potential clinical implications. *AJNR Am J Neuroradiol*. 2006;27(7):1486–1490.
26. **Clarke R, Booth T.**
CT and MR Imaging of the Pediatric Temporal Bone: Normal Variants and Pitfalls. *Curr Radiol Rep*. 2017;5(8):34.
27. **Lo WW, Solti–Bohman LG, McElveen JT.**
Aberrant carotid artery: radiologic diagnosis with emphasis on high–resolution computed tomography. *RadioGraphics*. 1985;5(6):985–993.
28. **Dubrulle F, Martin–Duverneuil N, Moulin G, et al.**
Imagerie en ORL.; 2012.
29. **Lindemann TL, Austin KL, Gadre AK**
Successful Cochlear Implantation in the Face of Persistent Stapedial Artery: Surgical Technique and Imaging Features. *J Int Adv Otol*. 2020;16(3):463–466.
30. **Pekcevik Y, Pekcevik R.**
Why should we report posterior fossa emissary veins? *Diagn Interv Radiol*, 2013.
31. **Jackler RK, Luxford WM, House WF.**
Congenital malformations of the inner ear: A classification based on embryogenesis. *The Laryngoscope*. 2009;97(S40):2–14.

32. **Sennaroglu L, Sarac S, Ergin T.**
Surgical Results of Cochlear Implantation in Malformed Cochlea. *Otol Neurotol.* 2006;27(5):615–623.
33. **Sennaroglu L.**
Cochlear Implantation in Inner Ear Malformations — A Review Article. *Cochlear Implants Int.* 2010;11(1):4–41.
34. **Young JY, Ryan ME, Young NM.**
Preoperative Imaging of Sensorineural Hearing Loss in Pediatric Candidates for Cochlear Implantation. *RadioGraphics.* 2014;34(5):E133–E149.
35. **Cabbarzade C, Sennaroglu L, Süslü N.**
CSF gusher in cochlear implantation: The risk of missing CT evidence of a cochlear base defect in the presence of otherwise normal cochlear anatomy. *Cochlear Implants Int.* 2015;16(4):233–236.
36. **Bettman RHR, Graamans K, van Olphen AF, Zonneveld FW, Huizing EH.**
Semilongitudinal and axial CT planes in assessing cochlear patency in cochlear implant candidates. *Auris Nasus Larynx.* 2004;31(2):119–124.
37. **Taha T, Wahba H, Ibrahim AS, AbdElazim Y.**
Cochlear implant tailored imaging protocol: What clinicians need to know. *Egypt J Radiol Nucl Med.* 2015;46(1):33–43.
38. **Jackler RK, Luxford WM, Schindler RA, McKerrow WS.**
Cochlear patency problems in cochlear implantation. *The Laryngoscope.* 1987;97(7 Pt 1):801–805.
39. **Johnson MH, Hasenstab MS, Seicshnaydre MA, Williams GH.**
CT of postmeningitic deafness: observations and predictive value for cochlear implants in children. *AJNR Am J Neuroradiol.* 1995;16(1):103–109.
40. **Balkany T, Gantz B, Nadol JB.**
Multichannel Cochlear Implants in Partially Ossified Cochleas. *Ann Otol Rhinol Laryngol.* 1988;97(5_suppl2):3–7.
41. **Balkany T, Gantz B, Steenerson R, Cohen N.**
Systematic approach to electrode insertion in the ossified cochlea. *Otolaryngol Head Neck Surg.* 1996;114(1):4–11.

