



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

Année 2016

Thèse N° 73

Evolution de l'approche mini invasive au service de neurochirurgie du CHU Mohammed VI durant la décennie 2004–2013

THESE

PRESENTEE ET SOUTENUE PUBLIQUEMENT LE 17/05/2016

PAR

Mlle. Houda KADDIOUI

Née Le 14 Juin 1990 à Tanger

POUR L'OBTENTION DU DOCTORAT EN MEDECINE

MOTS-CLES

Neurochirurgie mini invasive – Approche keyhole – Neuroendoscopie
Ethique neurochirurgicale – Robotique – Stéréotaxie – Chirurgie éveillée – Rachis

JURY

Mr.	S. AIT BENALI	PRESIDENT
	Professeur de Neurochirurgie	
Mr.	M. LAGHMARI	RAPPORTEUR
	Professeur agrégé de Neurochirurgie	
Mr.	M. GHANNANE	JUGES
	Professeur de Neurochirurgie	
Mr .	M. A. SAMKAOUI	
	Professeur d'Anesthésie-Réanimation	

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

" رَبِّ أَوْزِعْنِي أَنْ أَشْكُرَ
نِعْمَتَكَ الَّتِي أَنْعَمْتَ عَلَيَّ وَعَلَى
وَالِدَيَّ وَأَنْ أَعْمَلَ صَالِحًا تَرْضَاهُ
وَأَدْخِلْنِي بِرَحْمَتِكَ فِي عِبَادِكَ
الصَّالِحِينَ "

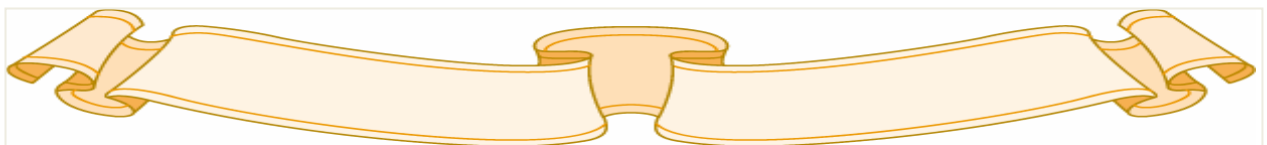
صدق

الله العظيم



*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.
Je m'y engage librement et sur mon honneur.*

Déclaration Genève, 1948



LISTE
DES PROFESSEURS

UNIVERSITE CADI AYYAD
FACULTE DE MEDECINE ET DE PHARMACIE
MARRAKECH

Doyen Honoraire

: Pr Badie Azzaman MEHADJI

ADMINISTRATION

Doyen

: Pr Mohammed BOUSKRAOUI

Vice doyen à la Recherche et la Coopération

: Pr.Ag. Mohamed AMINE

Vice doyen aux Affaires Pédagogique

: Pr. EL FEZZAZI Redouane

Secrétaire Générale

: Mr Azzeddine EL HOUDAIGUI

Professeurs de l'enseignement supérieur

Nom et Prénom	Spécialité	Nom et Prénom	Spécialité
ABOULFALAH Abderrahim	Gynécologie-obstétrique	FINECH Benasser	Chirurgie – générale
AIT BENALI Said	Neurochirurgie	GHANNANE Houssine	Neurochirurgie
AIT-SAB Imane	Pédiatrie	KISSANI Najib	Neurologie
AKHDARI Nadia	Dermatologie	KRATI Khadija	Gastro- entérologie
AMAL Said	Dermatologie	LMEJJATI Mohamed	Neurochirurgie
ASMOUKI Hamid	Gynécologie-obstétrique B	LOUZI Abdelouahed	Chirurgie – générale
ASRI Fatima	Psychiatrie	MAHMAL Lahoucine	Hématologie - clinique
BENELKHAIAT BENOMAR Ridouan	Chirurgie – générale	MANSOURI Nadia	Stomatologie et chiru maxillo faciale
BOUMZEBRA Drissi	Chirurgie Cardio-Vasculaire	MOUDOUNI Said Mohammed	Urologie
BOUSKRAOUI Mohammed	Pédiatrie A	MOUTAOUAKIL Abdeljalil	Ophtalmologie
CHABAA Laila	Biochimie	NAJEB Youssef	Traumato- orthopédie
CHELLAK Saliha	Biochimie- chimie	OULAD SAIAD Mohamed	Chirurgie pédiatrique
CHOULLI Mohamed Khaled	Neuro pharmacologie	RAJI Abdelaziz	Oto-rhino-laryngologie

DAHAMI Zakaria	Urologie	SAIDI Halim	Traumato- orthopédie
EL FEZZAZI Redouane	Chirurgie pédiatrique	SAMKAOUI Mohamed Abdenasser	Anesthésie- réanimation
EL HATTAOUI Mustapha	Cardiologie	SARF Ismail	Urologie
ELFIKRI Abdelghani	Radiologie	SBIHI Mohamed	Pédiatrie B
ESSAADOUNI Lamiaa	Médecine interne	SOUMMANI Abderrauof	Gynécologie- obstétrique A/B
ETTALBI Saloua	Chirurgie réparatrice et plastique	YOUNOUS Said	Anesthésie- réanimation
FIKRY Tarik	Traumato- orthopédie A		

Professeurs Agrégés

Nom et Prénom	Spécialité	Nom et Prénom	Spécialité
ABKARI Imad	Traumato- orthopédie B	EL OMRANI Abdelhamid	Radiothérapie
ABOU EL HASSAN Taoufik	Anesthésie- réanimation	FADILI Wafaa	Néphrologie
ABOUCHADI Abdeljalil	Stomatologie et chir maxillo faciale	FAKHIR Bouchra	Gynécologie- obstétrique A
ABOUSSAIR Nisrine	Génétique	FOURAIJI Karima	Chirurgie pédiatrique B
ADALI Imane	Psychiatrie	HACHIMI Abdelhamid	Réanimation médicale
ADERDOUR Lahcen	Oto- rhino- laryngologie	HAJJI Ibtissam	Ophtalmologie
ADMOU Brahim	Immunologie	HAOUACH Khalil	Hématologie biologique
AGHOUTANE El Mouhtadi	Chirurgie pédiatrique A	HAROU Karam	Gynécologie- obstétrique B
AIT AMEUR Mustapha	Hématologie Biologique	HOCAR Ouafa	Dermatologie
AIT BENKADDOUR Yassir	Gynécologie- obstétrique A	JALAL Hicham	Radiologie
AIT ESSI Fouad	Traumato- orthopédie B	KAMILI El Ouafi El Aouni	Chirurgie pédiatrique B
ALAOUI Mustapha	Chirurgie- vasculaire périphérique	KHALLOUKI Mohammed	Anesthésie- réanimation
AMINE Mohamed	Epidémiologie- clinique	KHOUCHANI Mouna	Radiothérapie
AMRO Lamyae	Pneumo- phtisiologie	KOULALI IDRISSE Khalid	Traumato- orthopédie
ANIBA Khalid	Neurochirurgie	KRIET Mohamed	Ophtalmologie
ARSALANE Lamiae	Microbiologie - Virologie	LAGHMARI Mehdi	Neurochirurgie
BAHA ALI Tarik	Ophtalmologie	LAKMICHI Mohamed Amine	Urologie

BASRAOUI Dounia	Radiologie	LAOUAD Inass	Néphrologie
BASSIR Ahlam	Gynécologie-obstétrique A	LOUHAB Nisrine	Neurologie
BELKHOUE Ahlam	Rhumatologie	MADHAR Si Mohamed	Traumato- orthopédie A
BEN DRISS Laila	Cardiologie	MANOUDI Fatiha	Psychiatrie
BENCHAMKHA Yassine	Chirurgie réparatrice et plastique	MAOULAININE Fadl mrabih rabou	Pédiatrie
BENHIMA Mohamed Amine	Traumatologie orthopédie B	MATRANE Aboubakr	Médecine nucléaire
BENJILALI Laila	Médecine interne	MEJDANE Abdelhadi	Chirurgie Générale
BENZAROUEL Dounia	Cardiologie	MOUAFFAK Youssef	Anesthésie - réanimation
BOUCHENTOUF Rachid	Pneumo- phtisiologie	MOUFID Kamal	Urologie
BOUKHANNI Lahcen	Gynécologie-obstétrique B	MSOUGGAR Yassine	Chirurgie thoracique
BOUKHIRA Abderrahman	Toxicologie	NARJISS Youssef	Chirurgie générale
BOURRAHOUE Aicha	Pédiatrie B	NEJMI Hicham	Anesthésie- réanimation
BOURROUS Monir	Pédiatrie A	NOURI Hassan	Oto rhino laryngologie
BSISS Mohamed Aziz	Biophysique	OUALI IDRISSE Mariem	Radiologie
CHAFIK Rachid	Traumato-orthopédie A	QACIF Hassan	Médecine interne
CHAFIK Aziz	Chirurgie thoracique	QAMOUSS Youssef	Anesthésie- réanimation
CHERIF IDRISSE EL GANOUNI Najat	Radiologie	RABBANI Khalid	Chirurgie générale
DRAISS Ghizlane	Pédiatrie	RADA Noureddine	Pédiatrie A
EL BOUCHTI Imane	Rhumatologie	RAIS Hanane	Anatomie pathologique
EL HAOURY Hanane	Traumato-orthopédie A	ROCHDI Youssef	Oto-rhino- laryngologie
EL MGHARI TABIB Ghizlane	Endocrinologie et maladies métaboliques	SAMLANI Zouhour	Gastro- entérologie
EL ADIB Ahmed Rhassane	Anesthésie-réanimation	SORAA Nabila	Microbiologie - virologie
EL ANSARI Nawal	Endocrinologie et maladies métaboliques	TASSI Noura	Maladies infectieuses
EL BARNI Rachid	Chirurgie- générale	TAZI Mohamed Illias	Hématologie- clinique
EL BOUIHI Mohamed	Stomatologie et chir maxillo faciale	ZAHLANE Kawtar	Microbiologie - virologie
EL HOUDZI Jamila	Pédiatrie B	ZAHLANE Mouna	Médecine interne

EL IDRISSE SLITINE Nadia	Pédiatrie	ZAOUI Sanaa	Pharmacologie
EL KARIMI Saloua	Cardiologie	ZIADI Amra	Anesthésie - réanimation
EL KHAYARI Mina	Réanimation médicale		

Professeurs Assistants

Nom et Prénom	Spécialité	Nom et Prénom	Spécialité
ABIR Badreddine	Stomatologie et Chirurgie maxillo faciale	FAKHRI Anass	Histologie- embryologie cytogénétique
ADALI Nawal	Neurologie	FADIL Naima	Chimie de Coordination Bioorganique
ADARMOUCH Latifa	Médecine Communautaire (médecine préventive, santé publique et hygiène)	GHAZI Mirieme	Rhumatologie
AISSAOUI Younes	Anesthésie - réanimation	HAZMIRI Fatima Ezzahra	Histologie - Embryologie - Cytogénétique
AIT BATAHAR Salma	Pneumo- phtisiologie	IHBIBANE fatima	Maladies Infectieuses
ALJ Soumaya	Radiologie	KADDOURI Said	Médecine interne
ARABI Hafid	Médecine physique et réadaptation fonctionnelle	LAFFINTI Mahmoud Amine	Psychiatrie
ATMANE El Mehdi	Radiologie	LAHKIM Mohammed	Chirurgie générale
BAIZRI Hicham	Endocrinologie et maladies métaboliques	LAKOUICHMI Mohammed	Stomatologie et Chirurgie maxillo faciale
BELBACHIR Anass	Anatomie- pathologique	LOQMAN Souad	Microbiologie et toxicologie environnementale
BELBARAKA Rhizlane	Oncologie médicale	MARGAD Omar	Traumatologie - orthopédie
BELHADJ Ayoub	Anesthésie - Réanimation	MLIHA TOUATI Mohammed	Oto-Rhino - Laryngologie
BENHADDOU Rajaa	Ophtalmologie	MOUHSINE Abdelilah	Radiologie
BENLAI Abdeslam	Psychiatrie	NADOOR Karim	Oto-Rhino - Laryngologie
CHRAA Mohamed	Physiologie	OUBAHA Sofia	Physiologie
DAROUASSI Youssef	Oto-Rhino - Laryngologie	OUERAGLI NABIH Fadoua	Psychiatrie
DIFFAA Azeddine	Gastro- entérologie	SAJIAI Hafsa	Pneumo- phtisiologie
EL AMRANI Moulay Driss	Anatomie	SALAMA Tarik	Chirurgie pédiatrique

EL HAOUATI Rachid	Chiru Cardio vasculaire	SERGHINI Issam	Anesthésie - Réanimation
EL HARRECH Youness	Urologie	SERHANE Hind	Pneumo- phtisiologie
EL KAMOUNI Youssef	Microbiologie Virologie	TOURABI Khalid	Chirurgie réparatrice et plastique
EL KHADER Ahmed	Chirurgie générale	ZARROUKI Youssef	Anesthésie - Réanimation
EL MEZOUARI El Moustafa	Parasitologie Mycologie	ZIDANE Moulay Abdelfettah	Chirurgie Thoracique

DEDICATES

*"If you can dream ,and not make
dreams your master
If you can think ,and not make thoughts your
aim
If you can meet Triumph and Disaster
And treat those two impostors just the same;
[...]
If you can fill the unforgiving minute,
With sixty seconds' worth of distance run.
Yours is the Earth and everything that's
in it,
And —which is more— you'll be a Man my
son!"*

R.Kiplin

A mes très chers parents Najat et Najib.

A ma mère qui mérite ce diplôme plus que moi et qui a appris la médecine avec moi. Merci pour vos sacrifices, votre soutien et vos encouragements. Vous m'avez appris la vie. C'est grâce à vous et pour vous que je suis là aujourd'hui. Je vous en suis éternellement reconnaissante et c'est avec beaucoup d'amour que je vous dédie cette thèse.

A ma sœur Laila.

Merci d'être là. Merci d'avoir été la grande sœur quand j'en avais besoin. Merci d'avoir pleuré à ma place quand j'étais trop occupée. Merci pour ta patience en m'apprenant le piano. Je te souhaite une très belle vie. Tu grandis vite, mais tu seras toujours ma petite sœur.

A mon fiancé Ilyass.

Merci d'avoir cru en moi-même quand je n'y croyais plus. Merci de m'avoir supportée malgré tout. Merci de me forcer tous les jours à voir le monde différemment. Tu es mon autre moitié, mon meilleur ami, mon confident et c'est avec plaisir que je choisis de faire ma vie à tes côtés.

A ma sœur de cœur Ghofrane,

25 ans d'amitié. Toute notre vie. Merci d'avoir été là à tous les instants. Merci pour les heures de fous rires, de joie, de folie. Nous avons marché toutes les deux à travers les étapes les plus importantes de nos vies, ensemble, et c'est une marche que j'espère ne s'arrêtera jamais. Je suis honorée de t'avoir dans ma vie et je te souhaite tout le bonheur et le succès que tu mérites.

A mon amie Amal, ma « Partner in crime»

Les bancs de cette faculté nous ont réunies, mais la fin de cette étape n'est que le début d'une longue amitié. Je te vois comme toi tu ne te vois pas. Tu es une personne extraordinaire, et tu seras un médecin hors du commun. Je te souhaite tout le bonheur du monde.

A Zinah, Ayman et Issa.

Parce que les bons moments de la vie sont meilleurs quand ils sont partagés !

A la mémoire de ma grand-mère, qui aurait tant voulu être là. Pour ma famille, mes beaux parents, mon beau frère Nizar, mes amis Ryme, Amira, Aida, Nafissa, Mohssine, mes collègues de la faculté, et tous ceux que j'ai involontairement omis de citer.

REMERCIEMENTS

A mon maître et président du jury, Professeur Aït Ben Ali

Vous m'avez fait un grand honneur en acceptant la présidence de cet honorable jury de thèse. Je vous remercie pour le temps que vous y avez consacré malgré tous vos engagements. Vos qualités humaines et vos compétences professionnelles vous rendent admirable. Veuillez accepter, cher maître, dans ce travail l'expression de ma reconnaissance et mon profond respect.

A mon maître et directeur de thèse, Professeur Laghmari

Je vous remercie, cher maître, pour la confiance que vous m'avez témoignée en me confiant ce travail. Je vous remercie pour votre bienveillance, pour tout le temps que vous m'avez consacré au dépend de votre travail et vos obligations. Vous m'avez poussé à dépasser mes limites et avez cru en moi. Merci pour vos conseils judicieux et vos remarques hors-paires. Je vous remercie pour votre engagement et votre dévouement pour vos étudiants et vos patients.

A mon maître et jury de thèse, le Professeur Samkaoui

L'amabilité et la spontanéité dont vous avez fait preuve en recevant cette thèse m'a particulièrement touchée. Je vous remercie pour votre disponibilité, votre gentillesse et votre conscience professionnelle qui font de vous un praticien exemplaire. Veuillez trouver ici, cher maître, le témoignage de ma haute considération, de ma profonde reconnaissance et de mon sincère respect.

A mon maître et jury de thèse, le Professeur Ghannane

Vous me faites un grand honneur en acceptant de vous associer à ce jury. Vous représentez pour nous l'exemple du professeur aux grandes qualités humaines et professionnelles. Je vous remercie de la générosité et de l'humilité avec lesquelles vous partagez votre savoir. Veuillez trouver ici, cher Maître, l'expression de mon sincère respect et ma plus grande estime

Mes sincères remerciements également :

Au Dr. Chraa Mohamed pour son soutien durant tout mon parcours et pour m'avoir appris à aimer les neurosciences, au Dr. Zakariae Benyaich pour son aide précieuse à l'élaboration de cette thèse, aux professeurs de la faculté qui ont veillés à nous mener au bout de cette aventure et surtout à tous les membres de l'équipe de neurochirurgie et le personnel médical et paramédical du CHU Mohammed VI qui travaillent jour et nuit pour l'intérêt de nos malades.

Enfin je souhaite remercier tous ceux que j'ai involontairement omis de citer et qui de près ou de loin ont contribué à l'aboutissement de ce travail.

ABBREVIATIONS

CHU	: Centre hospitalier universitaire
C1	: Première vertèbre cervicale
C2	: Deuxième vertèbre cervicale
IRM	: Imagerie par résonnance magnétique
LCR	: Liquide céphalo-rachidien
V3	: 3ème ventricule
VCS	: Ventriculocisternostomie
MRgFUS	: Magnetic Resonance–Guided Focused Ultrasound Surgery
OMS	: Organisation mondiale de la santé
TDM	: Tomodensitométrie

PLAN

INTRODUCTION	1
PATIENTS, MATERIEL ET METHODE	4
I. Objectifs de l'étude	5
II. Type d'étude	5
III. Recueil des données	6
IV. Analyse statistique	6
V. Considérations éthiques	6
EVOLUTION DE L'APPROCHE MINI INVASIVE DU CRÂNE ET DE LA PATHOLOGIE CEREbraLE.	7
I. Traitement de l'hydrocéphalie par endoscopie	8
1. Historique	8
2. Résultats: Expérience du service de neurochirurgie [8]	9
3. Discussion	16
4. Conclusion	19
II. Approche transphénoïdale de la base du crâne	20
1. Historique	20
2. Résultats : Expérience du service de neurochirurgie.	23
3. Discussion	33
4. Conclusion	37
III. Biopsie stéréotaxique	38
1. Historique	38
2. Résultats : Expérience du service de neurochirurgie	40
3. Discussion	47
4. Conclusion	50
IV. Approches « Keyhole» des anévrismes de la circulation antérieure	50
1. Historique	50
2. Résultats : Expérience du service de neurochirurgie	51
3. Discussion	59

4.	Conclusion	61
V.	Localisation des lésions intracérébrales et des aires corticales éloquentes au décours d'une chirurgie en condition éveillée	62
1.	Historique	62
2.	Résultats : Expérience du service de neurochirurgie	63
3.	Discussion	72
4.	Conclusion	74

EVOLUTION DE L'APPROCHE MINI INVASIVE DU RACHIS ET DE LA PATHOLOGIE MEDULLAIRE. 76

I.	Hernie discale lombaire endoscopique	77
1.	Historique	77
2.	Expérience du service de neurochirurgie	78
3.	Discussion	83
4.	Conclusion	84
II.	Vissage antérieur de C2	85
1.	Historique	85
2.	Résultats : Expérience du service de neurochirurgie	85
3.	Discussion	96
4.	Conclusion	97
III.	Traitement percutané des spondylolisthésis	98
1.	Définition	99
2.	Description de la procédure	99
3.	Discussion	104
4.	Conclusion	104

REFLEXION SUR LA PLACE DE L'APPROCHE MINI INVASIVE AU SEIN DU SERVICE DE NEUROCHIRURGIE DE MARRAKECH 105

I.	État de l'art de l'approche mini invasive au sein du service:	107
1.	En chirurgie du crâne et de la pathologie cérébrale	107
2.	En chirurgie du rachis et de la pathologie médullaire	107
II.	Pourquoi la Chirurgie mini-invasive devient indispensable au service de neurochirurgie du CHU de Marrakech ?	108
1.	Concept et philosophie	108

2.	Rapport coût bénéfice et économie de la santé.	111
III.	Challenges : Quelles sont les barrières à franchir ?	113
1.	Psychologique : Adoption de la technique mini invasive.	113
2.	Économique : Quel budget ?	115
3.	Technique : Formation chirurgicale continue	115
IV.	Quelles sont les perspectives d'avenir ?	117
1.	Stéréotaxie sans cadre et neuronavigation	117
2.	Chirurgie percutanée du rachis	122
3.	Télémédecine et téléassistance.	123
4.	La révolution de la robotique	127
5.	Nanotechnologie et implants cérébraux	129
6.	Interface cerveau machine	133
7.	De la lame, à l'aiguille à... rien ! Vers une chirurgie non invasive, à 0% de saignement.	137
	CONCLUSION	141
	ANNEXES	143
	RESUMES	146
	BIBLIOGRAPHIE	150

INTRODUCTION

Durant les dernières décennies, le domaine de la neurochirurgie a connu l'essor de nouvelles techniques. Ceci grâce à l'évolution de la science en matière de technologies de la santé d'un côté, mais également d'un changement dans la philosophie du soin.[1] La neurochirurgie mini-invasive reflète ainsi les progrès technologiques qui ont affiné l'abord chirurgical et qui ont permis aux neurochirurgiens de réduire la morbidité et améliorer la précision et la qualité des interventions neurochirurgicales. Ces progrès comprennent la stéréotaxie assistée par ordinateur, l'échographie peropératoire, la cartographie du cerveau peropératoire, la neuro-endoscopie, et les techniques mini invasives (MIS) percutanées du rachis. Le but étant de conserver l'organe et la fonction, en minimisant au maximum les pertes sanguines, le traumatisme des tissus avoisinant incluant le squelette, la moelle, les éléments musculaires et les nerfs. Pour ce faire, l'approche mini-invasive fait face à la nature complexe du système nerveux, et le chirurgien se doit d'avoir une connaissance et une technique suffisamment précises pour garder le noble tissu nerveux intacte.

La chirurgie mini-invasive représente cet ensemble de compétences qui permettent d'accomplir des gestes chirurgicaux dont les résultats sont au minimum comparables aux techniques traditionnelles via de petites incisions, ou des cathéters voyageant à travers le réseau vasculaire. Le bénéfice de ces nouvelles techniques est indéniable, que ce soit pour le patient qui subit un traumatisme moindre, un temps de récupération plus court et une durée totale d'hospitalisation diminuée, que pour l'ensemble de l'équipe chirurgicale. Cependant, nous nous devons de garder en tête que certaines conditions peuvent limiter la pratique de la neurochirurgie mini-invasive, limites relatives au patient d'une part mais également au chirurgien et aux moyens disponibles.

Nous allons nous pencher le long de ce travail sur les progrès accomplis au sein du service de Neurochirurgie du CHU Mohammed VI de Marrakech durant la décennie 2004–2013 en matière de chirurgie mini-invasive du crâne et du rachis. Il s'agit d'un travail de synthèse qui se base sur

les thèses effectuées durant cette dernière décennie ainsi que d'une large revue de la littérature dans le domaine de la neurochirurgie mini invasive. L'objectif de ce travail est de porter un regard global sur l'activité du service de neurochirurgie dans ce domaine de recherche d'excellence, et d'entrouvrir les portes des futures voies de développement.

PATIENTS, MATÉRIEL ET MÉTODE

I. Objectifs de l'étude

L'approche neurochirurgicale mini invasive est un sujet d'actualité qui touche de très près les membres de l'équipe de neurochirurgie du CHU Mohammed VI de Marrakech.

Le but de notre étude est de faire une mise au point et un état de l'art de l'approche mini invasive du crâne et du rachis, et d'en démontrer l'intérêt, à travers les résultats obtenus par l'équipe de neurochirurgie du CHU Mohammed VI et à la lumière de ceux retrouvés dans la littérature.

Le choix du plan pour ce travail a été motivé par l'objectif de rendre disponible en une seule fois toutes les informations concernant chaque technique chirurgicale mini invasive. En effet, des thèses complètes rédigées sous la forme « IMRAD » ont été effectuées par nos collègues couvrant la même période que notre étude. De ce fait, il nous semblait plus justifié d'organiser notre travail de façon légèrement différente, afin que le lecteur intéressé par une certaine technique puisse se rendre au chapitre concernant celle-ci, et y retrouver une synthèse concise et accessible permettant d'avoir un aperçu de la technique, de l'expérience du service concernant cette technique ainsi qu'une revue de la littérature en un seul endroit.

Enfin, nous ne pouvions traiter le sujet de l'approche mini invasive en neurochirurgie sans adresser ses composantes conceptuelles et éthiques, ainsi qu'une entrevue des perspectives d'avenir.

II. Type d'étude

Il s'agit d'une étude rétrospective descriptive et analytique portant sur un total de 222 patients recensés au sein du service de neurochirurgie du CHU Mohammed VI de Marrakech, tous opérés par une approche mini invasive entre janvier 2004 et décembre 2013.

III. Recueil des données

Les données ont été collectées majoritairement à travers les thèses rédigées par nos confrères de la faculté de médecine ainsi que l'étude des dossiers des patients opérés au service neurochirurgie.

IV. Analyse statistique

La saisie et l'analyse des données ont été effectuées à l'aide des logiciels Microsoft Office Excel et sigma Plot. Les résultats sont exprimés en pourcentages, sous forme de graphiques ou de tableaux.

V. Considérations éthiques

L'anonymat et la confidentialité des informations sur les patients ont été respectés.

*EVOLUTION DE
L'APPROCHE MINI INVASIVE
DU CRÂNE ET DE LA
PATHOLOGIE CÉRÉBRALE.*

Les techniques mini invasives en neurochirurgie ont évolué en deux grandes vagues[1]. Plusieurs concepts de la chirurgie mini invasive tels que la neuronavigation, l'endoscopie, ou la stéréotaxie par cadre, furent développés par les pionniers de la neurochirurgie. Il a fallu cependant quelques décennies avant que de nouvelles avancées scientifiques ne permettent une utilisation plus large de ces idées innovantes de façon sécurisée : Dans les années 80, l'endoscopie est devenue une référence pour les chirurgiens de toutes les spécialités. Cependant, contrairement au reste des disciplines chirurgicales, le terme "mini invasive" en neurochirurgie ne s'oppose pas à la chirurgie à ciel ouvert, mais il sera entendu comme un concept associant une philosophie de soin et l'utilisation de technologies modernes[1] avec comme objectif d'accomplir un geste opératoire de la façon la moins délétère sur les fonctions neurologiques. L'adoption des techniques mini-invasive constitue ainsi une réelle révolution dans le monde de la neurochirurgie.

Pour en arriver là, il a fallu passer par plusieurs étapes. L'histoire commence déjà au temps des Romains, où l'idée d'une machine qui permet d'opérer a été formulée plusieurs siècles avant le début de la révolution industrielle. Mais le début concret de la chirurgie mini invasive remonte au 19ème siècle. Le 20ème siècle a connu le développement de différentes techniques :

- Endoscopie des ventricules[2]
- Approche transphénoïdale de la base du crâne[3]
- Stéréotaxie [4]
- Mapping du cortex [3]
- Chirurgie percutanée du rachis.[5]

I. Traitement de l'hydrocéphalie par endoscopie

1. Historique

Le système ventriculaire est un espace prédestiné aux interventions neuro-endoscopiques. En neurochirurgie, les endoscopes étaient initialement utilisés au niveau ventriculaire à but diagnostique. Les pionniers de l'utilisation de l'endoscopie en neurochirurgie sont Gérard Guiot (1912–1998) à Paris, Takanori Fukushima au Japon et plus tard Raleigh, USA et Hugh Griffith

(1930–1993) à Bristol, Grande Bretagne [6]. Ces centres ont pu avec succès intégrer l'endoscopie en tant qu'outil chirurgical dans le cadre du concept de chirurgie mini-invasive. L'endoscopie est à présent une technique neurochirurgicale reconnue et standardisée dans le traitement de l'hydrocéphalie obstructive, des lésions intra et péri-ventriculaires, ainsi qu'en combinaison avec la microchirurgie.

Le traitement de choix des hydrocéphalies obstructives et encore plus des sténoses de l'aqueduc de Sylvius est la ventriculocistérnostomie (VCS). L'obstruction de l'aqueduc de Sylvius peut apparaître à n'importe quel âge comme le résultat d'une lésion congénitale, acquise ou bien peut cacher une lésion tumorale surtout dans les cas à révélation tardive. Peu fréquente après l'enfance, elle est responsable de 95 % des hydrocéphalies. La sténose de l'aqueduc de Sylvius est tumorale dans 95 % des cas chez l'adulte. En pratique, pour pouvoir réaliser une VCS, il faut que l'obstacle soit situé dans la partie postérieure du 3ème ventricule, au niveau de la région pinéale, de l'aqueduc de Sylvius, du 4ème ventricule ou du foramen de Magendie. Selon Decq[7], en 1992–1993, la VCS représentait 19 % des indications de traitement chirurgical de l'hydrocéphalie. En 1996–1997, ce pourcentage s'élevait à 34 % dans l'expérience de DECQ, mais en pratique courante, il a considéré que la VCS pouvait être proposée à environ 20 % des patients adultes présentant une hydrocéphalie.

2. Résultats: Expérience du service de neurochirurgie [8]

2.1. Caractérisation des patients

Durant la décennie 2004–2013, 122 patients ayant présenté une hydrocéphalie ont été traités par VCS.

L'âge moyen de notre série est de 22 ans avec des extrêmes allant de 1 an à 65ans.

Nous retrouvons une prédominance masculine avec 67 hommes (55.3%) pour 54 femmes (44,7%), ce qui nous donne un sexe ratio de 1,23.

2.2. Description de la procédure

Tous nos patients ont bénéficié d'un examen d'imagerie à leur admission, objectivant une hydrocéphalie bi, tri, ou tétra ventriculaire à des proportions variables.

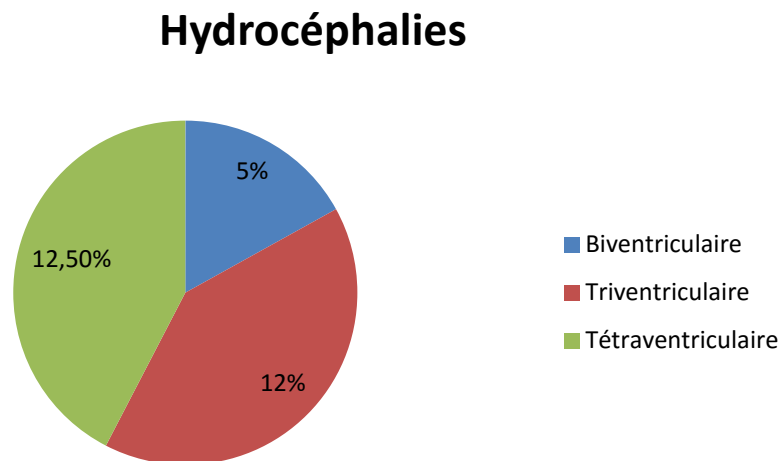


Figure 1 : Répartition des hydrocéphalies selon le nombre de ventricules concernés.

Suite à l'analyse des clichés de TDM et IRM, nous avons retrouvés un taux pratiquement égal d'étiologies malformatives (60 patient) et d'étiologies tumorales (62 patients). Il faut cependant préciser que les causes malformatives prédominent chez la population pédiatrique, alors que les patients adultes présentent majoritairement des hydrocéphalies d'étiologies tumorales.

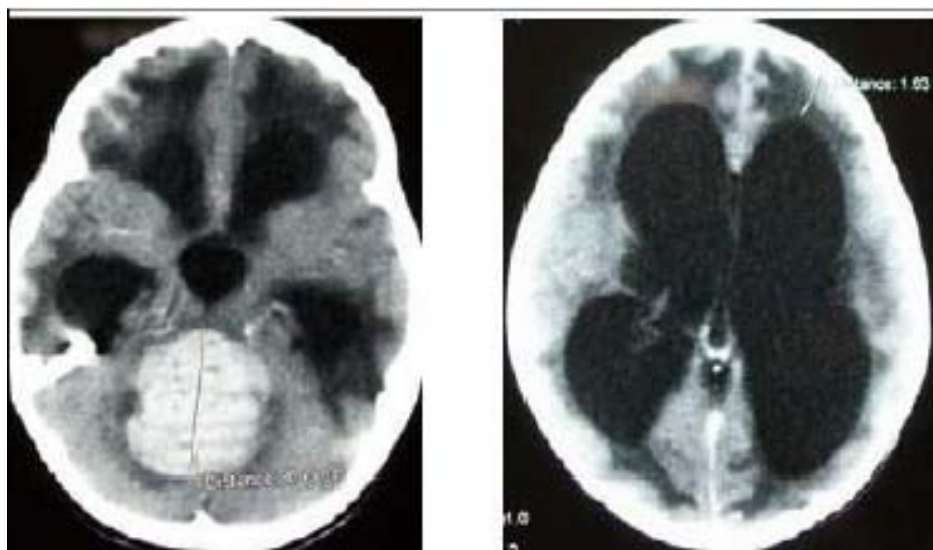


Figure 2: TDM coupe transversale montrant une hydrocéphalie tri ventriculaire sur épendymome du 4eme ventricule.

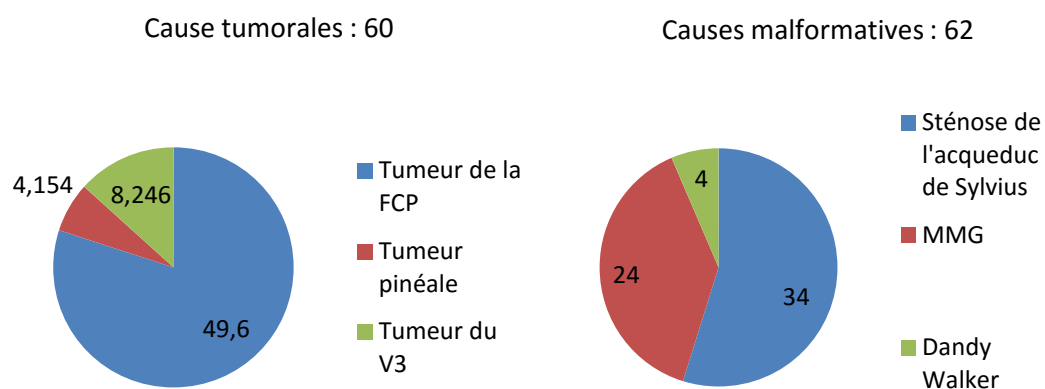


Figure 3 : Proportion des étiologies des hydrocéphalies dans notre série.

Suite à l'analyse des résultats de l'imagerie, nos patients ont été sélectionnés selon les critères suivants pour pouvoir bénéficier d'une VCS:

- Hydrocéphalie obstructive.

- Espace arachnoïdien « libre », fonctionnel, c'est-à-dire sans antécédent de méningite ou d'hémorragie méningée.
- Absence d'antécédent de valve (pas de shunt-dépendance).
- IIIème ventricule dilaté. (N :B : Pour Jones[9], il faut un IIIème ventricule d'une taille supérieure ou égale à 7mm.)
- Absence d'antécédent de radiothérapie car elle favorise les saignements.
- Plancher du IIIème ventricule doit être étendu au-dessous et en arrière de la lame quadrilatère.
- Absence d'un obstacle anatomique (large commissure inter-thalamique ou plancher du 3ème ventricule épais d'où l'intérêt d'une IRM préalable).
- Absence de troubles de l'hémostase.

Les patients ont été opérés sous anesthésie générale, en décubitus dorsal, tête au zénith. L'abord s'est fait par voie frontale droite paramédiane et pré coronale. Un endoscope type Sterz avec un angle de l'optique de 30 ° a été utilisé chez tous nos patients.



Figure 4 : Position opératoire de la tête avec le repérage de l'incision cutanée.

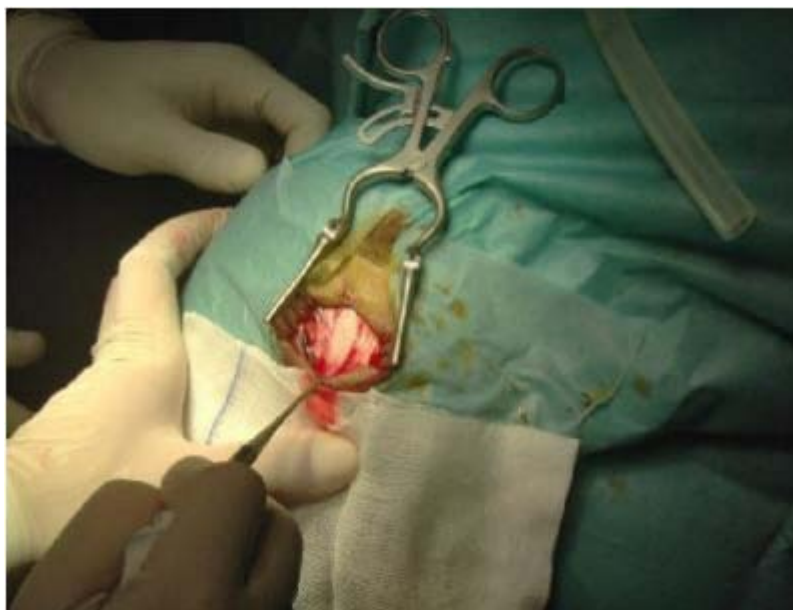


Figure 5 : Repérage de la suture coronale après l'incision cutanée et la section de la galéa.

- Un trou de trépan est réalisé à 1 cm en avant de la suture coronale, avec coagulation de la dure mère.



Figure 6 : Réalisation d'un trou de trépan à 1 cm en avant de la suture coronale avec coagulation de la dure mère.

- Après fixation de la chemise de l'endoscope sur le bras articulé monté, ce dernier est relié à la source de lumière et à la camera, puis un réglage de la balance du blanc et de couleur est effectué.



Figure 7: Montage complet photographié en fin d'intervention.

- Une fois la dure mère franchie, la chemise de l'endoscope est alors introduite avec le mandrin, selon la bissectrice de l'angle racine du nez– conduit auditif externe, et le bras articulé est alors fixé. Le retrait du mandrin, permet l'issue de LCR. La pièce intermédiaire est alors fixée avant l'introduction de l'optique à 30°. La visualisation des structures anatomiques du système ventriculaire devient alors possible.
- L'introduction de l'endoscope dans la cavité du V3 dilaté permet d'identifier, par rotation progressive de l'optique, l'ensemble de ses parois et les structures qui les constituent. Le trou de la VCS est réalisé initialement par la sonde de coagulation.

Le siège anatomique de cette stomie est le centre du triangle formé par les deux corps mamillaires et le recessus infundibulaire.

- L'orifice réalisé est agrandi en utilisant classiquement un cathéter à ballon de type Fogarty, gonflé pendant une trentaine de secondes, ou une pince à VCS pour obtenir un orifice de taille suffisante.

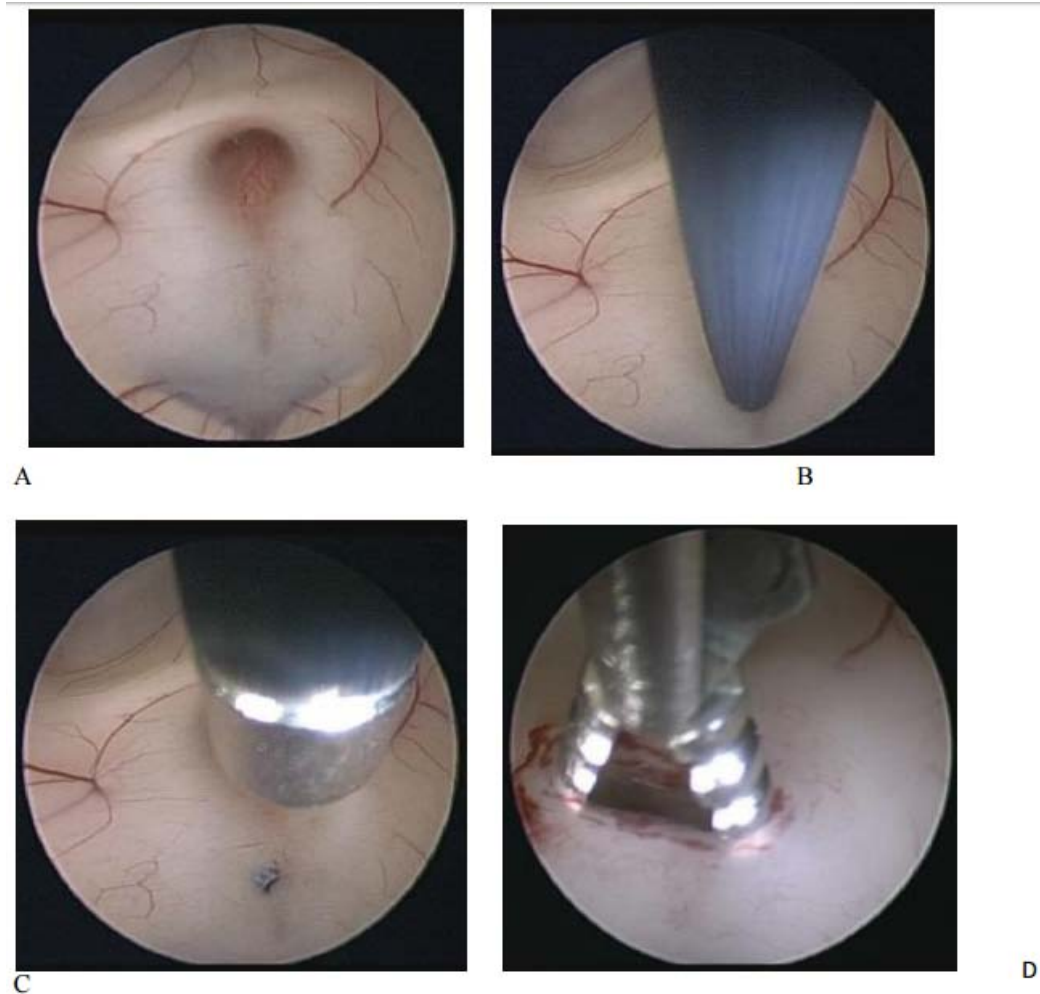


Figure 8: vue endoscopique peropératoire montrant les temps de la réalisation de la VCS (A) : Le siège anatomique de la VCS au niveau du plancher du V3. (B, C) : La réalisation du trou de la VCS par la sonde coagulante. (D) : Dilatation du trou au forceps.

- Le temps opératoire de la VCS était en moyenne de 30 à 45 min.
- Les détails de la procédure sont consignés dans le registre du bloc opératoire.

2.3. Taux de succès de la procédure

Le taux de réussite du traitement endoscopique de l'hydrocéphalie au sein du service de neurochirurgie de Marrakech est de 72,9%

2.4. Evolution post-opératoire

Les suites post opératoires ont été marquées par le décès de 3 de nos patients. Deux des décès sont dus à une méningite postopératoire; La cause du 3ème décès n'a pas été déterminée. Nous ignorons donc s'il est directement lié à la réalisation de la VCS. Le taux de mortalité, dans notre série, est ainsi de 2,54%.

Certaines complications per et postopératoires sont survenues dans notre série. Nous noterons particulièrement :

- L'hémorragie per opératoire : 12 cas.
- Méningite postopératoire : 13 cas dont 4 avec fuite de LCR par le point d'entrée chirurgical.
- Fuite du LCR par la cicatrice chirurgicale 12 cas dont 4 se compliquant de méningite.

La durée moyenne d'hospitalisation en neurochirurgie est de 15 jours dans notre série. Ce résultat est trompeur puisque certains patients ont été opérés de la pathologie causale de l'hydrocéphalie (tumeur de fosse postérieure par exemple) dans les suites immédiates de la VCS, rallongeant ainsi la durée moyenne d'hospitalisation.

3. Discussion

3.1. Succès global

Le succès global de la procédure dans notre service était de 72,9%. Ce taux rejoint celui rapporté dans la littérature qui se situe entre 60 et 90%.