42. **Seidman DA, Chute PM, Parisier S.**
Temporal bone imaging for cochlear implantation. *The Laryngoscope*. 1994;104(5):562–565.
43. **Frau GN, Luxford WM, Lo WWM, Berliner KI, Telischi FF.**
High-resolution computed tomography in evaluation of cochlear patency in implant candidates: a comparison with surgical findings. *J Laryngol Otol*. 1994;108(9):743–748.
44. **Klein HM, Bohndorf K, Hermes H, Schütz WF, Günther RW, Schlöndorff G.**
Computed tomography and magnetic resonance imaging in the preoperative work-up for cochlear implantation. *Eur J Radiol*. 1992;15(1):89–92.
45. **Silberman B, Garabedian EN, Moatti L, Denoyelle F, Roger G.**
Role of Modern Imaging Technology in the Implementation of Pediatric Cochlear Implants. *Ann Otol Rhinol Laryngol*. 1995;104(1):42–46.
46. **Isaacson B, Booth T, Kutz JW, Lee KH, Roland PS.**
Labyrinthitis ossificans: How accurate is MRI in predicting cochlear obstruction? *Otolaryngol Neck Surg*. 2009;140(5):692–696.
47. **Parry DA, Booth T, Roland PS.**
Advantages of Magnetic Resonance Imaging over Computed Tomography in Preoperative Evaluation of Pediatric Cochlear Implant Candidates. *Otol Neurotol*. 2005;26(5):976–982.
48. **Kopelovich JC, Germiller JA, Laury AM, Shah SS, Pollock AN.**
Early Prediction of Postmeningitic Hearing Loss in Children Using Magnetic Resonance Imaging. *Arch Otolaryngol Neck Surg*. 2011;137(5):441.
49. **Balkany TJ, Dreisbach JN, Seibert CE.**
Radiographic Imaging of the Cochlear Implant Candidate: Preliminary Results. *Otolaryngol Neck Surg*. 1986;95(5):592–597.
50. **Bessayah A.**
Imagerie et bilan pré-implantatoire cochléaire chez l'enfant. 2008:134.
51. **Stéphane Louryan, Marc Lemort**
Imagerie de l'oreille et des voies cochléo-vestibulaires, Sauramps Medical, 2013.

52. **Davidson HC, Harnsberger HR, Lemmerling MM, et al.**
MR evaluation of vestibulocochlear anomalies associated with large endolymphatic duct and sac. *AJNR Am J Neuroradiol.* 1999;20(8):1435–1441.
53. **Naganawa S, Ito T, Iwayama E, et al.**
MR Imaging of the Cochlear Modiolus: Area Measurement in Healthy Subjects and in Patients with a Large Endolymphatic Duct and Sac. *Radiology.* 1999;213(3):819–823.
54. **Casselman JW, Offeciers FE, Govaerts PJ, et al.**
Aplasia and hypoplasia of the vestibulocochlear nerve: diagnosis with MR imaging. *Radiology.* 1997;202(3):773–781.
55. **Lina-Granade G, Truy E.**
Stratégie diagnostique et thérapeutique devant une surdité de l'enfant. *J Pédiatrie Puériculture.* 2017;30(5–6):228–248.
56. **Moon IJ, Kim EY, Park GY, et al.**
The Clinical Significance of Preoperative Brain Magnetic Resonance Imaging in Pediatric Cochlear Implant Recipients. *Audiol Neurotol.* 2012;17(6):373–380.
57. **Tamplen M, Schwalje A, Lustig L, Alemi AS, Miller ME.**
Utility of preoperative computed tomography and magnetic resonance imaging in adult and pediatric cochlear implant candidates: Preoperative CT and MRI in CI Candidates. *The Laryngoscope.* 2016;126(6):1440–1445.
58. **Jonas NE, Ahmed J, Grainger J, et al.**
MRI brain abnormalities in cochlear implant candidates: How common and how important are they? *Int J Pediatr Otorhinolaryngol.* 2012;76(7):927–929.
59. **Luxford WL, Cullen RD.**
Surgery for Cochlear Implantation. *Otologic Surgery.* Elsevier; 2010:373–381.
60. **Philippe Bordure, Alain Robier, Olivier Malard.**
Chirurgie otologique et otoneurologique, Masson, 2015.
61. **Truy E, Bouccara D, Sterkers O, Triglia JM.**
Techniques chirurgicales d'implantations d'aides auditives en otoneurologie. *EMC – Tech Chir – Tête Cou.* 2009;4(1):1–20.