3.2. Durée d'hospitalisation

En tenant compte uniquement des patients pour qui seule une VCS a été réalisée, la durée moyenne d'hospitalisation en neurochirurgie est de 7 jours (pour 42 VCS). Ce taux devient alors comparable aux données de la littérature,[10] mais précisons tout de même qu'il est légèrement

allongé par le changement fréquent du programme opératoire au gré des urgences, ce qui retarde la prise en charge.

3.3. Complications

Tableau I: Complications fréquentes d'une VCS.

	Leonardo[11]	Decq[12]	Khandkar[10]	Notre série
Hémorragie	0%	1%	17%	10%
Méningite	–	2,40%	3%	10%
Fuite de LCR	1%	–	5%	11%
Collection sous durale	1%	–	0.1%	0%
Convulsions	0,20%	-	0,50%	0
Décès	2,40%	3%	3%	2,40%

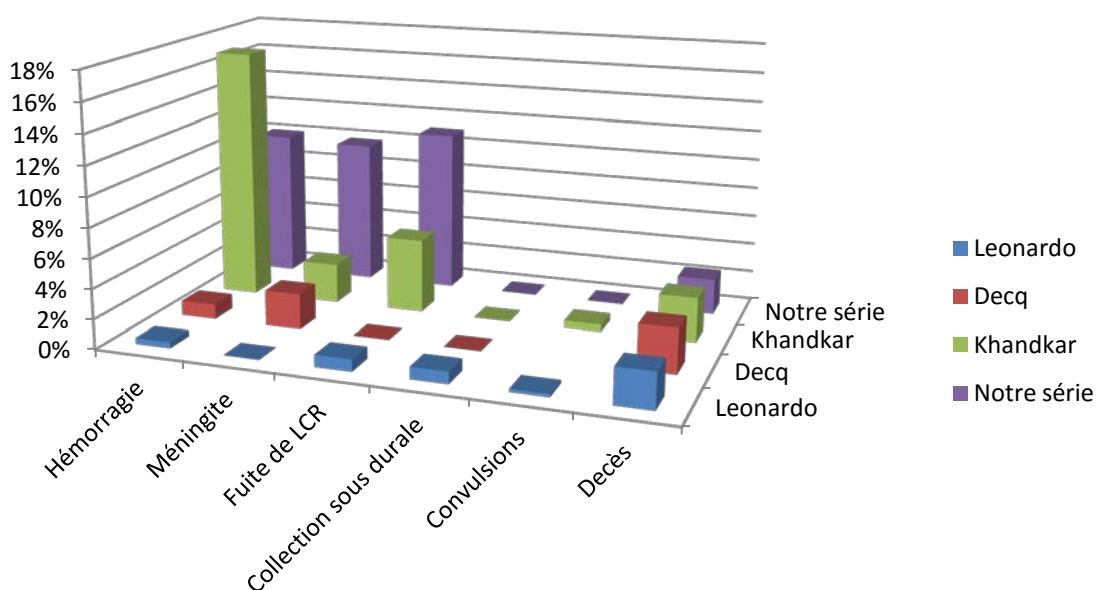


Figure 9 : Complications fréquentes de la VCS.

Nous pouvons constater, en comparant notre série avec la littérature, que nous avons un taux sensiblement plus élevé de complications post opératoires, mais que ce taux n'est pas statistiquement significatif ($P = 0,385$). Il est également important de préciser ici que la courbe

d'apprentissage a été incluse dans notre étude, ce qui augmente le taux des complications à type d'hémorragies par exemple.

Cependant, concernant les complications infectieuses, notre objectif est évidemment d'en diminuer l'incidence. Ceci suppose obligatoirement une asepsie parfaite lors du geste opératoire d'une part, commençant par revoir la méthodologie de stérilisation du matériel au cidex, mais également une prophylaxie et bonne prise en charge des soins post opératoires immédiats, avec une surveillance rapprochée des patients à risque.

Notons que les complications peropératoires et postopératoires survenues chez nos patients n'ont pas entraîné de morbidité permanente. Le taux de cette dernière, dans notre série, est ainsi nul. Peu d'études sont consacrées particulièrement au sujet des morbidités permanentes secondaires à la réalisation de la VCS. La plupart de ces complications ont plutôt été rapportées dans la littérature sous la forme de « case report ».

Tableau II: Taux de morbidité selon nos études de références.

Différentes études	Taux de morbidité permanente (%)
Jones et al. 1994	3.30
Téo et al. 1998 (129 patients)	0.80
Schroeder et al. 2002 (188 patients)	1.60
Notre série 2004-2013(122 patients)	0
J.M.K. Oertel et al. 2009 (73patients/76VCS)	0

Le taux moyen de morbidité permanente sur ces cinq études est de l'ordre de 1,74%. Dans notre série ce taux est égal à 0%. Le taux de mortalité varie entre 0% et 10% selon les études. Dans la série de H. Feng, et al. (58 patients), ce taux était de 10,3% (6 patients). Dans notre étude le taux de mortalité était de 2.54%(3 patients). En général, le décès n'est pas directement lié à la VCS.

4. Conclusion

L'étude de notre série associée à notre revue de la littérature nous permet de conclure que l'utilisation de l'endoscopie dans le traitement de l'hydrocéphalie, qu'elle soit malformative ou tumorale, est la méthode de choix. La technique opératoire est facile quand les instruments adéquats sont disponibles et que la procédure est effectuée par un neurochirurgien bien formé. Comparée à la dérivation du LCR par shunts, la VCS a prouvé avoir des avantages autant dans les résultats immédiats qu'à long terme, incluant une durée d'intervention réduite, un taux de mortalité diminué, ainsi qu'un temps de récupération plus rapide[9][13,14]. Il faut néanmoins revoir la technique d'asepsie et de stérilisation du matériel pour réduire le taux de méningites.

II. Approche transphénoïdale de la base du crâne

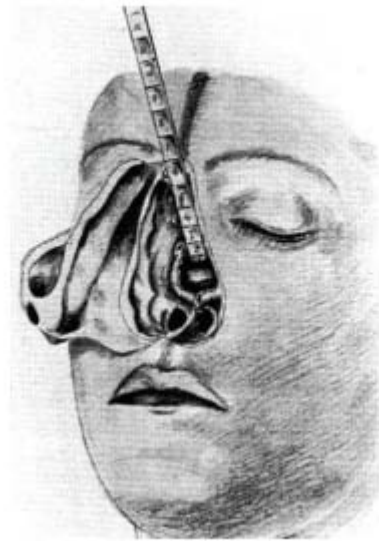


Figure 10 : Approche transphénoïdale telle qu'elle était effectuée par Herman Schloffer 1907.

1. Historique

L'approche transphénoïdale a été inspirée par les travaux anatomopathologiques de Jean Cruveilhier (1791– 1874) inspirant la méthode anatomoclinique de Charcot. Ils ont contribué à la description détaillée des méningiomes de la base du crâne et des tumeurs épidermoïdes éponymes (tumeurs perlées de Cruveilhier) [5]. Par la suite, grâce aux travaux de chirurgiens pionniers aussi bien ORL que neurochirurgiens, l'accès à la base du crâne et en particulier à la région hypophysaire a été décrit par Shloffer, Cushing et Hirsch [14],[15],[22]. La mortalité était alors principalement liée aux complications infectieuses. Le développement de la microchirurgie crânienne par Yasargil dans les années 1960–1970 a marqué le début de l'âge d'or de la chirurgie de la base du crâne avec le développement de voies d'abord codifiées principalement autour de la chirurgie du sinus caverneux par Kawase, Parkinson, Dolenc, Al Mefty, Fukushima et Sekhar pour ne citer qu'eux. Cette chirurgie parfois extensive et délabrante tient principalement compte de l'objectif oncologique au premier plan avec néanmoins des résultats fonctionnels sur les nerfs crâniens très discutables. Finalement, le début des années 1980 connaîtra l'avènement de la neuro-navigation, de la radiochirurgie et des techniques endoscopiques modernes dérivées des

travaux de Gérard Guiot entre autres. Ces techniques feront entrer la chirurgie de la base du crâne dans une ère nouvelle avec comme principale préoccupation la réduction de la morbidité neurologique.[3]

La voie transphénoïdale rhino-septale (GUIOT, 1958 ; HARDY, 1971) est aujourd'hui l'abord le plus utilisé dans le traitement chirurgical des adénomes hypophysaires. Cette voie est un autre exemple de technique chirurgicale mini invasive qui, bien qu'introduite il y a quelques siècles n'est devenue populaire qu'au cours des trente dernières années.

La position de l'hypophyse immédiatement derrière la paroi postéro-supérieure du sinus sphénoïdal explique en grande partie l'essor considérable des techniques endoscopiques dans les adénomes hypophysaires[15]. Les premières publications décrivant ce type d'approche remontent au début des années 1990. Même si Jankowski innovait en 1992 en rapportant les premières expériences d'endoscopie hypophysaire[16], nous retiendrons le travail pionnier de l'école de Pittsburgh et particulièrement celui de Jho en 1997 comme point de départ de l'épopée que connaîtra l'endoscopie hypophysaire en particulier, puis l'endoscopie de la base du crâne en général. La diffusion de cette technique et son perfectionnement seront ensuite assurés notamment par le groupe de Kassam, toujours originaire de cette même école de Pittsburgh[17], mais également par des équipes italiennes comme celle de De Divitiis et Cappabianca ou encore Frank[18]. Il est certain que ces techniques endoscopiques nécessitent un apprentissage du maniement de l'endoscope ainsi que la familiarisation avec une vision en deux dimensions contrastant avec la tridimensionnalité de l'approche microscopique. Cependant elle permet d'avoir un plus grand champ de vision dans les niveaux profonds de la base du crâne malgré une petite incision au départ (figure ci-dessous).

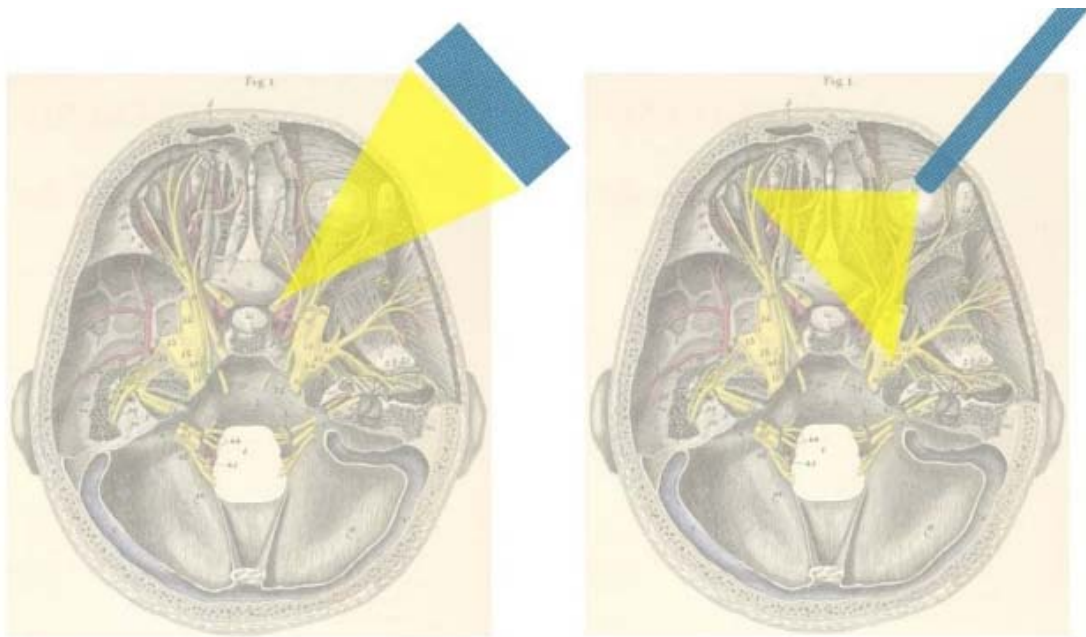


Figure 11 : Principe de la chirurgie endocrânienne microscopique Vs endoscopique. Le faisceau lumineux forme un cône qui se rétrécit depuis la source lumineuse du microscope jusqu'à l'objectif anatomique. b. L'assistance endoscopique dans la chirurgie endocrânienne de la base du crâne permet d'amener la lumière au plus près de l'objectif anatomique avec une diffusion panoramique de cette lumière permettant ainsi de regarder derrière les angles.[2]

Dans le cadre d'une collaboration rhino-neurochirurgicale interdisciplinaire, la technique endoscopique transnasale permet en outre d'atteindre une diminution de la charge opératoire et une amélioration de la qualité de vie rhinologique. L'objectif de la technique endoscopique transnasale est d'obtenir le meilleur contrôle possible sur la résection tout en préservant la qualité de vie nasale[19– 21].

Le sinus sphénoïdal et la base centrale du crâne sont atteints par un accès rhinologique, d'après les principes établis de la chirurgie endoscopique fonctionnelle des sinus paranasaux (functional endoscopic sinus surgery, FESS)[21]. Le but est d'obtenir une représentation opératoire optimale de la base du crâne, tout en préservant la muqueuse nasale, le septum nasal et les muscles nasaux. A cette fin, après la réalisation d'une ethmoïdectomie partielle, les cornets supérieur et moyen sont latéralisés et non réséqués. Ce procédé mini-invasif est décisif afin de

prévenir la formation de croûtes postopératoires et de préserver l'aérodynamique physiologique nasale. Le fond de la base crânienne peut alors être ouvert par le chirurgien avec une vue optimale.

La méthode endoscopique permet également d'accéder à d'éventuelles parties tumorales localisées latéralement, cachées par exemple dans le sinus caverneux, et de les réséquer de manière radicale. La vue endoscopique offre pour ce faire l'orientation anatomique sûre qui est requise.

2. Résultats : Expérience du service de neurochirurgie.

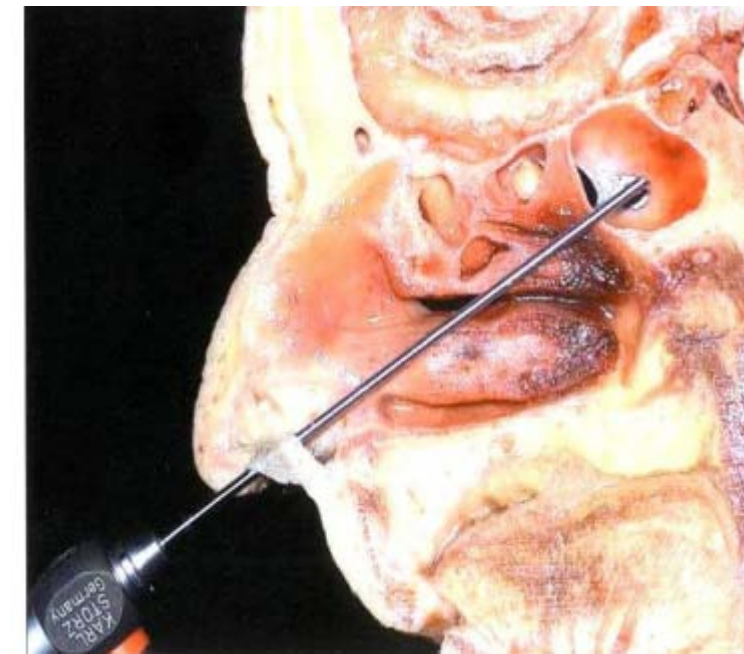


Figure 12: abord endoscopique transsphénoïdale.

2.1. Caractéristiques des patients

Durant la dernière décennie, 838 cas de tumeurs cérébrales ont été colligés au sein de service de neurochirurgie[8] au CHU Mohammed VI de Marrakech, soit 4.65% des patients hospitalisés au service durant la même période, dont 50 ont été opérés par voie transsphénoïdale

L'âge moyen de nos patients était de 31,8 ans, avec des extrêmes de 1 à 80.

Notre série retrouve un sexe ratio de 0,6.

2.2. Description du geste opératoire

Actuellement, les adénomes hypophysaires sont opérées par voie transsphénoïdale de même que certains méningiomes et craniopharyngiomes. Rares sont les indications à opérer par voie intracrânienne (<1 %). Quelques patients peuvent nécessiter une préparation médicale préopératoire comme par exemple certaines maladies de Cushing ou acromégalies sévères. S'il existe une insuffisance corticotrope préopératoire, elle doit bien entendu être suppléée avant l'intervention [7].

L'IRM hypophysaire préopératoire est essentielle et doit être de qualité optimale afin d'avoir un bilan anatomique précis pour évaluer au mieux les chances de guérison postopératoire.

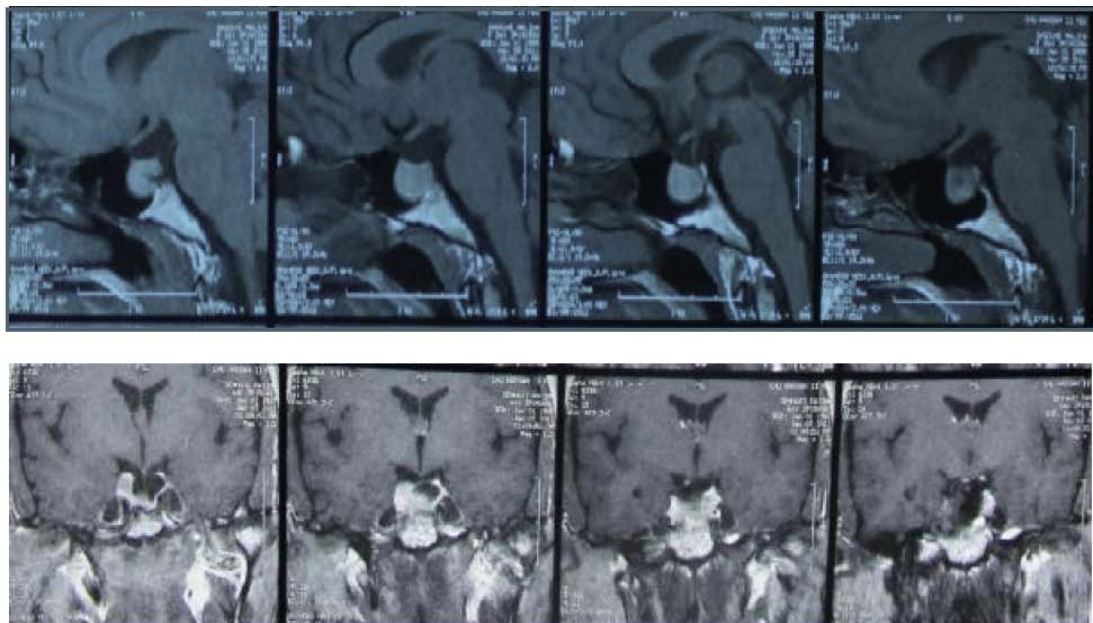


Figure 13 : IRM d'un processus hypophysaire.

L'installation du malade se fait en position demi-assise, en décubitus dorsal avec un amplificateur de brillance centré sur la région sellaïre.

- **Phase nasale :**

Une fois l'endoscope introduit dans une narine, les cornets inférieur et moyen ainsi que le septum nasal sont identifiés. Le cornet moyen est légèrement luxé latéralement. Les tampons en coton sont enlevés et l'espace entre le septum nasal et le cornet moyen apparaît alors plus large. En bougeant l'endoscope en avant entre le cornet moyen et le septum nasal à 30°, l'opérateur accède à la paroi antérieure du sinus sphénoïdal où se présente normalement l'ostium sphénoïdal.

- **Phase sphénoïdale :**

L'ostium sphénoïdal peut varier dans sa forme, ses dimensions et sa localisation, d'où l'intérêt de bien connaître ses variantes anatomiques. L'élargissement de l'ostium en inféro-médial et en inféro-latéral peut entraîner un saignement important provenant des petites branches terminales de l'artère sphéno palatine. Ce saignement peut être contrôlé par la coagulation mono ou bipolaire du recessus sphéno-ethmoïdal. Après cet élargissement, la partie postérieure du septum nasal est disséquée pour atteindre la moitié contralatérale du sinus sphénoïdal, ensuite, le rostre sphénoïdal est disséqué et l'ouverture du sinus sphénoïdal dans la paroi antérieure est complète.

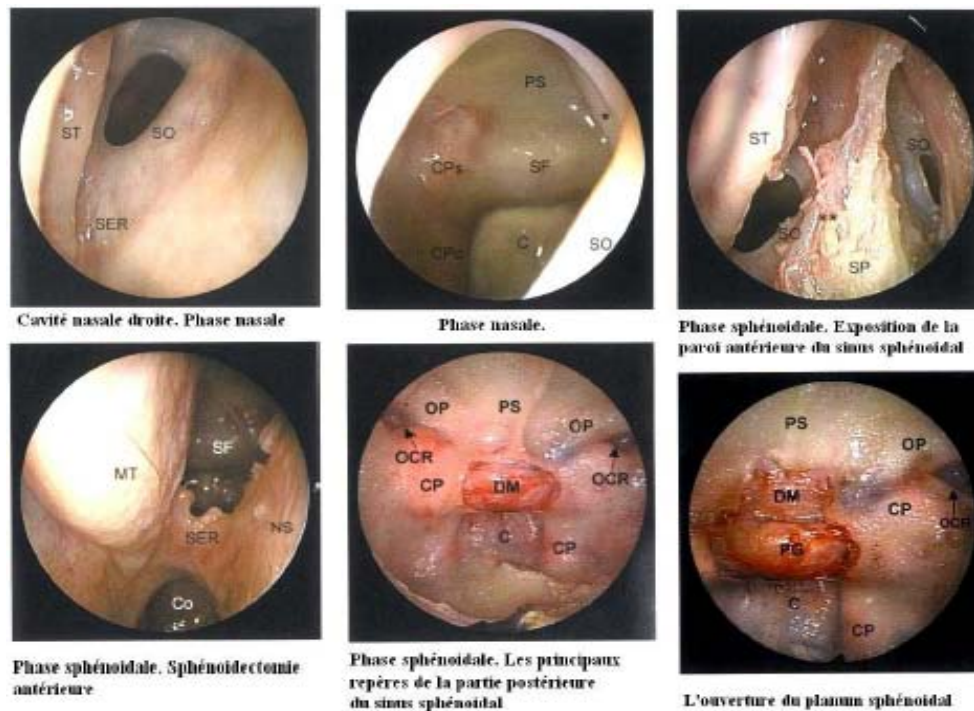
L'optique rigide permet d'explorer la totalité de la cavité sphénoïdale afin d'identifier tous les points de référence nécessaires à la fenestration correcte du plancher sellaire (les septa sphénoïdaux, les proéminences optique et carotidienne, le clivus et le planum sphénoïdal).

- **Phase sellaire :**

Celle-ci comprend plusieurs étapes :

- o Le détachement de la muqueuse sphénoïdale qui tapisse le plancher sellaire ; quand cette muqueuse paraît intacte, il suffit de la pousser vers le côté à l'aide d'un dissecteur, par contre, si elle paraît hypertrophique ou infiltrée par la lésion sellaire, elle doit être réséquée.
- o La fenestration du plancher sellaire : elle est réalisée avec un micro-rongeur puis élargie à l'aide d'un micro-rongeur de type Kerrison et /ou de punches de

Stammberger, jusqu'à avoir accès aux proéminences carotidiennes latéralement, au planum sphénoïdal en haut et au clivus en bas.



- ST : Cornet supérieur
- SO : Ostium sphénoïdal
- SER : Récessus sphéno-éthmoïdal
- PS : Planum sphénoïdal
- C : Clivus
- CP : Protubérance carotidienne
- MT : Cornet moyen
- CO : Choâne
- OCR : Récessus opto-carotidienne
- OP : Proéminence du nerf optique
- NS : Séptum nasal
- DM : Dure-mère

Figure 14 : les différentes phases de l'endoscopie endonasale transsphénoïdale.[22]

- o L'incision de la dure-mère : à l'aide d'un scalpel, une incision cruciforme est alors effectuée au niveau de la dure-mère.
- o L'inspection de la cavité sellaire : L'inspection initiale est réalisée avec un endoscope à 0°, exposant ainsi la glande et la tige pituitaires, ensuite, des endoscopes à 30° et / ou à 45° sont utilisés : en réclinant l'hypophyse, l'endoscope est dirigé vers le haut, afin de visualiser la citerne supra-sellaire et latéralement, pour explorer la paroi médiale du sinus caverneux.

- **Ouverture du planum sphénoïdal :**

La partie postérieure du planum sphénoïdal peut facilement être ouverte à l'aide d'un micro-rongeur et d'un punch de type Kerrison. Après avoir ouvert la dure-mère et la citerne, le chiasma optique, les deux nerfs optiques et les structures vasculaires de la partie antérieure du cercle de Willis deviennent visibles.

- **Ouverture des proéminences carotidiennes :**

La meilleure façon de procéder est d'ouvrir le plancher sellaire, permettant au punch de Kerrison de se diriger vers la proéminence carotidienne dans une direction médio-latérale. Ceci expose la surface antéro-médiale de la portion intra-caverneuse de la carotide interne. En élargissant l'ouverture de la proéminence carotidienne vers le recessus optocarotidien, nous exposons l'insertion et le trajet de l'artère ophtalmique.

- **Fenestration du clivus :**

Initialement, la partie la plus basse du plancher sellaire doit être ouverte jusqu'à accès au clivus. L'épaisseur du clivus est ensuite réduite. La fenestration est complétée par un punch de Kerrison, en procédant de façon crânio-caudale à partir du dorsum sellaire. L'ouverture de la dure-mère révèle la partie supérieure du tronc cérébral, l'artère basilaire avec ses branches terminales et la troisième paire crânienne.

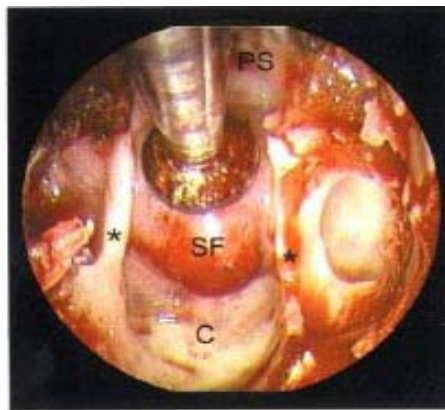
- **Ablation de la lésion :**

La lésion intra-sellaire est réséquée à l'aide de curettes de différents diamètres et angulations. Bien que l'accès à ces structures à travers une seule narine puisse paraître étroit, il est possible d'utiliser deux instruments simultanément, d'habitude une curette et un tube d'aspiration. Des instruments spécifiques à double fonction pour le curetage et l'aspiration ont vu le jour et se sont avérés particulièrement utiles pour limiter les retraits et les réinsertions répétitifs des instruments, minimiser les traumatismes des tissus sains et en même temps, réduire la durée de la procédure. Ces instruments facilitent la mobilisation et l'aspiration des fragments d'adénomes voire même de macroadénomes quand une curette d'aspiration spéciale, connectée à un tube d'aspiration est utilisée. La procédure est réalisée à l'aide d'un endoscope à 0° mais aussi des endoscopes à 30° et /ou 45 qui sont particulièrement utiles pour l'exploration directe des régions supra et para-sellaires.

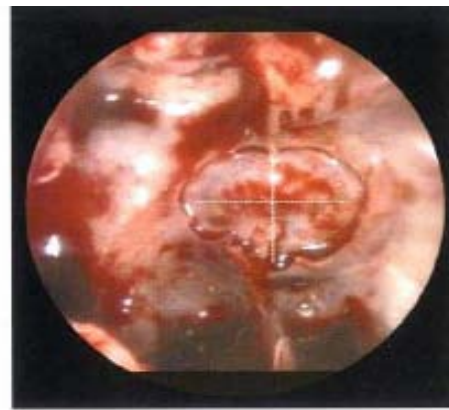
- **Exploration intra-sellaire :**

Après l'ablation de la lésion, la cavité résiduelle est explorée à l'aide d'un endoscope à 30° et/ou à 45° pour une ultime inspection de la région supra et para-sellaire en particulier.

La citerne chiasmatique peut paraître intacte ou infiltrée. De plus, il est possible de détecter la moindre petite brèche en continuité avec la citerne chiasmatique, susceptible de provoquer une fuite du LCR.



Phase sellaire. L'ouverture du plancher sellaire à l'aide d'un micro-drill



Phase sellaire. Incision de la dure-mère



Phase sellaire. Ablation d'un macroadénome par un curetage



L'irrigation de la cavité sellaire après l'ablation du macroadénome

SC : citerne suprasellaire

SF : Plancher sellaire

C : Clivus

Figure 15 : étapes de la chirurgie endoscopique endonasale transphénoïdale.[22]

- **Reconstruction sellaire :**

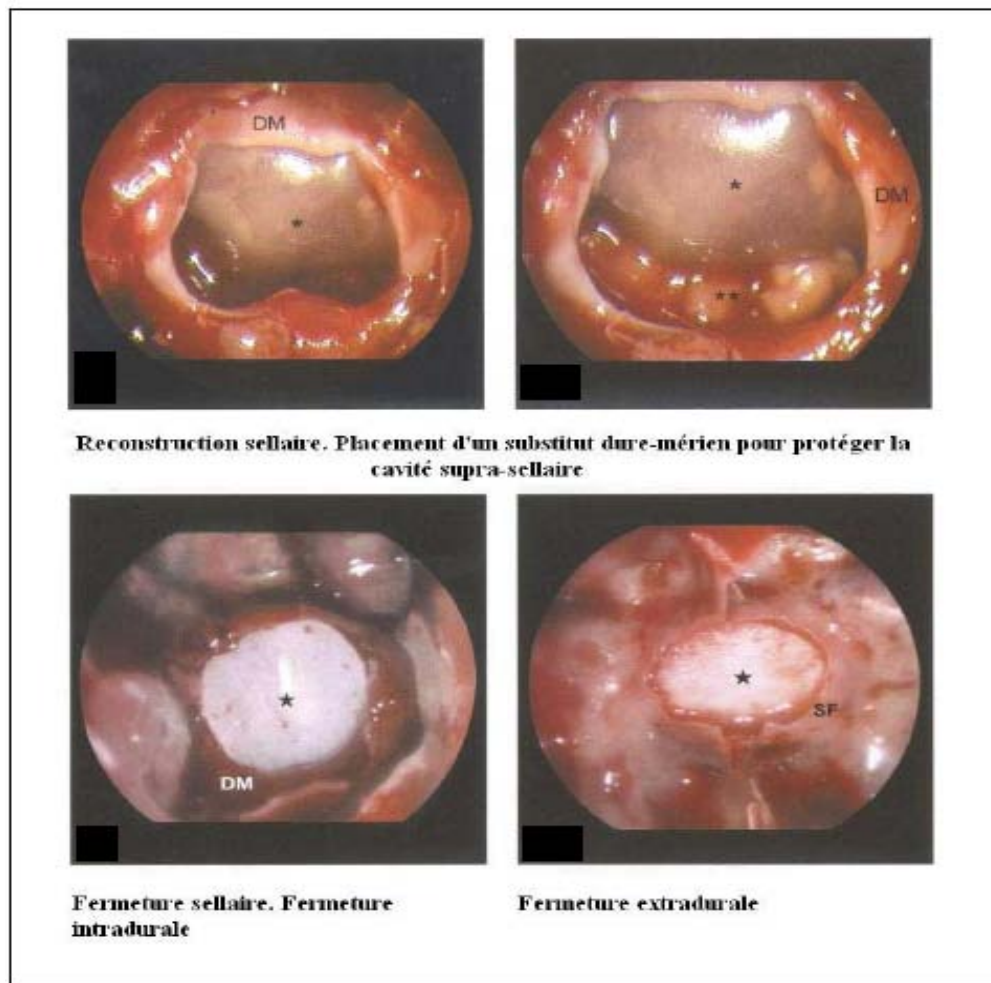
A la fin de la procédure endoscopique, si une fuite du LCR est évidente ou suspectée, un comblement intra et/ou extra-dural de la selle turcique est réalisé en utilisant de la graisse autologue entre autres, en suivant les principes communs à la chirurgie transsphénoïdale. Le but de ce comblement (packing) est de créer une barrière entre l'intérieur et l'extérieur de la fosse

pituitaire, de réduire l'espace mort et de prévenir la descente de la citerne chiasmatique dans la cavité sellaire.

Lorsque la lésion est extirpée et que la cavité résiduelle est petite et la citerne intacte, il ne faut procéder à aucun type de reconstruction.

Cappabianca [34] a décrit une méthode simple pour la reconstruction sellaire, après la chirurgie endoscopique endonasale, transsphénoïdale. Une méthode qui permet selon lui, une fermeture étanche du plancher sellaire. Il s'agit de mettre en place dans la selle turcique, après l'ablation de la lésion, un substitut dural qui est un patch N3, biocompatible, fabriqué par 100 % de polyéthylène (Polyester) imprégné par du diméthyl siloxane (silicone). Grâce à sa consistance, ce patch devient collant. Par la suite, du tissu du tissu graisseux autologue ou de la masse gélatineuse est mise en place, suivi d'un film de colle à base de fibrine qui vient compléter la fermeture. Ce patch est flexible et élastique et peut combler facilement l'espace. Cette technique est facile et confortable et permet une fermeture hermétique sans restriction due à l'espace de travail qui est habituellement réduit. En particulier, lorsqu'une fuite de LCR est détectée durant l'opération, Paolo Cappabianca [34] introduit une première couche de substitut en intra-dural avec la surface lisse en regard de l'arachnoïde et la surface poreuse à l'extérieur, pour entraîner une fibrose réactionnelle, ensuite, il met en place un fragment de graisse autologue ou de mousse gélatineuse au sein de la cavité sellaire et une dernière couche de substitut en extradural. Une fine couche de colle à base de fibrine, à la face externe de la paroi antérieure de la selle turcique dans le sinus sphénoïdal, vient compléter cette rapide et simple reconstruction.

Cette technique a été utilisée chez 15 patients, un drainage du LCR s'est imposé chez l'un d'entre eux. L'évolution était favorable chez tous les patients sans survenue d'infection, de migration de patch ou de fuite postopératoire de LCR.

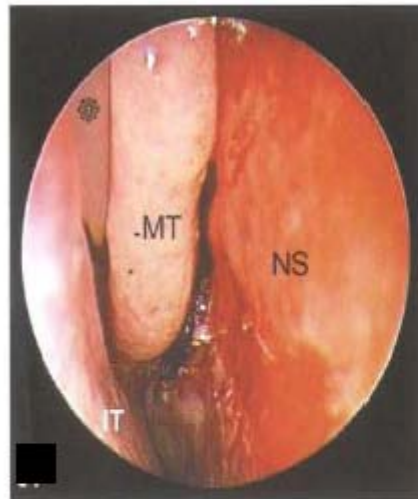


DM : dure-mère
SF : plancher sellaire

Figure 16 : Etapes de la chirurgie endoscopique endonasale transphénoïdale.[22]

- L'intervention par voie transphénoïdale endoscopique dure en moyenne 30 à 45 minutes.
- La durée de l'hospitalisation est de trois à quatre jours. Cette durée est liée essentiellement à la surveillance métabolique et endocrinienne et au risque de diabète insipide postopératoire transitoire.

- Les modalités de l'intervention sont strictement consignées dans le compte rendu opératoire, de façon à aider l'interprétation radiologique d'un éventuel résidu tumoral sur les contrôles ultérieurs.



**Fin de la procédure. Médialisation
du cornet moyen**



**La procédure endoscopique évite les
remaniements des fosses nasales.**

MT : cornet moyen

NS : Septum nasal

IT : cornet inférieur

Figure 17: Dernières étapes de la chirurgie endoscopique endonasale

2.3. Evolution post opératoire

L'absence de cicatrice externe qui caractérise la chirurgie endoscopique endonasale ne doit pas occulter une morbidité parfois importante, particulièrement dans les abords dits étendus dont le caractère mini-invasif peut être discuté. Dans notre série, un certain nombre de complications a été observé. Il s'agit principalement de :

- Diabète insipide chez 9 patients soit 18% des cas.
- Apparition de déficit neurologique en post opératoire chez 3 patients, soit donc 6% de notre série.
- Récidive à long terme chez 4 patients donc 8%, respectivement à 6, 10 12 et 15 mois.

- Fuite de LCR chez 15 patients

3. Discussion

3.1. Comparaison des patients :

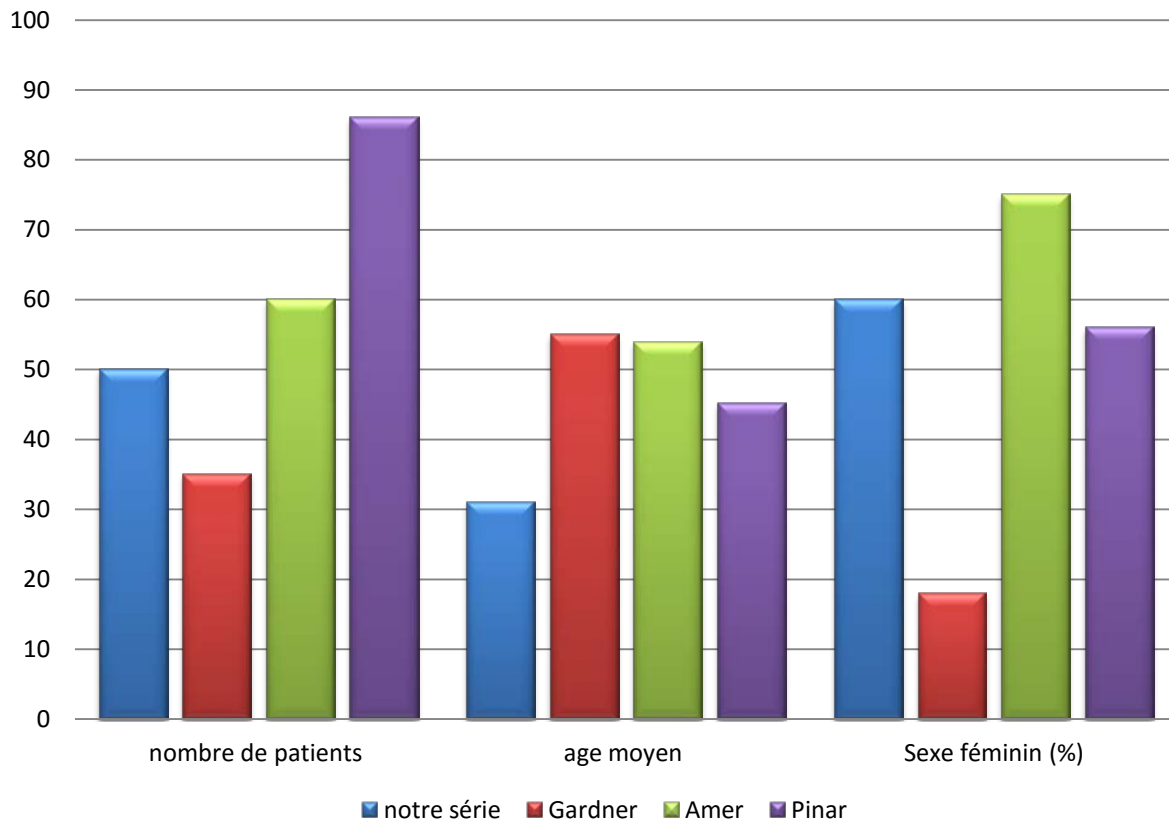


Figure 18 : Caractéristiques des patients opérés par voie transphénoïdale.

Le nombre de cas des études varie selon les centres. Ainsi dans les séries publiées nous retrouvons l'étude de Gardner qui a étudié 35 patients[23], Pinar rapporte une série de 86 patients.

L'âge moyen dans la série Amer est de 54 ans (18–65[24]). Dans la série de Pinar, l'âge moyen était de 45,2 ans. La série de Gardner et al présente une moyenne d'âge de 55 ans avec des extrêmes allant de 39 à 79 ans[23].

Le sexe est variable selon les séries, avec une prédominance du sexe féminin dans la majorité des séries rapportées avec un sexe ratio à 0.3 chez Amer, 0.75 chez Pinar. Cependant la série de Gardner rapporte un sexe ratio de 4.

3.2. Complications

Des complications autres que celles retrouvées dans notre série sont possibles, bien qu'elles n'aient pas toutes été observées chez nos patients, il est important de les citer et de les considérer durant et après la procédure:

- **Morbidité nasale** : L'approche endonasale transphénoïdale peut occasionner une rhinite croûteuse, particulièrement fréquente et gênante au décours des abords étendus avec turbinectomies. D'après une étude récente, la fréquence de cette rhinite croûteuse atteindrait 98 % dans les abords étendus et une résolution des symptômes est observée entre trois et six mois après la chirurgie [85]. La prévention associe un respect peropératoire particulier de la muqueuse ainsi que des soins locaux postopératoires quotidiens au sérum physiologique (aérosols et/ou lavages). La perte partielle ou totale de l'odorat et la sensation de nez bouché peuvent également compliquer ce type de chirurgie. Des échelles fonctionnelles ORL sont utilisées pour quantifier cette morbidité comme le Sino-Nasal Outcome Test 22 [SNOT-22] (Annexe). Les sinusites sphénoïdales infectieuses postopératoires sont possibles et peuvent être prévenues par une moindre utilisation de matériaux artificiels de bourrage et l'ouverture large du sinus sphénoïdal.
- **Complications vasculaires**: Une hémostase per opératoire rigoureuse permet de diminuer le risque d'épistaxis postopératoire. Ce dernier est rarement important, le plus souvent en rapport avec une lésion des artères nasales postérieures, branches de l'artère sphénoopalatine. Cette complication peut nécessiter une reprise chirurgicale ou une embolisation endovasculaire en l'absence de réponse au tamponnement. Les lésions peropératoires de l'artère carotide interne sont dramatiques mais rares. L'analyse préopératoire de l'imagerie permet d'anticiper le trajet des artères carotides, particulièrement les procidences sellaires. Enfin, des pseudo-anévrismes et des fistules carotido-caverneuses postopératoires ont été décrites, en rapport avec des lésions chirurgicales des sinus caverneux [6]

- **Rhinorrhée cérébrospinale:** Les brèches arachnoïdiennes au cours de la chirurgie endoscopique endonasale des adénomes hypophysaires voient leur fréquence diminuée avec l'expérience de l'équipe chirurgicale. Ces brèches sont logiquement plus présentes lors de l'exérèse de tumeurs intradurales. La reconstruction de la base du crâne doit s'attacher à recréer l'anatomie et les différentes couches de la base (arachnoïde, dure-mère, os et muqueuse). L'utilisation des lambeaux pédiculés, dont le plus courant est le lambeau muqueux nasoseptal décrit par Hadad[25] a permis de ramener à environ 5 % la fréquence de fistules dans les abords extensifs. D'autres lambeaux de couvertures ont également été rapportés.
- **Autres complications:** L'**insuffisance anté et/ou post hypophysaire** peut s'observer essentiellement avec les lésions sellaires tels les adénomes hypophysaires et les craniopharyngiomes. Le **diabète** insipide doit absolument être dépisté dans la période postopératoire précoce pour être corrigé rapidement. Ailleurs, de rares cas **d'hémorragies intraorbitaires** ont été rapportés, en rapport avec une lésion de l'artère ethmoïdale qui se rétracterait dans le globe oculaire. Une atteinte directe des muscles oculomoteurs ou des voies lacrymales font également partie des complications rares des abords endoscopiques endonasaux.

Pour accomplir l'objectif de cette étude, nous devons comparer nos résultats aux résultats de la bibliographie. Nous nous baserons pour ce chapitre sur les séries de Gardner[23], de Pinar[26] et de Amer[24], qui ont tous abordé le sujet de l'approche endonasale transsphénoïdale de la pathologie de la base du crâne.

Tableau III: Complications de l'approche endonasale transsphénoïdale.

Complications	Notre série	Gardner	Pinar	Amer
Troubles endocriniens	18%	6%	10,5%	10%
Déficit neurologique	6%	3%	0%	5%
Fuite de LCR	30%	40%	47%	16,6%
Récidive	8%	0	6%	2%

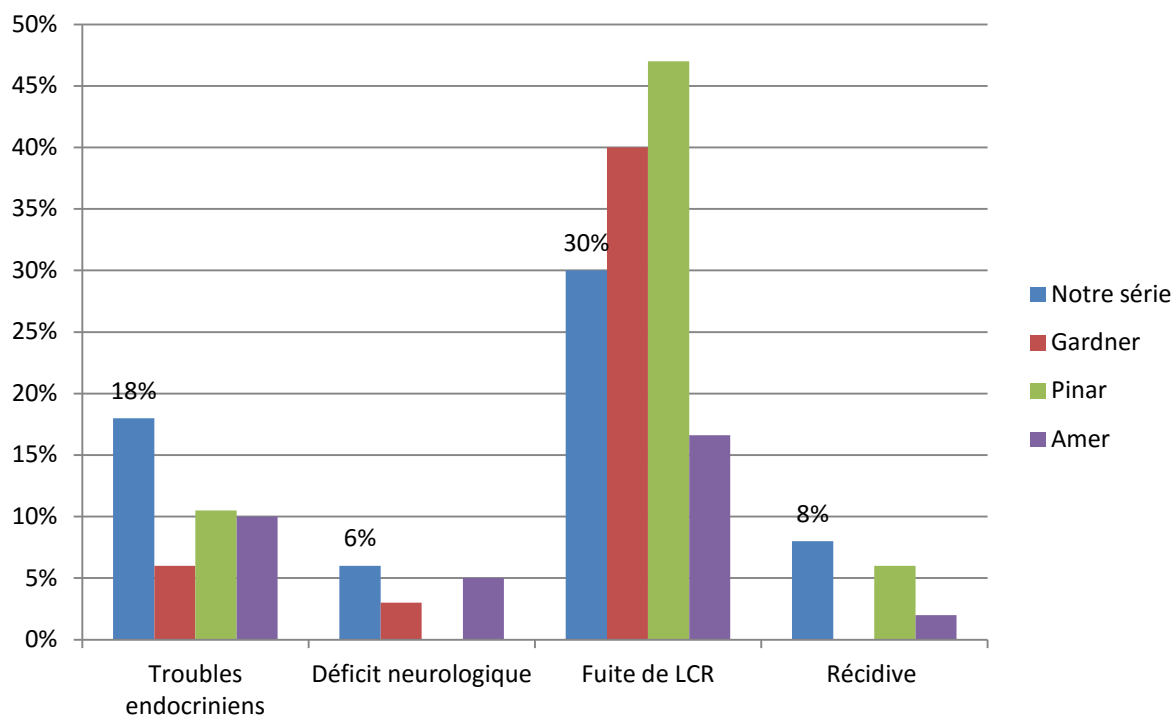


Figure 19 : Complications de l'approche endonasale transsphénoïdale.