62. **Durand N, Espitalier F, Malard O, Bordure P.**
Chirurgie des cavités postérieures de l'oreille moyenne et épitympanotomies. EMC – Tech Chir – Tête Cou. 2010;5(1):1–16.
63. **K. Hssaine.**
L'implantation cochléaire: expérience du service ORL CHU Mohammed VI Marrakech (2007–2010)
64. **Roland PS, Wright CG, Isaacson B.**
Cochlear Implant Electrode Insertion: The Round Window Revisited: The Laryngoscope. 2007;117(8):1397–1402.
65. **Leong AC, Jiang D, Agger A, Fitzgerald-O'Connor A.**
Evaluation of round window accessibility to cochlear implant insertion. Eur Arch Otorhinolaryngol. 2013;270(4):1237–1242.
66. **Angeli RD, Lavinsky J, Setogutti ET, Lavinsky L.**
The Crista Fenestra and Its Impact on the Surgical Approach to the Scala Tympani during Cochlear Implantation. Audiol Neurotol. 2017;22(1):50–55.
67. **Mehanna AM, Abdelnaby MM, Eid M.**
The Anatomy and Anatomical Variations of the Round Window Prechamber and Their Implications on Cochlear Implantation: An Anatomical, Imaging, and Surgical Study. Int Arch Otorhinolaryngol. 2020;24(03): e288–e298.
68. **Waltzman SB, Roland JT.**
Cochlear Implantation in Children Younger Than 12 Months. Pediatrics. 2005;116(4): e487–e493.
69. **Waltzman SB, Cohen NL.**
Cochlear implantation in children younger than 2 years old. Am J Otol. 1998;19(2):158–162.
70. **Geers AE, Nicholas JG, Sedey AL.**
Language Skills of Children with Early Cochlear Implantation: Ear Hear. 2003;24(Supplement):46S–58S.

71. **Svirsky MA, Teoh SW, Neuburger H.**
Development of Language and Speech Perception in Congenitally, Profoundly Deaf Children as a Function of Age at Cochlear Implantation. *Audiol Neurotol.* 2004;9(4):224–233.
72. **Dettman SJ, Pinder D, Briggs RJS, Dowell RC, Leigh JR.**
Communication Development in Children Who Receive the Cochlear Implant Younger than 12 Months: Risks versus Benefits. *Ear Hear.* 2007;28(2):11S–18S.
73. **Dettman SJ, Dowell RC, Choo D, et al.**
Long-term Communication Outcomes for Children Receiving Cochlear Implants Younger Than 12 Months: A Multicenter Study. *Otol Neurotol.* 2016;37(2):e82–e95.
74. **Leigh J, Dettman S, Dowell R, Briggs R.**
Communication Development in Children Who Receive a Cochlear Implant by 12 Months of Age. *Otol Neurotol.* 2013;34(3):443–450.
75. **Colletti L.**
Long-term follow-up of infants (4–11 months) fitted with cochlear implants. *Acta Otolaryngol (Stockh).* 2009;129(4):361–366.
76. **Holman MA, Carlson ML, Driscoll CLW, et al.**
Cochlear Implantation in Children 12 Months of Age and Younger. *Otol Neurotol.* 2013;34(2):251–258.
77. **Wasson JD, Briggs RJS.**
Contemporary surgical issues in paediatric cochlear implantation. *Int J Audiol.* 2016;55(sup2): S77–S87.
78. **Jöhr M, Ho A, Wagner CS, Linder T.**
Ear Surgery in Infants Under One Year of Age: Its Risks and Implications for Cochlear Implant Surgery. *Otol Neurotol.* 2008;29(3):310–313.
79. **Luxford WM, House WF.**
Cochlear Implants in Children: Medical and Surgical Considerations. *Ear Hear.* 1985.

80. **Gülhan Yaşar N, Karamert R, Tutar H, Uğur MB, Hazır B, Bayazit YA.**
Cochlear Implantation in Chronic Otitis Media with and without Cholesteatoma: Surgical Considerations and Auditory Outcomes. ORL. 2021;83(4):280–285.
81. **Cevizci R, Dilci A, Celenk F, Karamert R, Bayazit Y.**
Surgical considerations and safety of cochlear implantation in otitis media with effusion. Auris Nasus Larynx. 2018;45(3):417–420.
82. **Postelmans JTF, Stokroos RJ, Linmans JJ, Kremer B.**
Cochlear implantation in patients with chronic otitis media: 7 years' experience in Maastricht. Eur Arch Otorhinolaryngol. 2009;266(8):1159–1165.
83. **Tolisano AM, Wick CC, Kutz JW.**
A Novel Surgical Technique for the Management of Cerebrospinal Fluid Gusher Encountered During Cochlear Implantation. Otol Neurotol. 2020;41(9):e1177.
84. **Kempf, Tempel, Johann, Lenarz.**
Complications of cochlear implant surgery in children and adults. Laryngo-Rhino-Otol. 1999;78(10):529–537.
85. **Sennaroğlu L, Atay G, Bajin MD.**
A new cochlear implant electrode with a “cork”-type stopper for inner ear malformations. Auris Nasus Larynx. 2014;41(4):331–336.
86. **Tóth M, Alpár A, Patonay L, Oláh I.**
Development and surgical anatomy of the round window niche. Ann Anat – Anat Anz. 2006;188(2):93–101.
87. **Shapira Y, Eshraghi AA, Balkany TJ.**
The perceived angle of the round window affects electrode insertion trauma in round window insertion – an anatomical study. Acta Otolaryngol (Stockh). 2011;131(3):284–289.
88. **Sennaroglu L, Tahir E.**
Cochlear implantation in a subject with a narrow facial recess: Importance of preoperative radiological findings. Cochlear Implants Int. 2016;17(3):158–161.
89. **Hashemi J, Rajati M, Rezayani L, Bahadori A.**
Temporal Bone Measurements; A Comparison Between Rendered Spiral CT and Surgery. Iran J Radiol. 2014;11(3).

90. Ichijo H, Hosokawa M, Shinkawa H. Differences in size and shape between the right and left sigmoid sinuses. *Eur Arch Otorhinolaryngol.* 1993;250(5).
91. Mandour M, Tomoum M, El Zayat S, Hamad H, Amer M. Surgeon Oriented Preoperative Radiologic Evaluation in Cochlear Implantation – Our experience with a Proposed Checklist. *Int Arch Otorhinolaryngol.* 2019;23(02):137–141.
92. Telmesani LM, Alrammah MK. Telmesani Radiological Classification of the Location of the Vertical Segment of the Facial Nerve: Impact on Surgical Approach in Cochlear Implant Surgery. *Otol Neurotol.* 2017;38(9):e335–e338.
93. Singh A, Kumar R, Sagar P. Herald Cell: The Gateway to Posterior Tympanotomy—A Cadaveric Study. *Indian J Otolaryngol Head Neck Surg.* 2019;71(4):517–519.
94. Tomura N, Sashi R, Kobayashi M, Hirano H, Hashimoto M, Watarai J. Normal variations of the temporal bone on high-resolution CT: Their incidence and clinical significance. *Clin Radiol.* 1995;50(3):144–148.
95. Lee DH, Kim JK, Seo JH, Lee BJ. Anatomic Limitations of Posterior Tympanotomy: What Is the Major Radiologic Determinant for the View Field Through Posterior Tympanotomy? *J Craniofac Surg.* 2012;23(3):817–820.
96. Kashio A, Sakamoto T, Karino S, Kakigi A, Iwasaki S, Yamasoba T. Predicting Round Window Niche Visibility via the Facial Recess Using High-Resolution Computed Tomography. *Otol Neurotol.* 2015;36(1):e18–e23.
97. Rajati M, Afzalzadeh MR, Nourizadeh N, Ghasemi MM, Zandi B. Predicting round window visibility by HRCT during cochlear implantation in children. *Cochlear Implants Int.* 2020;21(5):269–274.
98. Fouad YA, Elaassar AS, El-anwar MW, Sabir E, Abdelhamid A, Ghonimy M. Role of Multislice CT Imaging in Predicting the Visibility of the Round Window in Pediatric Cochlear Implantation. *Otol Neurotol.* 2017;38(8):1097–1103.