En nous basant sur cette comparaison, nous pouvons voir que nos résultats sont proches de ceux de la littérature. Nous pouvons également remarquer un haut taux de rhinorrhée cérébrospinale. L'hypothèse de Kassam[23] à ce sujet est que le franchissement de l'arachnoïde surtout au niveau d'une citerne basale ou suprasellaire augmente le risque de fuite de LCR et augmente également la difficulté de réussir sa résolution. Ceci est soutenu par l'observation que la taille tumorale n'est pas corrélée avec la fuite du LCR, mais il semblerait que la position et le type de la tumeur soient liés à l'apparition de ce phénomène.

L'élément le plus important à évaluer reste cependant la récurrence tumorale. Celle-ci est estimée par des clichés d'IRM à 6 mois, puis une fois par an. Elle représente le «gold standard» de la chirurgie endoscopique endonasale transsphénoïdale. Nous pouvons voir que nos résultats sont légèrement plus élevés que ceux rapportés par la revue de littérature. Cependant, il faut garder à l'esprit que cette comparaison est limitée par l'hétérogénéité des tumeurs en taille ainsi qu'en terme d'agressivité. Il est ainsi difficile de conclure de façon radicale.

4. Conclusion

Les interventions neurochirurgicales ont pour objectif principal la résection tumorale complète. En effet, il est avéré que le plus grand degré de résection possible prolonge la survie sans progression. Le gain que représente une radicalité maximale est cependant relativisé si la qualité de vie se perd en raison d'un mode opératoire traumatique. Le meilleur résultat opératoire possible doit donc être associé à la plus faible charge possible pour le patient. Cet objectif peut être atteint dans la chirurgie mini-invasive transnasale de la base crânienne grâce à une approche rhino-chirurgicale et l'utilisation de techniques endoscopiques. Les résultats sont convaincants: des études actuelles démontrent un meilleur contrôle de la résection tumorale ainsi que des résultats endocrinologiques et ophtalmologiques plus favorables pour une morbidité péri-interventionnelle globalement réduite. L'utilisation des techniques endoscopiques permet maintenant de réséquer avec succès non seulement les adénomes hypophysaires, mais également les tumeurs complexes de la base du crâne par voie transnasale ou par des voies d'accès combinées (fig. 4).

La collaboration rhino-chirurgicale et neurochirurgicale interdisciplinaire promet en outre un résultat amélioré quant à la fonction nasale postopératoire ainsi qu'un confort subjectif élevé, après les interventions endoscopiques transnasales[6]. Dans leur étude comprenant un grand nombre de patients, Graham et al. ont ainsi mis clairement en évidence qu'après les interventions endoscopiques, le résultat associé à la tumeur opérée mais également le résultat rhinologique spécifique est meilleur qu'après une opération microscopique dépendante d'un spéculum [13]. Cela s'est aussi confirmé dans notre collectif de patients. Les patients se plaignaient moins de synéchies et de formation de croûtes, et décrivaient une meilleure respiration nasale et un sens de l'odorat inaltéré. Tout à fait dans l'optique des procédés maxi-efficaces et mini-invasifs.

III. Biopsie stéréotaxique

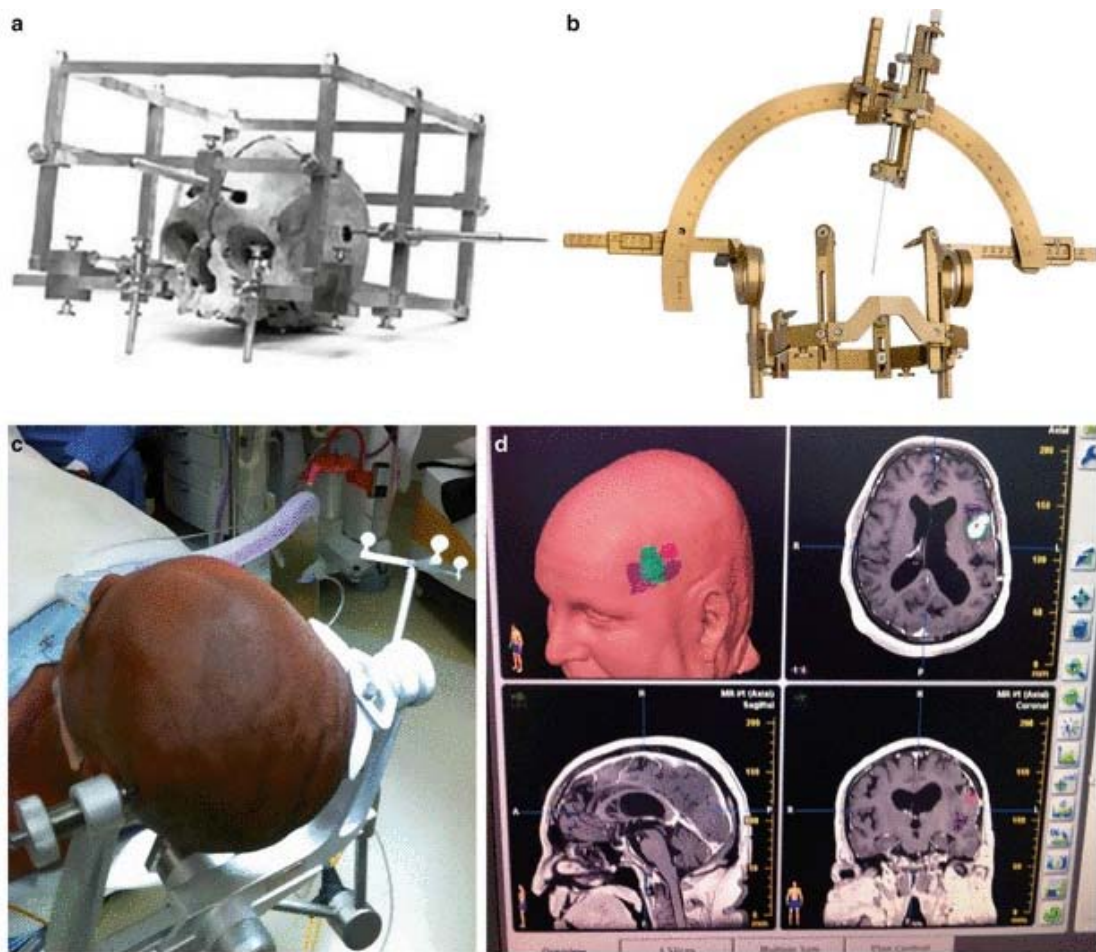


Figure 20: Evolution de la biopsie stéréotaxique de a) Model de Clark 1906 à b) Cadre de Leksell (1947) vers c) stéréotaxie sans cadre. [27]

1. Historique

La méthode stéréotaxique a été décrite d'abord par Clarke et Horsley. La dénomination de stéréotaxie dérive des mots grecs Stereo signifiant « espace tridimensionnel » et Taxis qui signifie « positionnement, placement ». Ainsi stéréotaxie devrait signifier placer dans un espace tridimensionnel.[2]

La quête d'un appareil stéréotaxique pour guider des dispositifs chirurgicaux a commencé en 1908 mais une partie importante de la neurochirurgie stéréotaxique d'aujourd'hui compte encore sur des cadres stéréotaxiques développés il y a près d'un demi-siècle. Les robots excellent

dans la gestion des informations spatiales, et sont donc des candidats évidents dans la direction de l'instrumentation selon des trajectoires précisément prévues[28].

Au Maroc, la première intervention stéréotaxique a été réalisée en 1983 au service de neurochirurgie de l'hôpital des spécialités de Rabat, utilisant le cadre de Reichert avec comme moyen de repérage, les radiographies standards et la ventriculographie gazeuse ou au metrizamide. Ce n'est que vers 1989 que la méthode stéréotaxique est devenue de pratique courante au sein du même et seul service au Maroc, utilisant toujours le cadre de Reichert et des radiographies simples comme moyen de repérage en se référant à une TDM préopératoire. En 1993, la fondation Hassan II pour la prévention et la lutte contre les maladies du système nerveux a mis à la disposition du service de neurochirurgie de l'hôpital des spécialités le cadre de Leksell adaptable au scanner permettant à la technique stéréotaxique de se développer avec des résultats très satisfaisants. En Mai 1996, la fondation a acquis l'adaptateur IRM du cadre de Leksell, ce qui a permis aux neurochirurgiens de Rabat de pratiquer des biopsies stéréotaxiques en condition IRM [29,30].

A l'hôpital universitaire Ibn Rochd de Casablanca, ce n'est qu'en 2000 que la biopsie stéréotaxique a pu être introduite au service de neurochirurgie qui a pu acquérir un cadre stéréotaxique de type Radionics et la première biopsie stéréotaxique fut réalisée le 04/02/2002.

Le principe de la stéréotaxie est de pouvoir réaliser des prélèvements biopsiques au niveau d'une lésion supposée tumorale sans risque fonctionnel, en tenant compte des données de l'imagerie. L'apparition des techniques d'imagerie modernes et l'adaptation des cadres à ce type d'imagerie ont permis de simplifier considérablement la procédure stéréotaxique. Celle-ci peut maintenant être conduite en salle de scanner ou même d'IRM (si l'installation est compatible avec la réalisation d'actes interventionnels), ou alors si tôt le repérage fait, poursuivie au bloc opératoire. Beaucoup d'équipes pratiquent actuellement un repérage tridimensionnel préopératoire en n'utilisant que quatre marqueurs (métalliques au scanner, plots remplis de gadolinium ou de sulfate de cuivre en IRM) disposés au niveau des points d'ancrage osseux nécessaires à la fixation du cadre chirurgical. En salle d'intervention, les marqueurs sont remplacés par le cadre chirurgical (Leksell, Reichert). Toutes les données d'imagerie recueillies

(scanner, IRM, artériographie digitalisée) peuvent actuellement être exploitées sur des consoles informatiques de traitement d'image, et il devient possible de calculer avec précision les coordonnées de la cible et choisir le trajet biopsique le plus sécurisant et le moins long. Ainsi, grâce à l'informatisation du geste stéréotaxique, les prélèvements peuvent être réalisés avec une précision millimétrique et en toute sécurité. Ils doivent intéresser la tumeur avec toutes ses composantes, la périphérie tumorale et le parenchyme avoisinant. Sont effectués, en général, un à trois trajets biopsiques et chaque trajet doit comporter trois à cinq prélèvements. [28,29]

2. Résultats : Expérience du service de neurochirurgie

2.1. Caractérisation des patients

Il s'agit d'une série consécutive de 08 cas de tumeurs cérébrales qui ont été recrutées au service de Neurochirurgie du CHU Mohammed VI, chez des patients ayant des tumeurs cérébrales à localisation profondes et/ou localisée au niveau d'une zone fonctionnelle.

Toutes les biopsies ont été réalisées par le même chirurgien et examinées par le même pathologiste.

Dans notre série L'âge des malades varie entre 10 et 75 ans avec une moyenne de 42,5 ans.

Concernant le sexe des patients, nous notons une prédominance masculine (5 hommes pour 3 femmes) mais qui n'est pas significative vu la taille de l'échantillon.

Dans notre série 06 de nos patients ont bénéficié d'une TDM cérébrale tandis que 05 ont bénéficié d'une IRM cérébrale révélant une prédominance des lésions au niveau du lobe pariétal dans 33 % des cas. Pour tous les patients le cadre utilisé est le zamorano Duchovny ZD (inomed)[®] avec un logiciel de stéréotaxie types Praezis plus[®] 3.1.

Nos patients ont pu bénéficier d'une intervention stéréotaxique car ils répondaient à l'une ou plusieurs des conditions suivantes:

- petites lésions profondes
- lésions multiples ou diffuses.

- état général du patient constituant une contre indication à une intervention d'exérèse
- persistance d'un doute sur le diagnostic.

2.2. Description de la procédure

Avant de débiter la procédure, le patient reçoit des informations éclairées sur les modalités, la durée de l'intervention et sur les éventuelles complications. Pour s'assurer de son bon état, le patient reçoit 50 à 100 mg d'hydroxyzine. Tout au long de la procédure, les étapes de la check-list (annexe 2) doivent être vérifiées.

En suivant le paradigme de la chirurgie guidée par l'imagerie (IGS), les patients sont soumis initialement à une imagerie par résonance magnétique (IRM) et / ou une TDM. Notons que selon Holtzheimer, le jour de la chirurgie, et après fixation du cadre stéréotaxique à la tête du patient, une tomодensitométrie (TDM) est effectuée.

• Fixation du cadre stéréotaxique :

La technique de BST est généralement menée sous anesthésie locale. Nous sommes cependant obligés d'effectuer la procédure sous anesthésie générale dans certaines situations, essentiellement devant des patients au profil psychologique particulier, ou quand s'agit d'une population pédiatrique.

Pour mettre le cadre en place, le patient est placé en décubitus dorsal. L'abord se fait en région précoronale sauf dans certains cas de lésions occipitales, temporales, de la fosse cérébrale postérieure (FCP) ou pariétal postérieur, pour lesquels l'abord se fait en décubitus ventral ou latéral.

Le cadre est ensuite fixé à la tête par l'intermédiaire de pointes métalliques vissées dans la table externe de la voute du crâne.

- Acquisition des images TDM ou IRM avec cadre en place :



A



B



C

Une fois le cadre en place, le localiseur (généralement casque en plexiglas) permettant le calcul des coordonnées de la cible est fixé dessus. L'ensemble est emboîté sur l'adaptateur au scanner TDM ou à l'IRM. Habituellement, la technique repose sur le repérage de la lésion au scanner.

La nécessité de compléter avec les données de l'IRM justifie le recours parfois à du matériel non ferro-magnétique, rendant ainsi le cadre compatible avec l'appareil d'IRM. Cette possibilité d'intégrer l'IRM au sein d'une exploration stéréotaxique constitue un réel avantage, car le neurochirurgien dispose d'une analyse tridimensionnelle de la lésion, avec la possibilité de reconstruction volumétrique. Celle-ci étant replacée dans un espace intracrânien bien identifié.

Des lors, il est possible de définir, pour une tumeur cérébrale donnée, les coordonnées nécessaires à la définition du trajet stéréotaxique: point d'entrée et degré d'inclinaison, cible idéale en tenant compte de l'anatomie sulcale, ventriculaire, ainsi que des exigences fonctionnelles et vasculaires[13 ; 25 ; 28–30].

Figure 21: Acquisition des images.



Figure 22 : Fixation du cadre stéréotaxique (A,B et C) puis du localiseur (D).

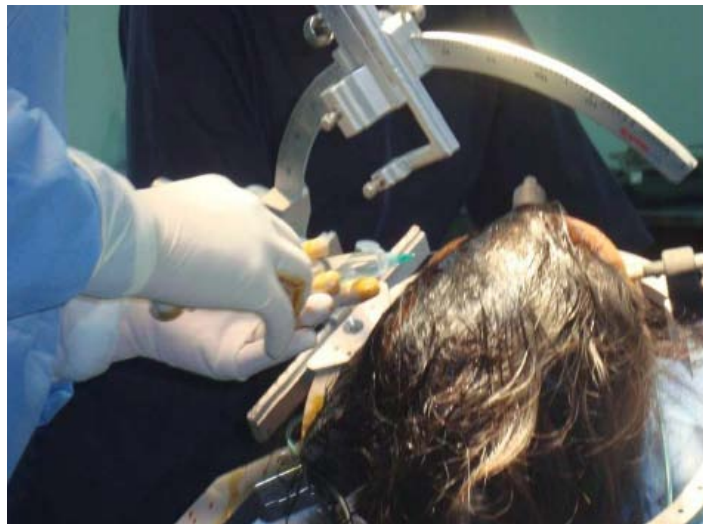


Figure 23: Anesthésie locale au point d'entrée.

- **Trajet stéréotaxique :**

Dans la plupart des cas, la trajectoire de la biopsie est assez simple à choisir. Ces trajectoires, dites en double obliquité, sont faciles à réaliser avec les cadres stéréotaxiques

actuels. Ces systèmes utilisent pour la plus part le principe de l'arc isocentrique, et permettent de choisir librement le point d'entrée cortical. Ainsi, sans calculs particuliers, il est facile d'éviter les zones fonctionnelles et les vaisseaux de la surface corticale. Il est parfois nécessaire de calculer l'angulation de la trajectoire de façon plus précise dans les situations suivantes :

- o Lorsqu'il s'agit d'effectuer deux prélèvements de siège bien déterminé au sein d'une même lésion. Il est alors nécessaire de calculer la trajectoire passant par ces deux points consécutivement, ce qui permet d'éviter d'envisager deux trajectoires différentes. Le calcul de la trajectoire peut s'effectuer de façon manuelle par un calcul d'angle, ou en utilisant des programmes informatiques spécifiquement conçus.
- o Lorsqu'il est impératif d'éviter en profondeur des structures vasculaires importantes, afin de rester dans l'optique minimalement invasive de l'intervention.

La technique la plus sûre, selon plusieurs auteurs, est d'utiliser une artériographie stéréotaxique per opératoire. La trajectoire est alors calculée pour atteindre la cible choisie au scanner et éviter les structures vasculaires. Les tumeurs temporales internes, insulaires ou pinéales peuvent être abordées par voie orthogonale latérale selon la technique préconisée par Talairach et Szikla.

- **Calcul des coordonnées :**

Grace à la coupe TDM ou IRM réalisée, cadre en place ou le point cible a été choisi, le calcul des coordonnées X, Y, Z est réalisé grâce aux signaux du casque en plexiglas inscrits sur TDM ou IRM. (Z : coordonnées de hauteur, X : coordonnée de latéralité, Y : position dans le sens antéropostérieur). Le neurochirurgien monte le porte-instrument sur l'arc du cadre en fixant les différentes pièces selon les cotes : Z, Y et X puis les deux angulations préalablement calculées.

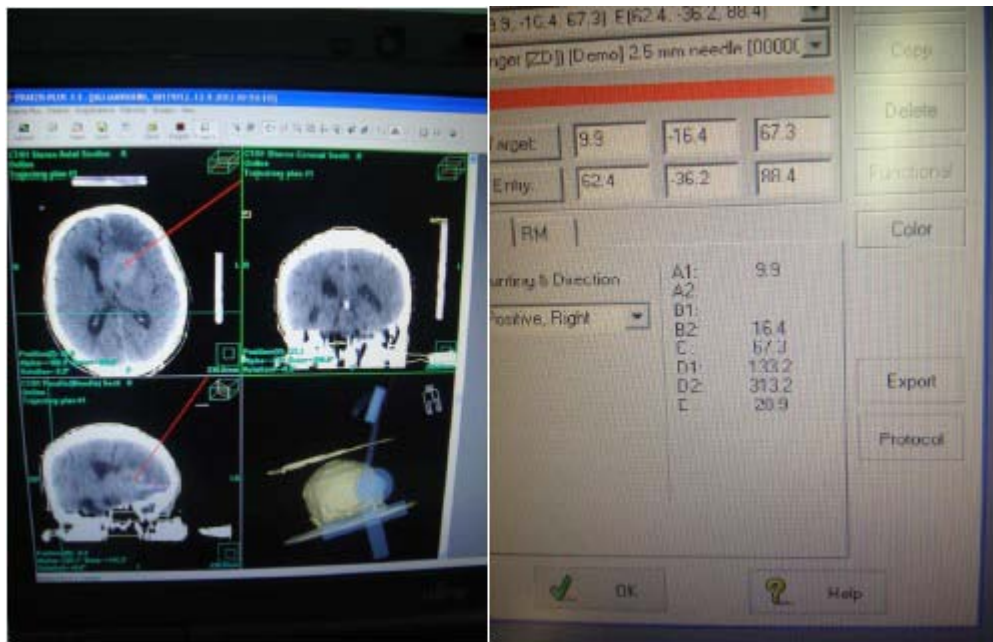


Figure 21: saisie des données et calcul des coordonnées.

- **Trépanation :**

Après avoir choisi l'outil pour la réalisation de la biopsie, la voie d'abord dépendra du site de la lésion à biopsier. La voie coronale est la plus utilisée. Les voies occipitale, latérale et transphénoïdale peuvent également être utilisées [37].

Le neurochirurgien réalise une incision punctiforme du scalp par l'intermédiaire d'un trocart à incision puis une trépanation est réalisée au moyen d'une perceuse électrique. L'épaisseur de la voûte crânienne sera préalablement jugée par le chirurgien, et une butée sera adaptée à la mèche pour éviter une lésion de la dure-mère.



Figure 22: Trépanation.

- **Introduction de l'outil :**

Après ouverture de la dure-mère, le biopsieur sera introduit progressivement et de façon atraumatique vers la cible, qui sera atteinte une fois l'outil arrêté par la butée du porte-outil. Le trajet du biopsieur devra être dans la zone la moins dangereuse et la moins fonctionnelle, qui permet la réalisation d'un repérage si un acte chirurgical à ciel ouvert sera secondairement indiqué

- **Prélèvement :**

Il est indispensable que l'examen histologique soit réalisé par un anatomo-pathologiste expérimenté. Pour augmenter les chances de diagnostic histologique, il est recommandé de réaliser plusieurs prélèvements histologiques (3 en moyenne). D'une manière générale, il convient de s'assurer d'un échantillonnage suffisant, permettant ainsi un examen extemporané, un examen histopathologique standard, et éventuellement des études immunohistochimiques. Ceci peut être

réalisé en faisant simplement tourner le trocart sur lui-même à chaque fois (prélèvement en rosette). Les prélèvements peuvent être étagés le long de la trajectoire, en laissant un intervalle de 2mm entre chaque site de biopsie. Cette technique de biopsie étagée est plus dangereuse si la forme de la lésion est très irrégulière : le risque est de faire porter un prélèvement au niveau de la limite externe de la lésion, au voisinage des vaisseaux bordants ». Il est dans ce cas recommandé par certains auteurs d'effectuer une artériographie stéréotaxique [33].