99. **Mandour M, Elzayat S, Elfarargy HH, Lotfy R, ELnaggar A.**
Radiological classification of the mastoid portion of the facial nerve: impact on the surgical accessibility of the round window in cochlear implantation. *Acta Otolaryngol.* 2021;141(9):894–897.
100. **Hasaballah MS, Hamdy TA.**
Evaluation of facial nerve course, posterior tympanotomy width and visibility of round window in patients with cochlear implantation by performing oblique sagittal cut computed tomographic scan temporal bone. *Egypt J Otolaryngol.* 2014;30(4):317–321.
101. **McRackan TR, Reda FA, Rivas A, et al.**
Comparison of Cochlear Implant Relevant Anatomy in Children Versus Adults. *Otol Neurotol.* 2012;33(3):328–334.
102. **Kang JY, Chung JH, Park HS, Park YH, Choi JW.**
Radiological parameters related to success of the round window approach in cochlear implantation: A retrospective study. *Clin Otolaryngol.* 2018;43(6):1535–1540.
103. **Jain S, Deshmukh P, Lakhotia P, Kalambe S, Chandravanshi D, Khatri M.**
Anatomical Study of the Facial Recess with Implications in Round Window Visibility for Cochlear Implantation: Personal Observations and Review of the Literature. *Int Arch Otorhinolaryngol.* 2019;23(03): e281–e291.
104. **Bettman RHR, Appelman AMMF, van Olphen AF, Zonneveld FW, Huizing EH.**
Cochlear Orientation and Dimensions of the Facial Recess in Cochlear Implantation. *ORL.* 2003;65(6):353–358.
105. **Elzayat S, Soltan I, Talaat M, Fouad YA.**
The role of high-resolution Computer Tomography in prediction of the round window membrane visibility and the feasibility of the round window electrode insertion. *Eur Arch Otorhinolaryngol.* 2021;278(9):3283–3290.
106. **Takahashi H, Sando I.**
Computer-Aided 3-D Temporal Bone Anatomy for Cochlear Implant Surgery: The Laryngoscope. *1990;100(4):417??421.*
107. **Sharma S, Grover M, Singh SN, Kataria T, Lakhawat RS.**
Cochlear orientation: pre-operative evaluation and intra-operative significance. *J Laryngol Otol.* 2018;132(06):540–543.