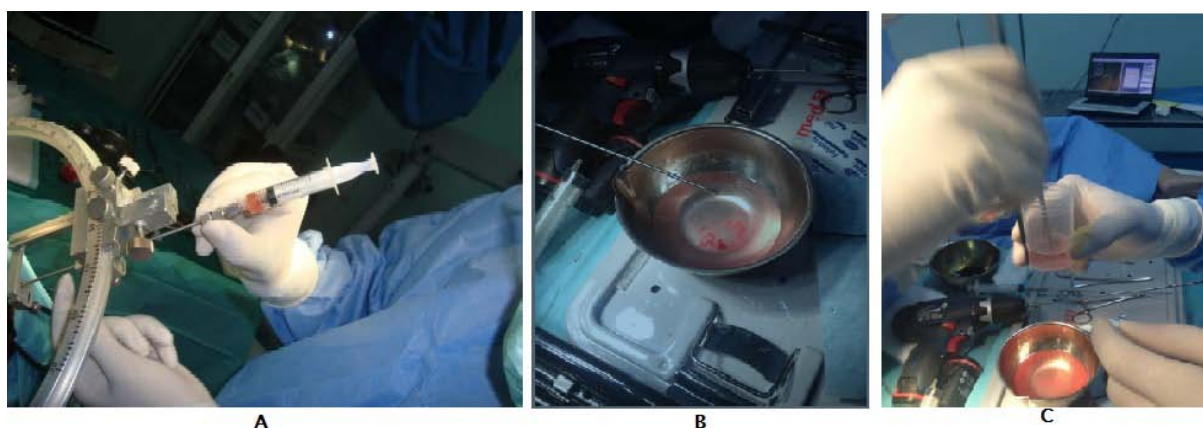


Figure 23: Etapes de la biopsie : (A) prélèvement au trocart. (B) dépôt des prélèvements dans du sérum physiologique. (C) Acheminement des biopsies au service d'anatomopathologie.

3. Discussion

3.1. Caractéristiques des patients

Tableau IV: caractérisation des patients.

Auteurs	Année d'étude	Nombre de cas	Age moyen	Agés extrêmes
Marcelo Paglioli[29]	1993–2005	170	48.5	4 – 91
Sajid[29]	1999–2003	15	34,5	15 – 54
Mehmet Ersahm[31]	1995–2010	290	46.6	2 – 82
Aylin okcu Heper	1995–2003	130	46	7 – 82
Se-yi Chen	2006–2010	10	44.5	3 – 86
Notre série	2011–2012	8	42,5	10 – 75

Tableau V : proportion Homme/femmes et sexe ratio dans les séries de référence[29]

Auteurs	Nombre de cas	Femmes / Hommes	Sexe ratio
Marcelo Paglioli	170	68 / 102	0,66
Sajid Nazir	15	6 / 9	0,66
Mehmet Ersahm	290	112 / 178	0,62
Aylin Okcu Heper	130	45 / 85	0.52
Notre série	08	3 / 5	0.6

3.2. Durée de l'intervention

Dans notre série, la durée moyenne de l'intervention, depuis l'entrée du patient au bloc opératoire jusqu'à sa sortie, est d'une moyenne de 83 minutes. La moyenne retrouvée dans la littérature est généralement de 44 à 52 minutes. Nos résultats sont facilement expliqués par les contraintes techniques et logistiques retrouvées au sein de l'hôpital Ibn-Tofail : un seul appareil d'imagerie disponible, et le personnel de transport des patients en nombre insuffisant, ce qui retarde le déroulement du geste opératoire.

3.3. Incidents

Aucun incident n'a été noté en per ni en post opératoire. La procédure a bien été supportée par 7 des patients, et jugée pénible par 1 patient.

Notre revue de la littérature a retrouvé les mêmes résultats, à savoir un taux très faible de complications per opératoires à un taux de 6,7% chez Bhatti[29], 0,8% chez Erzahin [31].

Les incidents per opératoires à redouter sont surtout représentés par l'inconfort du patient lorsque l'intervention se prolonge. Des crises d'épilepsie sont possibles lors de la coagulation de la dure-mère ou du cortex sous-jacent [4]. Selon l'étude de Kaakaji et al, qui concerne 269 patients, un saignement per opératoire est observé dans 7 % des cas. Un hématome n'a cependant été retrouvé que chez 11 patients à la TDM [32].

3.4. Résultats de la biopsie

Dans notre série, la biopsie a été concluante dans 100% des cas. Sur des séries plus grandes comme celle de Paglioli ou encore de Bhatti, les biopsies sont positives dans 94,8% des cas en moyenne.[29].

3.5. Complications postopératoires

La stéréotaxie présente quelques risques de complications :

- L'hémorragie est le plus souvent en cause dans la morbidité, de l'ordre de 2 à 5% dans les séries modernes[5],[6]. Plus fréquente dans certaines tumeurs malignes, richement vascularisées ou sur certains terrains, elle nécessite une technique rigoureuse, en évitant les trajectoires multiples, dans ces cas rares, elle peut être précédée d'une angiographie afin d'éviter les axes vasculaires majeurs.
- Un œdème focal peut être observé dans les premiers jours et à l'origine d'un déficit transitoire si la lésion se trouve en zone fonctionnelle. Il régresse en général rapidement sous corticothérapie.

Un hématome extradural consécutif à la mise en place du cadre peut exceptionnellement survenir et nécessitera son évacuation en urgence. Ces complications surviennent surtout dans les huit premières heures. La surveillance des patients doit donc être intensive pendant cette période.

Sawin et coll et McGirt et coll ont signalé que les lésions profondes, telles que celles survenant dans les noyaux gris centraux, thalamus et du tronc cérébral sont des facteurs de risque associés à la biopsie stéréotaxique[29]. Toutefois, d'autres séries n'ont montré aucune preuve d'association entre l'augmentation du taux global de complications et la localisation des lésions. Etant donné que les néo-vascularisations ou les vaisseaux anormaux sont souvent retrouvés dans les tumeurs, ils sont par conséquence associés à une augmentation du risque hémorragique[29].

Dans notre série aucune morbidité ni mortalité per et/ou post opératoire n'a été notée.

4. Conclusion

Bien que notre expérience en matière de biopsie stéréotaxique au sein du service de neurochirurgie du CHU Mohamed VI de Marrakech soit encore limitée, notre étude, corrélée aux données de la littérature nous permet de conclure que la biopsie stéréotaxique représente une méthode rapide, fiable et sûre. Le diagnostic anatomopathologique est établi sans pour autant modifier la faisabilité d'une future cytoréduction. La biopsie stéréotaxique permet par contre de modifier l'orientation thérapeutique en permettant un diagnostic histologique précis qui peut être parfois différent des hypothèses portées par l'imagerie ou les autres examens complémentaires.[33]

IV. Approches « Keyhole» des anévrysmes de la circulation antérieure



Figure 24: traitement d'un anévrysme de la communicante antérieure par voie transsourcilière droite.

1. Historique

Le premier neurochirurgien à utiliser le terme "keyhole surgery" était Donald H. Wilson (1927–1982) en 1971.[14] Wilson a reporté la limitation de l'exposition en chirurgie cérébrale, déclarant que cette procédure a des avantages qui sont en accord avec le principes de bonne

pratique chirurgicale[15] . D'autres chirurgiens avaient effectué et préconisé l'utilisation de petites craniotomies auparavant, mais l'utilisation généralisée de l'approche pour de nombreuses indications était assez innovatrice pour cette période.[15, 16]. L'idée derrière l'approche keyhole n'était pas simplement le fait de limiter la taille de la craniotomie, mais était basée sur le principe selon lequel une petite craniotomie pourrait être rapidement effectuée et refermée, permettant au chirurgien de se concentrer davantage sur l'acte chirurgical essentiel[15]. Par ailleurs, une petite ouverture de la dure mère entraînerait une moindre exposition du cerveau et une rétraction moindre, ce qui diminuerait la durée opératoire, la déperdition sanguine et la morbidité, et améliorerait la cicatrisation. [15, 17–19]

Le point le plus important dans ce principe du « keyhole » est la pertinence de l'approche de la lésion: une étude rigoureuse de l'image préopératoire associée à l'utilisation de neuronavigation ou d'imagerie peropératoire, telles que l'échographie, angiographie, CT ou IRM peut aider à sélectionner le couloir anatomique le plus approprié. Des outils peropératoires, tels que le microscope ou l'endoscope sont également très utiles lors de cette approche.[15, 17–19].

2. Résultats : Expérience du service de neurochirurgie

2.1. Caractérisation des patients

Cette approche a été adoptée ces dernières années au sein du service de neurochirurgie du CHU Mohammed VI de Marrakech, qui a vu le nombre de patients opérés grâce à cette technique croître au fur et à mesure.

Il s'agit de 5 patients, se présentant pour anévrisme dont les territoires et la classification sont exposés dans le tableau ci dessous. Sont exclus les patients opérés par keyhole pour un processus tumoral ou les anévrysmes opérés par endoscopie (dossiers non retrouvés)

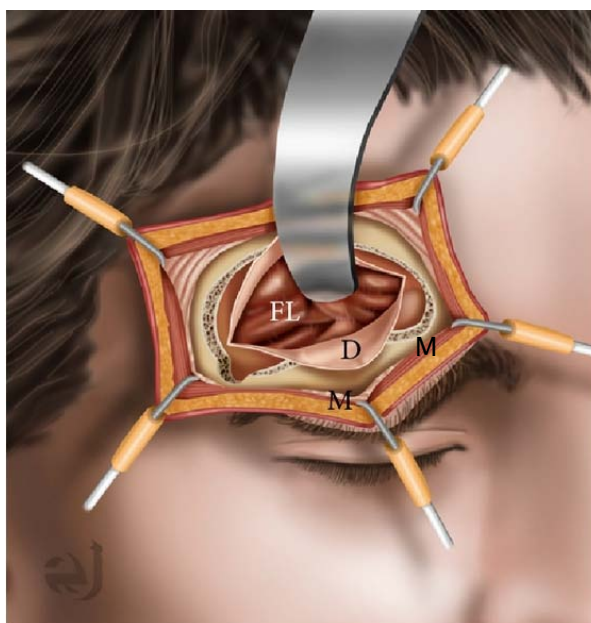


Figure 25 : Lobe frontal rétracté (FL). Muscle orbiculaire (M) est réfléchi plus bas avec le péricrâne.[20]

Tableau VI: caractérisation des patients.

	Sexe/Âge	Localisation de l'anévrysme	WFNS	Fisher
Patient 1	Femme / 56 ans	ACA gauche, jonction A1–A2 A1 primordiale	I	III
Patient 2	Femme / 65 ans	ACA gauche jonction A1–A2	II	IV
Patient 3	Femme / 58 ans	Artère communicante antérieure	I	II
Patient 4	Homme / 42ans	ACA droite jonction A1–A2	II	III
Patient 5	Homme / 63ans	ACA gauche jonction A1–A2	III	IV

ACA : Artère cérébrale antérieure

2.2. Description de la procédure

Chez tous les patients admis, une angiographie a été faite pour préciser la localisation de l'anévrysme et ainsi poser l'indication de l'approche transsaurcilière.



A



B

Figure 26: Angiographie montrant un anévrysme de la jonction A1A2(*) de profil (A) et de face avec vasospasme du segment A1 droit () ➔



Figure 27: TDM cérébrale montrant une hémorragie méningée Fisher IV ()

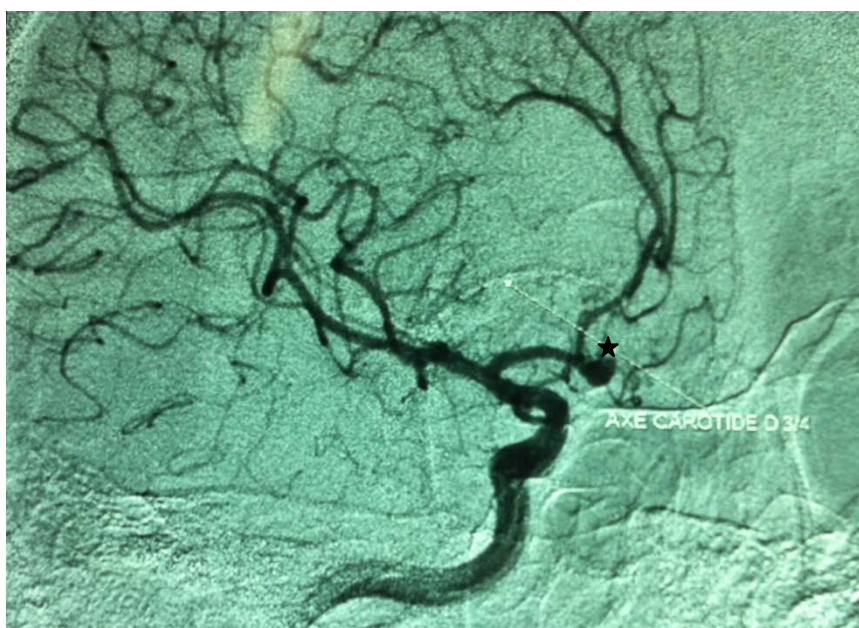


Figure 28: Angiographie montrant un anévrysme de la communicante antérieure (*) chez le même patient

L'approche présume une incision cutanée au niveau des deux tiers latéraux du sourcil, suivie d'une petite craniotomie. En utilisant cette approche associée à l'endoscopie peropératoire nous assurons une meilleure visualisation du collet de l'anévrysme.

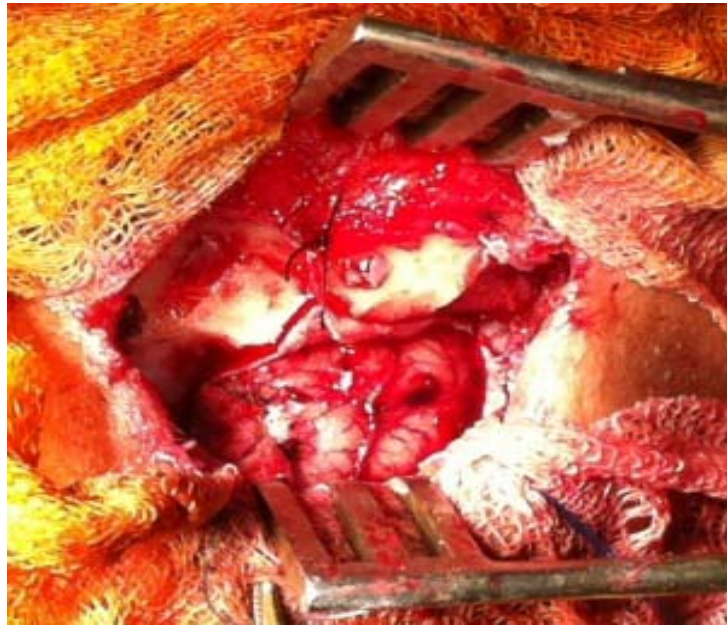


Figure 29: Aspect peropératoire de l'ouverture de la dure mère.

- Après l'avoir mis sous anesthésie générale, intubation trachéale de Meyfield, la tête est fixée en extension légère.
- Le torse sera surélevé à 10°. Les rétracteurs ne seront pas utilisés. La tête sera tournée 15–45° contralatéralement au côté à opérer pour permettre une visualisation adéquate de la lésion. Il sera préférable de choisir une approche du côté non dominant pour éviter tout risque de lésion du lobe dominant.
- L'incision cutanée est faite le long du sourcil sans couper les poils. Les études faites n'ont montré aucun risque d'infection, et le fait de garder le sourcil intact garanti un meilleur résultat cosmétique [17, 20]. Il est important que l'incision soit latérale au foramen supra orbitaire pour éviter une paresthésie frontale par lésion du nerf sus orbitaire durant l'acte opératoire. L'incision est faite puis une dissection jusqu'à 1.5–2 cm au dessus de l'arcade sourcilière.

- La craniotomie est faite en disséquant franchement une petite portion du muscle temporal et le fascia au niveau de la ligne temporale supérieure puis en forant un trou de 5mm au niveau latéral de la région exposée. Il faut prendre bien soin d'éviter l'utilisation du bistouri à ce niveau, par peur de léser la branche frontale du nerf facial. Le craniotome est ensuite utilisé pour faire deux entailles : La première va du trou de forage jusqu'à la partie latérale du foramen supra orbitaire ; la seconde va du trou de forage mais effectue un arc au dessus de la première entaille avant de rejoindre sa terminaison au même endroit que la première pour avoir une craniotomie en forme de D.
- La dure mère est disséquée pour la séparer du toit de l'orbite.
- Durant la procédure, un rétracteur malléable peut être placé contre la dure mère pour la protéger contre une éventuelle durotomie accidentelle. La table externe est gardée intacte pour conserver un aspect esthétique.
- La poudre osseuse est lavée avec une irrigation d'antibiotiques avant l'ouverture de la dure mère. Celle ci sera ouverte en "C" et réfléchi à l'aide d'un point.
- Le microscope est alors présenté au champ opératoire. Le lobe frontal est légèrement rétracté avec un coton, et les citernes sont ouvertes pour permettre une légère fuite de LCR qui facilitera la relaxation cérébrale. L'intervention principale peut alors avoir lieu de façon sécurisée, sans rétracteurs fixés sur le cerveau, et en utilisant un microscope et/ou un endoscope rigide.
- La fermeture est simple. Les feuillets durs sont rapprochés par de la soie 4-0 en surjet. Le trou de trépan est couvert par du titane pour améliorer le résultat cosmétique en rétablissant la crête supra orbitale. Le péricrâne et le muscle

recousus de façon "grossière"? (primarely) et du 5-0 prolene sera utilisé pour faire des points sous épidermiques qui seront retirés en 7 à 10j. Un bandage pourra être mis en place et gardé quelques jours post opératoires pour réduire l'œdème subgaléal.

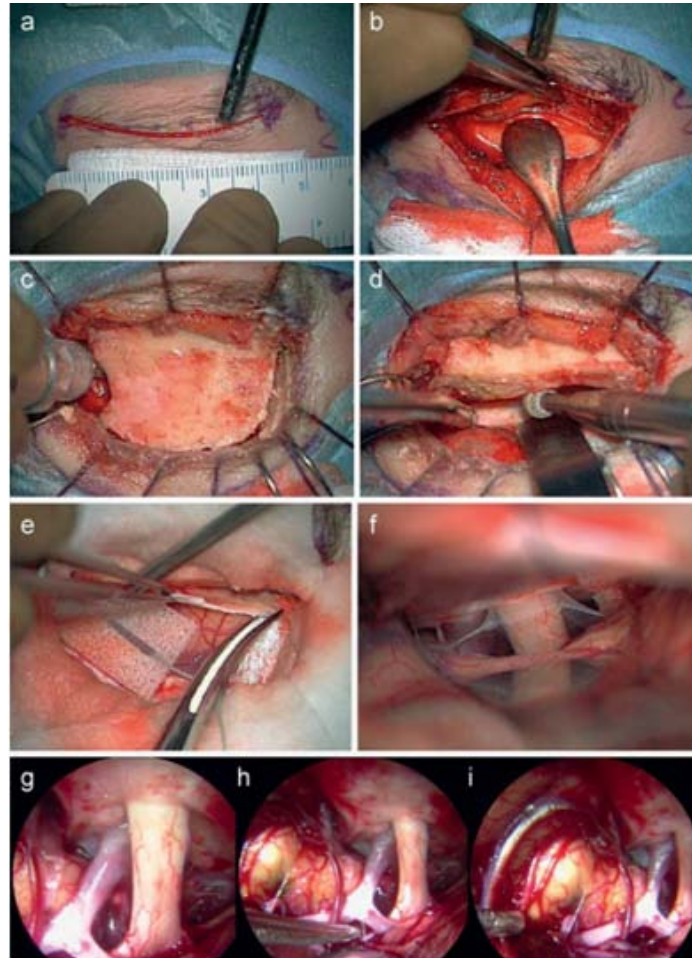


Figure 30 : Etapes chirurgicales d'une craniotomie transsourcilière. L'approche supra orbitaire transsourcilière permet en plus d'avoir une petite incision, de garder un meilleur aspect esthétique.

2.3. Succès global de la procédure et complications

La procédure s'est déroulée sans incidents pour 3 patients. Pour les 2 autres patients, une rupture per opératoire de l'anévrysme a eu lieu, rapidement contrôlée en moins de 10 minutes. En

post opératoire, un patient a développé une méningite traitée par antibiothérapie et résolue sans séquelles.

2.4. Evolution post opératoire

L'évolution post opératoire a été favorable pour 4 patients, soit 80% des cas. Un patient est décédé après avoir présenté un vasospasme à J3 post opératoire.

2.5. Résultat fonctionnel



Figure 31: Résultat post opératoire d'une approche transsourcilière.

D'un point de vue fonctionnel et esthétique, le succès est de 80%. Une cicatrice minime est devinée au niveau de sourcil opéré. Il n'y a eu une infection de la plaie traitée par antibiotique avec rétraction cutanée minime.

3. Discussion

3.1. Caractérisation des patients

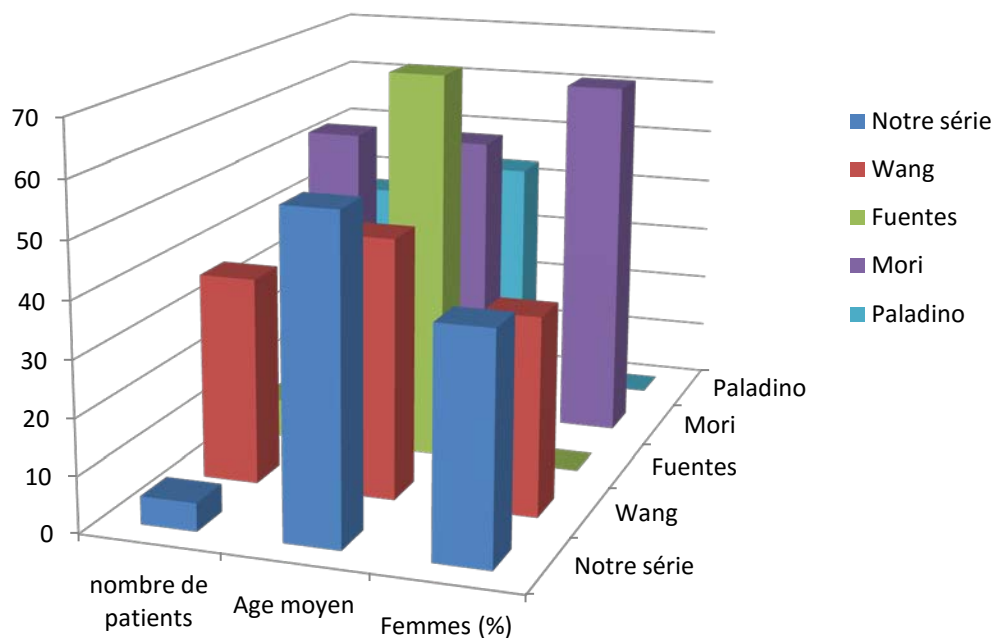


Figure 32: Epidémiologie des patients dans différentes séries de référence.

En comparant nos patients avec les séries de référence, nous voyons que bien que d'après nos résultats préliminaires, les caractères épidémiologiques sont comparables.

3.2. Succès global de l'intervention

Dans notre série, le succès de l'intervention était de 80%. Dans les séries de référence, ce taux est variable, allant de 90% à 100% chez les équipes les plus expérimentées. Lindert[35] rapporte un taux de succès de 97%, Wang[36] 91%, et Mori[37] et Paladino[38] un succès de 100%

3.3. Complications per et postopératoire

Tableau VII : Patients opérés.

Complications	Notre série	Lindert	Wang	Mori	Paladino
Peropératoires	2 Ruptures	4 ruptures	3 Ruptures	Aucune	Aucune
Post opératoire	1 méningite 1 infection de la plaie 1 Décès par vasospasme	Aucune complication	3 Hydrocéphalies 2 Infarctus de l'ACA 1 Décès	Aucune	Aucune

3.4. Résultat fonctionnel



Figure 33: Résultat post opératoire d'un patient opéré au service de neurochirurgie par approche transsourcilière. Légère rétraction cutanée post infectieuse jugulée par antibiotiques

Dans notre série, le résultat cosmétique et fonctionnel était très satisfaisant. Cependant quelques complications peuvent survenir, altérant le résultat fonctionnel de l'intervention. Il s'agit notamment d'un œdème de l'incision[36], de douleur ou paresthésies par lésion du nerf sus orbitaire. Il faut veiller donc à bien inciser latéralement au foramen sus orbitaire. Enfin, d'autres manifestations peuvent avoir lieu, telle qu'une fatigue musculaire temporale ou une infection, mais elles sont très rares.[39]

4. Conclusion

Les approches keyhole, basées sur l'amélioration de l'imagerie diagnostique, des instruments chirurgicaux de pointe, et les compétences de microchirurgie, sont des techniques de craniotomie efficaces et idéales pour le traitement des anévrismes intracrâniens, y compris les anévrismes multiples et géantes, chez les patients ne présentant pas d'hémorragie méningée, vasospasme cérébrale grave ou œdème cérébral. Il s'agit donc d'une méthode à garder et à définir comme méthode de choix quand elle est accomplie par un neurochirurgien vasculaire bien formé, car elle répond parfaitement aux critères de chirurgie mini invasive. Cette approche keyhole peut être élargie à d'autres indications tumorales à différentes localisations en particulier de la fosse cérébrale postérieure, ou fonctionnelle comme pour le traitement de la névralgie du trijumeau.

V. Localisation des lésions intracérébrales et des aires corticales éloquentes au décours d'une chirurgie en condition éveillée

1. Historique

Très tôt dans l'Histoire, la craniotomie éveillée était pratiquée pour le traitement de l'épilepsie. Les archives archéologiques rapportent que pendant les temps anciens, il y a des milliers d'années, les patients étaient traités par trépanation, et ce bien avant l'avènement de l'anesthésie. La nouvelle aire de la chirurgie éveillée a débuté à la fin des années 1920, quand Penfield et Pasquet ont publié leur papier sur les nouveaux horizons de l'anesthésie locale. Leur technique était reproductible et devint rapidement une référence dans le traitement chirurgical de l'épilepsie. Elle fut ensuite appliquée aux patients souffrant de tumeurs cérébrales.[40]

MS Berger fut le premier à utiliser la stimulation électrique directe en neurochirurgie oncologique marquant ainsi son passage dans les prestigieuses universités de UCLA et John Hopkins[41]. La procédure a ensuite été reprise et améliorée dans ses détails techniques par Ojemann au cours des années 1970. La pratique de la craniotomie éveillée est devenue courante aux états unis depuis les années 80, pour ensuite s'étendre en Europe, puis en Asie fin des années 1990.[42]

Aujourd'hui, la neurochirurgie éveillée est une approche de plus en plus répandue au sein des équipes chirurgicales vu les avantages qu'elle présente dans l'optique de la chirurgie mini invasive. « Le service de neurochirurgie de la Timone à Marseille est quant à lui depuis ses débuts l'un des leaders mondiaux de la chirurgie éveillée du cerveau et dont le Professeur Philippe METELLUS en est le pionnier. Ayant vivement contribué à l'essor de cette nouvelle approche, il a amélioré les rendements de cette procédure en introduisant un système d'enregistrement électrocorticographique permettant de visualiser en temps réel l'effet local et régional des stimulations électriques directes lors de la chirurgie éveillée. Ainsi le Professeur Metellus et son équipe médicale ont été les premiers au monde à développer cette approche innovante en chirurgie tumorale [16]. Il a été reçu, en compagnie de son équipe du pôle Neurosciences de l'AP-HM, au CHU Mohamed VI de Marrakech où ils ont participé à la formation de praticiens marocains.

Ainsi le 21 juin 2012, la première opération de chirurgie éveillée au Maroc a eu lieu , en collaboration avec le Professeur Said AIT BENALI et le Professeur Mehdi LAGHMARI, tous deux préalablement formés à l'étranger » [42][43].

2. Résultats : Expérience du service de neurochirurgie

2.1. Caractérisation des patients

Il s'agit d'une série de 20 patients admis successivement au service de Neurochirurgie du CHU Mohammed VI pour tumeur cérébrale et ayant bénéficié d'une chirurgie en condition éveillée.

L'âge moyen de ces patients était de 34 ans avec des extrêmes de 20 à 57 ans.

Nous avons noté une prédominance masculine à 70%, et un sexe ratio de 2,33

Nos patients n'avaient pas d'autres comorbidités.

2.2. Description de la procédure

- **Imagerie**

Des examens d'imagerie ont été réalisés chez l'ensemble de nos patients. La TDM a permis de mettre en évidence des processus tumoraux de localisation intra axiale chez tous nos patients. L'IRM avec injection de gadolinium a objectivé chez tous les patients une augmentation de la densité cellulaire (Hyposignal T1 et Hypersignal T2 variable), un rehaussement après injection dans de rares cas et un phénomène œdémateux d'importance variable.

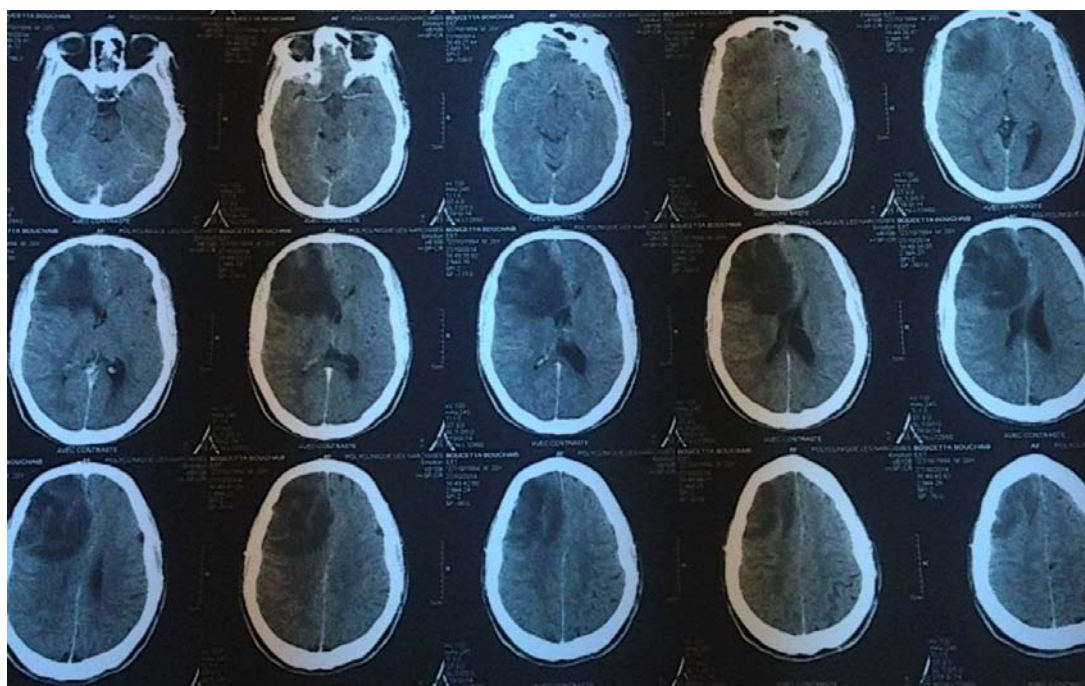


Figure 34: TDM cérébrale en coupe axiale. Lésion hypodense, frontale droite, sans prise de contraste

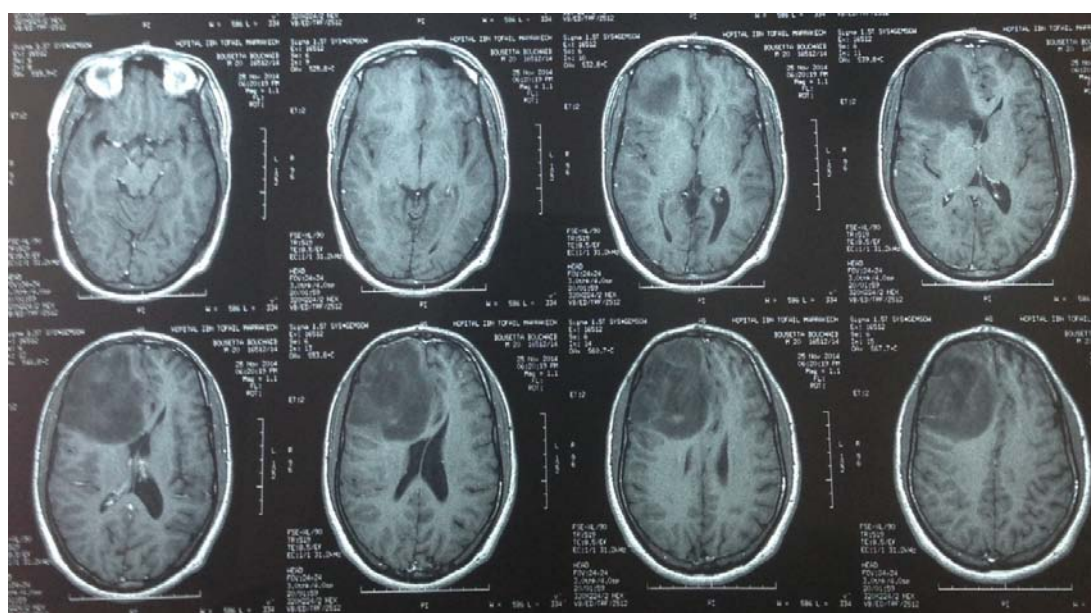


Figure 35: IRM cérébrale en coupe axiale. Séquence pondérée T1 avec injection de gadolinium. Processus frontal droit en hyposignal hétérogène sans rehaussement à l'injection de produit de contraste et exerçant un effet de masse sur la ligne médiane.

- **Anesthésie :**

Nos patients ont été opérés suivant la technique «endormie/éveillée/endormie» : Il s'agit de faire une anesthésie générale, seulement pour l'ouverture et la fermeture du crâne, avec utilisation d'un masque laryngé versus une intubation finale pour la fermeture.

Un monitoring permanent par index bispectral a souvent été effectué lors de nos interventions en condition éveillée pour mieux contrôler l'administration des drogues, tout particulièrement lors de la phase d'ouverture. Ainsi la mesure et le contrôle de la profondeur de l'anesthésie étaient constamment obtenus.

La technique d'anesthésie de choix au cours de ce type d'intervention était de type intraveineuse à objectif de concentration. Les drogues utilisées étaient le Propofol et le Rémifentanyl. La Lidocaïne adrénalinée a été injectée en début d'intervention au niveau des gros troncs nerveux à la base du cuir chevelu (au niveau frontal, occipital et du tragus rétro-auriculaire).

- **Plateau technique :**

Les neurochirurgiens du CHU Mohammed VI ont opéré les patients de notre série à l'aide d'un plateau technique composé d'une micro instrumentation, d'un appareil de stimulation cérébrale et d'un microscope opératoire utilisé en cas de besoin. Toutefois, l'échographie peropératoire était non disponible.

- **Opérateurs et collaborateurs :**

Les différentes interventions ont été réalisées par les neurochirurgiens du CHU Mohammed VI en collaboration avec des neurophysiologistes, neuropsychologues et orthophonistes. Leur rôle consiste en la réalisation d'un ensemble de tests physiques et neuropsychologiques, pendant toute la période où le patient est réveillé, à l'aide d'images ou de logiciels installés sur un ordinateur portable. Quand ils ne sont pas disponibles, ce sont les résidents en neurochirurgie qui réalisent cette tâche.

- **Installation du patient :**

Le confort du patient étant primordial pour une collaboration optimale, l'installation de celui-ci et son bien être au cours de la procédure représentent une étape essentielle. Après les avoir minutieusement informés du déroulement de la procédure, les patients ont été placés confortablement sur la table opératoire en position latérale, avec la face dégagée et protection des zones d'appui. Les matelas moelleux et les couvertures chauffantes n'étaient pas disponibles. Une prémédication leur a été administrée suivie d'une sédation avec fixation de la tête par têtère de Mayfield et réalisation d'un sondage vésical.



Figure 36: Position en décubitus latéral droit du patient avec fixation de la tête par têtère de Mayfield, et tracé de l'incision.

(a) Craniotomie :

L'installation du malade a été suivie de la réalisation d'une craniotomie rapide.

Celle-ci consiste tout d'abord en une infiltration de lidocaïne et adrénaline au niveau des différents blocs nerveux, d'une infiltration du pourtour du scalp et de l'aponévrose temporale, puis de la confection d'un large volet osseux. S'en suit une ouverture durale atraumatique. Les patients ont ensuite été réveillés par les anesthésistes.

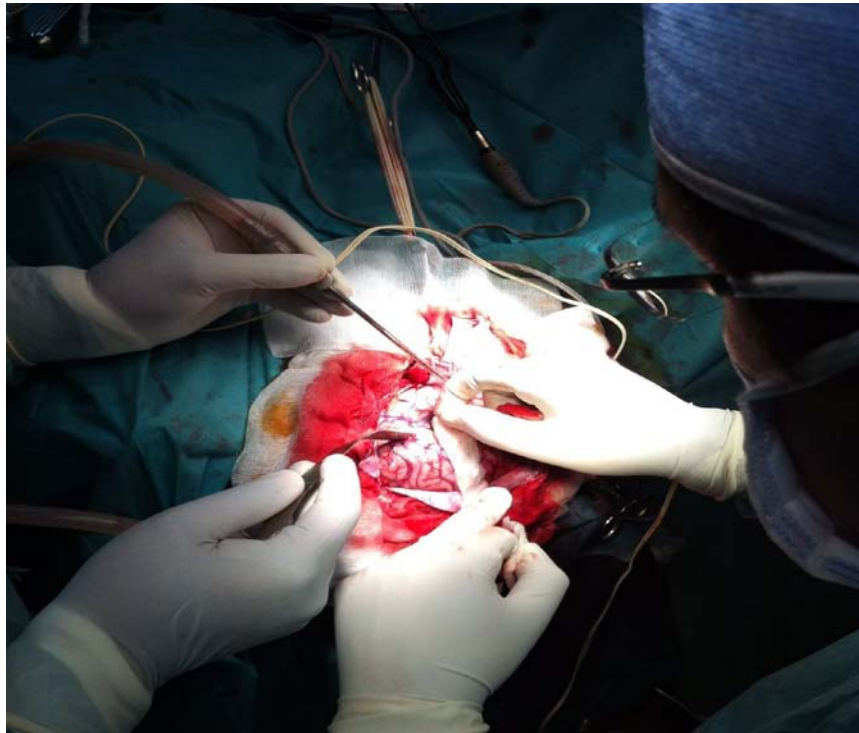


Figure 37: Exposition du cortex cérébral après craniotomie et ouverture de la dure-mère.

(b) Repérage et stimulation électrique directe.

Les régions fonctionnelles ont alors pu être détectées et une cartographie cérébrale des zones à éviter a été mise en place grâce à la technique de stimulation directe corticale et sous corticale. Les paramètres de cette technique de stimulation électrique, permettant la réalisation d'un mapping cérébral, reposait lors de nos différentes interventions sur l'utilisation d'un courant biphasique avec une fréquence de 50 à 60 Hz et une intensité de 1 à 6 mA. Une augmentation progressive par crans de 0,5 mA a été réalisée. La durée des stimulations était de 1 seconde pour déclencher une action d'origine motrice ou sensitive et de 4 secondes pour arrêter une fonction telle que le langage ou les fonctions cognitives. L'intensité des stimulations était majorée au niveau de la substance blanche vu que celle-ci ne présente pas le risque de déclencher une crise convulsive.



Figure 38: Ecran affichant les différents paramètres de stimulation électrique directe.

Ainsi, tout le cortex et sous cortex ont été stimulés au cours de nos interventions en condition éveillée avec au moins trois stimulations au niveau de chaque site afin d'éviter les erreurs d'interprétation.

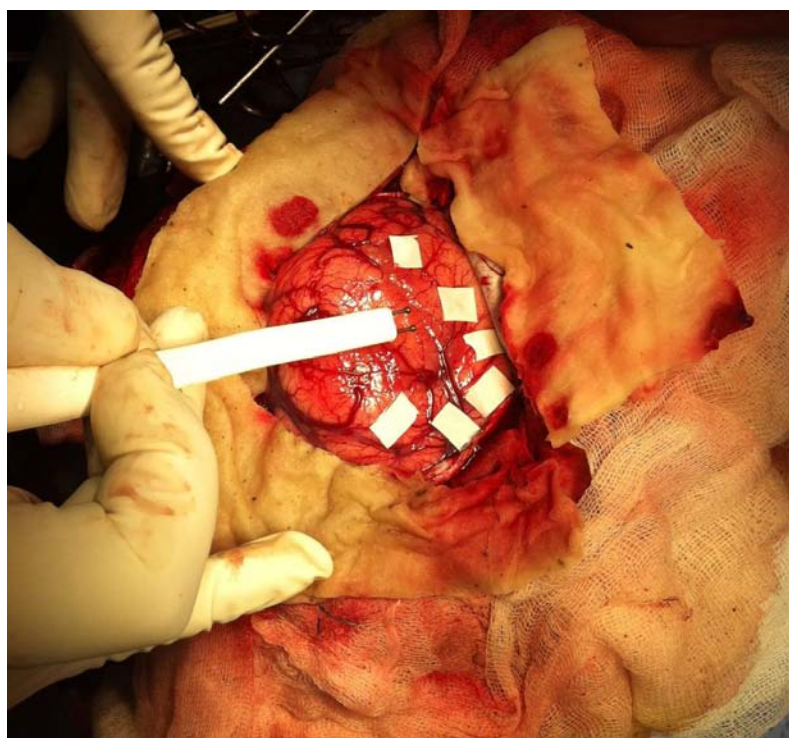


Figure 39: Phase de stimulation cérébrale avec repérage des zones fonctionnelles

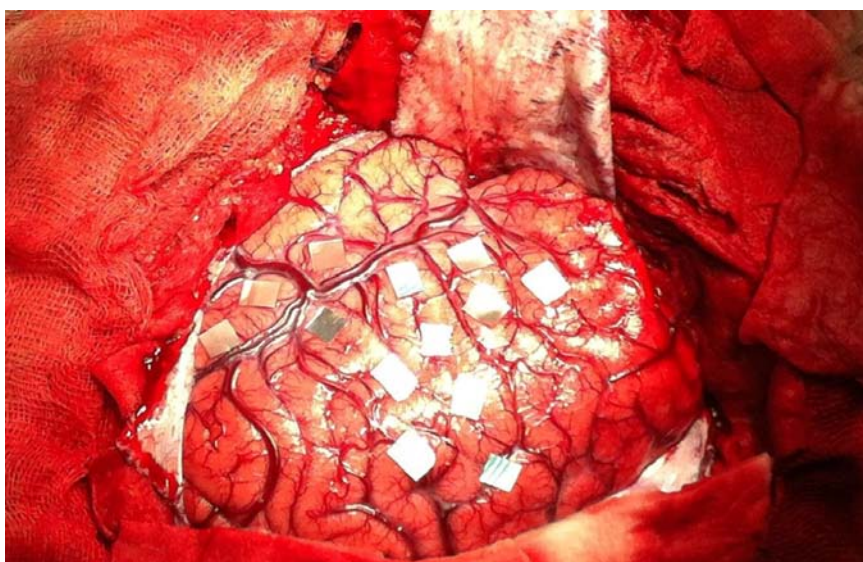


Figure 40 : Cartographie cérébrale peropératoire obtenue après repérage des zones éloquentes.

(c) Exérèse tumorale :

Il a été réalisé dans un premier temps une détection des faisceaux d'interconnexion sous corticaux autour de la tumeur. Ensuite a été effectuée une déconnection de la lésion des aires corticales fonctionnelles et des faisceaux de substance blanche d'interconnexion. L'exérèse tumorale s'est déroulée progressivement, entre deux stimulations électriques à chaque fois, suivie de la fermeture du crâne après sédation de nos malades.

2.3. Durée de l'intervention

La durée opératoire moyenne de l'intervention était de 5h , avec des extrêmes de 3 à 8h.

2.4. Exérèse tumorale

Le pourcentage d'exérèse était en moyenne de 92,2% avec 60% des cas ayant bénéficié d'une ablation tumorale complète. L'étendue d'exérèse la plus faible était de 80% dans 1 cas.

2.5. Incidents per opératoires

35% des patients ont présenté des incidents au cours de l'intervention. Il s'agissait de de crises convulsives chez 7 patients. Elles ont cédé à l'irrigation à l'aide de sérum froid. Un seul patient a manifesté une fatigue intense nuisant à la qualité et à la continuation de sa collaboration avec notre équipe.