108. **Qadaby Abdel-Rehim K, El Taher M, Rezk I.**
Alignment between the basal turn of the cochlea and the horizontal segment of the petrous carotid artery: a landmark for predicting round window accessibility in cochlear implant patients. In: 2018:s-0038-1640523.
109. **Pendem SK, Rangasami R, Arunachalam RK, Mohanarangam VSP, Natarajan P.**
HRCT Correlation with Round Window Identification during Cochlear Implantation in Children. *J Clin Imaging Sci.* 2014; 4:70.
110. **Hongjian L, Guangke W, Song M, Xiaoli D, Daoxing Z.**
The prediction of CSF gusher in cochlear implants with inner ear abnormality. *Acta Otolaryngol (Stockh).* 2012;132(12):1271-1274.
111. **Sennaroglu L.**
Histopathology of inner ear malformations: Do we have enough evidence to explain pathophysiology? *Cochlear Implants Int.* 2016;17(1):3-20.
112. **McFadden MD, Wilmoth JG, Mancuso AA, Antonelli PJ.**
Preoperative computed tomography may fail to detect patients at risk for perilymph gusher. *Ear Nose Throat J.* 2005;84(12):770, 772-774.
113. **Varadarajan VV, DeJesus RO, Antonelli PJ.**
Novel Computed Tomography Findings Suggestive of Perilymph Gusher. *Otol Neurotol.* 2018;39(8):1066-1069.
114. **Holden HB, Schuknecht HF.**
Distribution Pattern of Blood in the Inner Ear Following Spontaneous Subarachnoid Haemorrhage. *J Laryngol Otol.* 1968;82(4):321-329.
115. **Gehrking E, Wisst F, Remmert S, Sommer K.**
Intraoperative Assessment of Perilymphatic Fistulas with Intrathecal Administration of Fluorescein: The Laryngoscope. *2002;112(9):1614-1618.*
116. **Jackler RK, Hwang PH.**
Enlargement of the Cochlear Aqueduct: Fact or Fiction? *Otolaryngol Neck Surg.* 1993;109(1):14-25.

117. **Wiet RJ, Pyle GM, O Connor CA, Russell E, Schramm DR.**
Computed Tomography: How Accurate a Predictor for Cochlear Implantation? The Laryngoscope. 1990;100(7):687??692.
118. **Nair SB, Abou-Elhamd KA, Hawthorne M.**
A retrospective analysis of high-resolution computed tomography in the assessment of cochlear implant patients. Clin Otolaryngol. 2000;25(1):55-61.
119. **Parisier SC, Chute PM.**
Multichannel Implants in Postmeningitic Ossified Cochleas1. In: Fraysse B, Deguine O, eds. Advances in Oto-Rhino-Laryngology. Vol 48. S. Karger AG; 1993:49-58.
120. **Bath AP, O'Donoghue GM, Holland IM, Gibbin KP.**
Paediatric cochlear implantation: how reliable is computed tomography in assessing cochlear patency? Clin Otolaryngol. 1993;18(6):475-479.

أقسم بالله العظيم
أن أرقي الله في مهنتي
وأن أصون حياة الإنسان في كافة أحواهها، في
كل الخصوف والأحوال، بذلة وسع في استنقاذها
من الفلاحة والمرض والآلام والقلق
وأن أحفظ للناس كرامتهم وأستر غورتهم وأكثر
سروراً
وأن أكون على الدوام من وسائل رحمة الله، بذلة
رخيصة الحمية للقريب والبعيد، للصالح والصالح
والصادق والعادل
وأن أثابر على حلب العلم أسره لنفع الإنسان لا
لأذالة
وأن أفرق من حلمي وأعمل من يضمنه وأكون أخاً
لكل زميل في المهمة الحمية، متعاونين على البر
والنحو
وأن تكون حياتي وحذاقي إيمان في سريري كلانيتي
نقية مما يشينها أسم الله ورسوله والمؤمنين
والله حلم ما أقول شفيف



أطروحة رقم 224

سنة 2023

الترابط بين البيانات الإشعاعية والجراحية لزرع القوقة

الأطروحة

قدمت ونوقشت علانية يوم 2023/10/25
من طرف

السيد صلاح الدين يوبى
المزداد في 3 مارس 1996 بمراكش
لنيل شهادة الدكتوراه في الطب

الكلمات الأساسية:

زراعات القوقة، التصوير المقطعي المحوسب، التصوير بالرنين المغناطيسي، ترابط

اللجنة

الرئيس

س. ايت بنعلي

السيد

أستاذ في جراحة الدماغ

المشرف

ع. راجي

السيد

أستاذ في جراحة الأذن والأنف والحنجرة

ي. رشدي

السيد

أستاذ في جراحة الأذن والأنف والحنجرة

ب. بوتكيوت

السيد

أستاذ في علم الأشعة

م. د. العمراني

السيد

أستاذ في علم التشريح

الحكم