Aucun des incidents relevés n'était lié à l'anesthésie dans notre série

2.6. Résultats anatomopathologiques

Résultats anatomopathologiques

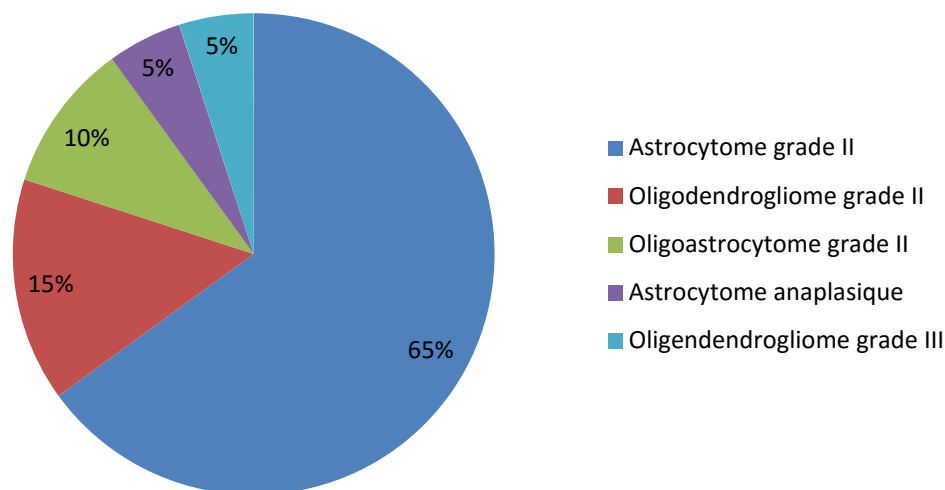


Figure 41: résultats anatomopathologiques des tumeurs réséquées

2.7. Evolution post opératoire

A court terme, 85% de nos patients ont vu leur état s'améliorer, 15% ont développé des complications à type d'hémiplégie chez 4 patients, d'aphasie chez 3 patients et de pré-cécité et troubles cognitifs chez un patient.

Au plus long terme, les patients ayant présenté des déficits neurologiques en postopératoire à type d'hémiplégie ou d'aphasie ont tous bénéficié de séances de rééducation motrice et orthophonique. La récupération fonctionnelle s'est déroulée en moyenne sur 18 mois.

Deux des patients ont complètement récupéré. Les deux autres patients se sont améliorés mais gardent une hémiparésie, associée à une dysphasie chez l'un d'eux.

Enfin, 2 patients sont décédés après avoir présenté une récurrence. Ces deux patients ont gagné au minimum 2 ans d'espérance de vie, l'un décédé 2 ans et demi après sa première intervention et l'autre ayant survécu 3 ans et demi après.

3. Discussion

3.1. Exérèses tumorale

Reithmeier [44] a comparé une série de 42 patients porteurs de tumeurs d'histologies diverses, situées dans ou à proximité de la région centrale, opérés à l'aide des PES et des stimulations corticales, à un groupe de 28 patients porteurs de tumeurs localisées dans la même région, opérés sans repérage de l'aire motrice. L'IRM postopératoire a montré la présence d'un résidu chez 27 % des opérés du premier groupe et chez 52 % des patients du second groupe ($p = 0,04$). Duffau [25] a mis en évidence sur l'IRM de contrôle la présence d'un résidu inférieur à 10 cc chez 76,2 % des patients opérés sous SED et chez 43 % de ceux n'ayant pas eu de repérage peropératoire ($p < 0,0001$). Il est à noter que toutes les études avec contrôle objectif de la qualité d'exérèse (c'est à dire par IRM postopératoire) montrent que l'effet en termes de survie n'est significatif que si l'exérèse est large (même si ces seuils ne sont pas absolus, on retiendra l'exérèse supérieure à 80 % ou encore le volume tumoral résiduel inférieur à 10 cm³)[45].

3.2. Type histologique

Les gliomes diffus représentent les tumeurs primitives les plus fréquentes du système nerveux central. Cette entité hétérogène regroupe les gliomes de haut grade, dont le pronostic reste sombre et les gliomes diffus de bas grade qui constituent des tumeurs précancéreuses d'évolution lente [70]. Les gliomes diffus de bas grade regroupent selon la classification de l'OMS différentes entités histologiques. On y retrouve les oligodendrogliomes de grade II, les astrocytomes de grade II et les oligo-astrocytomes de grade II[46][47].

Dans notre série, la quasi-majorité (95%) de nos patients étaient porteurs de gliomes diffus de bas grade avec 65% d'astrocytomes de grade II, 20% d'oligodendrogliomes et 10% d'oligoastrocytomes. Ces types de tumeurs sont stables, caractérisées par une phase initiale indolente d'une durée extrêmement variable d'un patient à l'autre, mais évolutive dans tous les cas. Ce sont des tumeurs pré-malignes qui se transforment inéluctablement après quelques années en gliomes de haut grade, mettant ainsi en jeu le pronostic fonctionnel et vital du patient [48]. L'attitude attentiste après le diagnostic a été définitivement abandonnée durant ces 15

dernières années laissant place à une stratégie proactive, faisant appel à différentes combinaisons de modalités thérapeutiques dont la chirurgie est la pierre angulaire aux cotés de la chimiothérapie et de la radiothérapie.[47]

3.3. Incidents per opératoires

Des crises convulsives surviennent dans 5 à 20 % des cas. Malgré l'ensemble des précautions, une crise partielle ou généralisée peut survenir durant les stimulations. Une irrigation de sérum froid, notamment en regard de la zone corticale génératrice de l'épilepsie, permet le plus souvent la cessation de la crise dans les 10 à 15 secondes. Ces manifestations cèdent presque toujours après irrigation du cortex avec du sérum physiologique froid. Le mécanisme correspondrait à une diminution du métabolisme cérébral et de la diffusion électrique, induite par l'hypothermie [49]. Cette méthode évite l'administration d'antiépileptique susceptible de fausser la cartographie électrique. Il est également recommandé de ne pas restimuler immédiatement à la suite d'une crise convulsive, du fait du risque de générer une nouvelle crise, mais aussi du fait que l'hypothermie puisse engendrer des faux-négatifs.

Dans de rares cas, chaque stimulation induit une crise, et ce malgré une intensité minimale « efficace », chez des patients présentant le plus souvent un déficit préopératoire et/ou une infiltration tumorale massive des aires éloquentes primaires. Les cartographies peuvent donc être amenées à être interrompues sous anesthésie locale. Néanmoins, il est envisageable de continuer la résection sous-corticale sous anesthésie générale, par stimulations de la substance blanche, n'induisant en effet pas de crise et permettant de bénéficier d'une cartographie motrice qui reste fiable[50].

Les complications graves nécessitant l'interruption de l'intervention sont exceptionnelles. Une dépression respiratoire par surdosage en morphinique peut surgir, ou bien un œdème peropératoire majeur constaté uniquement au cours de l'exérèse de gliomes malins[51][42]

En dehors de véritables complications, un surdosage anesthésique peut être responsable de la persistance d'un état de somnolence au moment de la cartographie, ce qui la rend peu fiable.

Au cours de notre étude, 7 patients ont présenté des incidents per-opératoires, tous à type de crises convulsives. Aucun n'était lié à l'anesthésie. Un seul cas de fatigue intense, nuisant à la coopération de l'opéré, a été noté.

Malgré ces risques, ces interventions sont, en pratique, bien tolérées, et plus anxiogènes pour l'équipe médicale que pour le patient[51].

4. Conclusion

Nous assistons à un véritable virage du paradigme de la chirurgie cérébrale neuro-oncologique, grâce aux avancées de la chirurgie éveillée dont le but prioritaire repose désormais sur la préservation de la qualité de vie. Cette approche répond ainsi à la définition de chirurgie mini invasive, dans la mesure où nous avons une préservation de la fonction de l'organe sur lequel nous sommes le moins invasif possible.

Cette technique, en plein essor, a permis une meilleure compréhension de l'organisation anatomo-fonctionnelle dynamique du cerveau de chaque patient, et a contribué à une adaptation in vivo de la résection chirurgicale selon des limites fonctionnelles et non plus selon les limites anatomiques classiques anciennement utilisées. Une optimisation significative des résultats oncologiques a été observée à la faveur d'une majoration des étendues de résections ainsi qu'une augmentation considérable des médianes de survie, notamment dans le cas des gliomes diffus de bas grade fréquemment situés en zones éloquentes et considérés autrefois comme inopérables. Dans notre contexte, le pourcentage d'exérèse moyen était de 92,2%. 60% des malades ont bénéficié d'une ablation tumorale complète, et seulement 4 patients ont présenté un déficit neurologique en postopératoire, dont 2 patients qui ont complètement récupéré par la suite.

Cette technique est encore et toujours en évolution constante : En février 2016, à Angers, le professeur Philippe Menei qui pratique la chirurgie sur patient éveillé depuis près de dix ans a eu récemment les honneurs de la presse pour le programme de recherche CERVO, mené avec l'École d'ingénieurs en sciences et technologies du numérique (ESIEA) de Laval. Le 27 janvier, lors d'une opération qui a duré six heures, le patient était équipé d'un casque de réalité virtuelle

permettant de tester sa vision périphérique. La perte de celle-ci est souvent un handicap « toléré » par les chirurgiens, mais elle implique théoriquement la perte du permis de conduire. «En terme de réalité virtuelle, notre expérience n'était pas très impressionnante», mais cela a facilité la concentration du patient et permis « une exploration plus rapide. On ne peut pas stimuler en tâtonnant pendant des heures. »Le projet CERVO veut aller plus loin, « en explorant grâce à la réalité virtuelle des fonctions comme l'appréhension de l'espace, voire la cognition sociale (reconnaissance de visages, empathie). Ou introduire des séquences relaxantes ou hypnosédatives qui vont enrichir l'arsenal de l'équipe chirurgicale en terme de chirurgie éveillée.[52]

*EVOLUTION DE
L'APPROCHE MINI INVASIVE
DU RACHIS ET DE LA
PATHOLOGIE MEDULLAIRE.*

Bien que les humains aient tenté de traiter la pathologie vertébrale depuis l'époque d'Hippocrate et Paul d'Egine, la chirurgie mini-invasive du rachis n'a que récemment été mise au point, et ce au cours des 50 dernières années. Le but de la chirurgie mini-invasive, qui est de réduire le traumatisme iatrogène des tissus et donc de réduire la douleur postopératoire handicapante pour les patients, est attractive autant pour les patients que pour les chirurgiens.

Nous allons décrire dans cette partie quelques-uns des principaux développements dans la chirurgie de la colonne vertébrale minimalement invasive au CHU de Marrakech. Nous nous devons tout de même de noter qu'il n'existe pas de chronologie précise pour ces techniques, car plusieurs de ces évolutions ont eu lieu en même temps et de façon interdépendante.

I. Hernie discale lombaire endoscopique

1. Historique

Dans la littérature, la hernie discale foraminale constitue 4 à 7% de toutes les hernies discales[8]. Différents abords ont été proposés pour la traiter : abord intra-canalair avec résection plus ou moins complète du massif articulaire, abord extra-foraminal trans-musculaire ou plus postérieur ou parfois combinaison des deux. Mais quel que soit l'abord, la chirurgie de la hernie foraminale reste difficile du fait de la profondeur du champ opératoire, même avec l'aide du microscope opératoire. L'utilisation d'un endoscope et d'un abord postérieur permet de résoudre ce problème en projetant l'œil du chirurgien à l'intérieur du corps, à proximité du conflit. Il en résulte un très bon éclairage et un champ de vision particulièrement large [53]. DESTANDAU, en 1993[54], et FOLEY et SMITH, en 1996[8], ont mis au point des systèmes permettant un abord direct du canal rachidien ou du foramen sous contrôle endoscopique. La dissectomie endoscopique s'inscrit bien dans l'évolution de la chirurgie discale, qui a cherché à développer des abords de moins en moins traumatisants, en préservant l'haubanage musculo-ligamentaire.

2. Expérience du service de neurochirurgie

2.1. Caractérisation des patients

Durant la décennie 2004 2013, 13 patients ont été opérés pour hernie discale lombaire par voie endoscopique. L'âge moyen était de 43 ans, avec des extrêmes de 18 à 62 ans.

Nos patients ont bénéficié d'examens d'imagerie à type de radiologie du rachis, TDM et /ou IRM. En examinant les résultats de l'imagerie, nous avons noté une prédominance du niveau lésionnel à l'étage L4–L5 à 53,8%, contre 46,4 % de lésion à l'étage L5–S1.

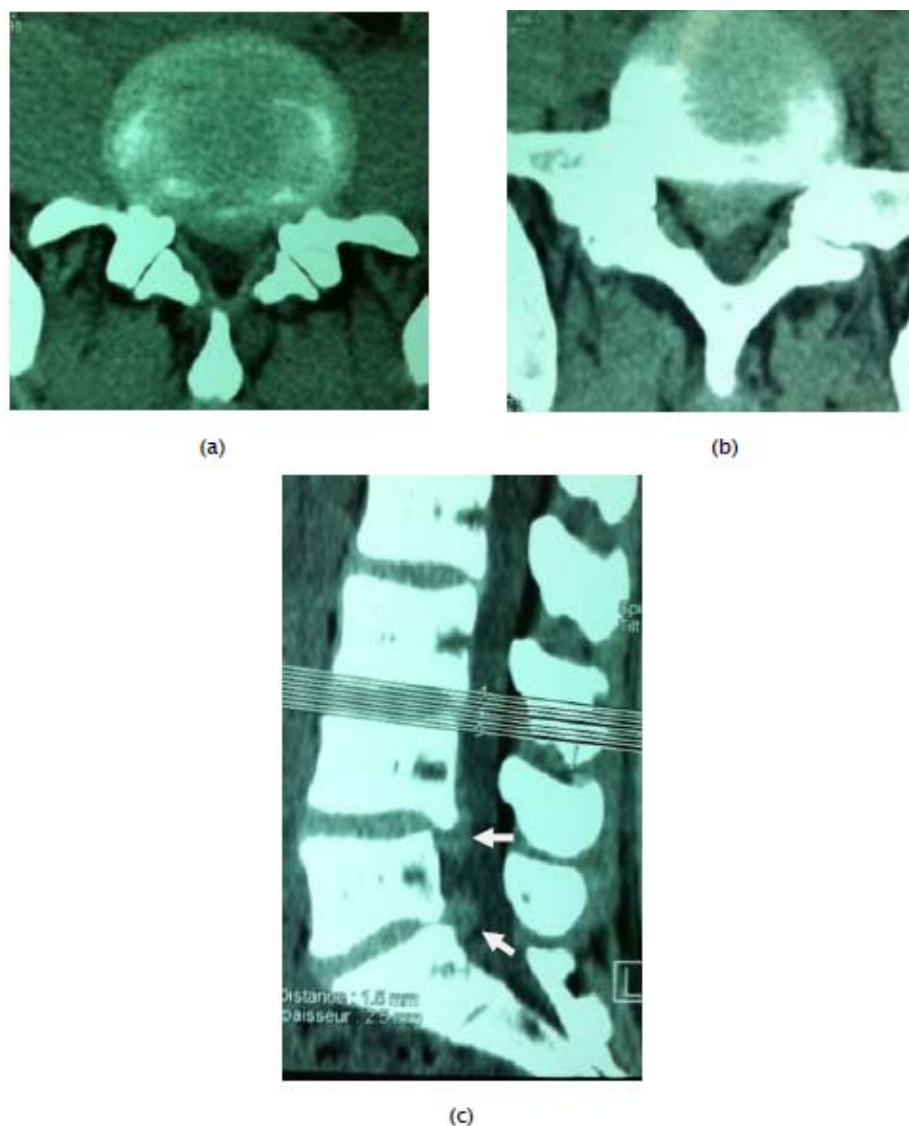


Figure 42: TDM du rachis lombo-sacré. Coupes axiales (a et b) et sagittale (c), montrant une double hernie discale L4–L5 et L5–S1.

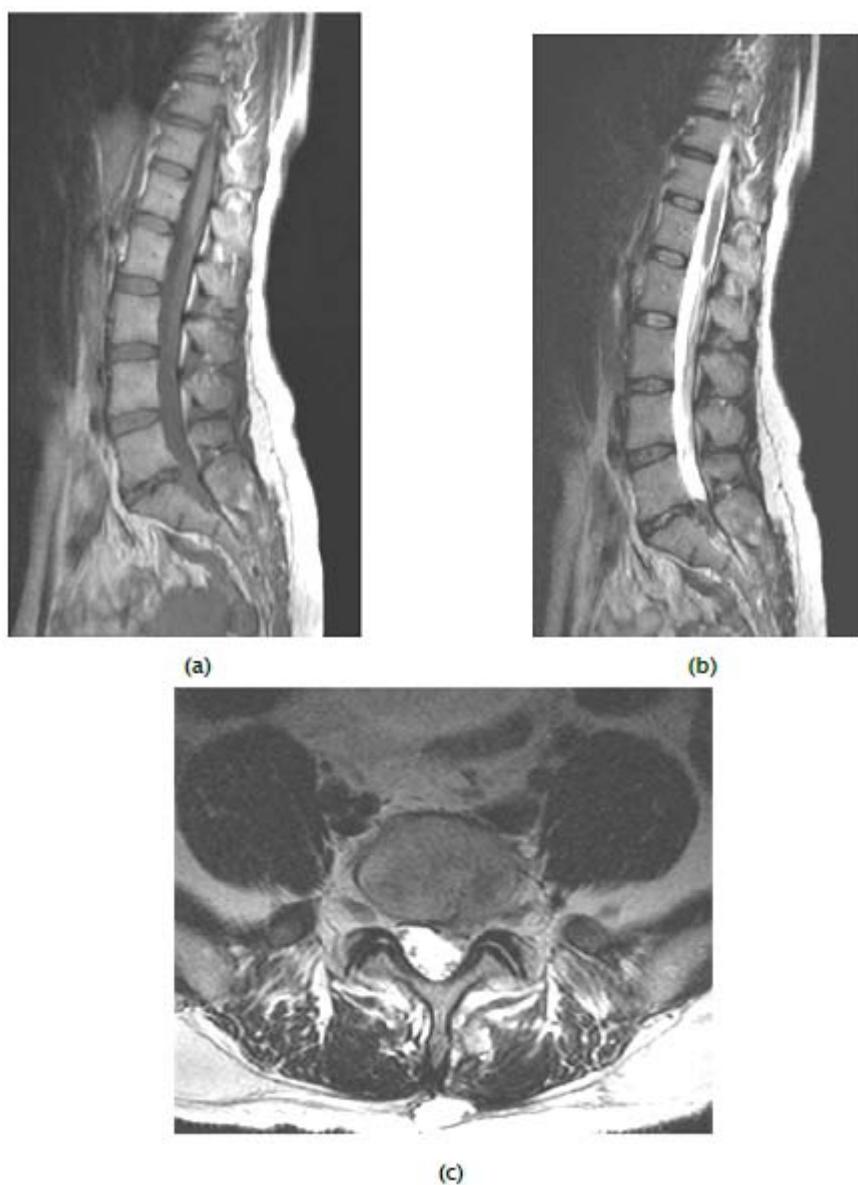


Figure 43: Exemple de hernie discale traitée par endoscopie .IRM sans injection en coupe sagittale en T1(a), T2(b) et axiale T2 (c). Hernie discale L5–S1 postéro latérale gauche migrée en bas.

2.2. Description de la procédure [8]



Figure 16 : Plateau technique d'une dissectomie sous endoscopie



Figure 17 : Repérage de l'espace discal par l'amplificateur de brillance

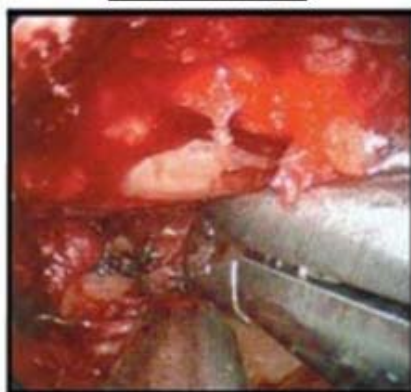


Figure 18 : vue endoscopique d'une dissectomie

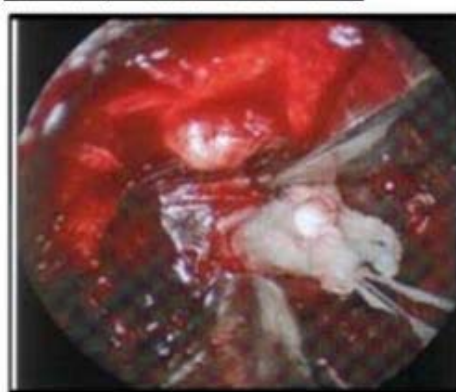


Figure 19 : vue endoscopique d'une hernie discale

Figure 44: installation du malade (16, 17) et vue per endoscopique (18, 19)

L'intervention se fait habituellement sous anesthésie générale. Les techniques d'anesthésie locorégionales sont possibles, en position genu-pectoral.

- Repérage du point d'entrée : à l'aide d'un instrument spécial à deux bras (Karl Storz GmbH & Co, Tuttlingen, Germany), le point d'entrée et la direction de l'abord sont déterminés à l'amplificateur de brillance.
- Incision cutanée et abord : une incision de 15 à 20mm est faite le long de l'apophyse épineuse au niveau préalablement repéré. L'aponévrose est sectionnée et les muscles sont détachés de manière à exposer la lame de la vertèbre sous-jacente et plus latéralement le bord externe de l'isthme.

- Mise en place du spéculum : le spéculum est introduit et tous les tissus musculaires et graisseux



Figure 45: mise en place du matériel endoscopique

- Mise en place de la pièce interne : la pièce interne est fixée au spéculum dans sa position la plus haute. L'aspiration et l'endoscope sont introduits dans leurs canaux respectifs. Les étapes suivantes sont vidéo-assistées et contrôlées sur un écran de télévision.
- Résection osseuse : une partie de l'isthme et de l'apophyse articulaire inférieure est réséquée jusqu'au détachement du ligament jaune sous-jacent à sa partie supérieure. L'existence de ce ligament facilite la résection osseuse car il constitue une protection de la racine nerveuse et des vaisseaux foraminaux ; cette résection est donc peu hémorragique, et d'autant plus facile que les remaniements arthrosiques sont peu importants. A l'aide d'un crochet mousse, on repère la position du pédicule et on vérifie que la résection osseuse est suffisante.
- Résection du ligament jaune : le ligament est réséqué à la pince de Kerrison, et l'on expose ainsi la racine traversant toute la région foraminale.
- Dissection de la racine et de la hernie: le bord inférieur de la racine est disséqué et on expose la hernie en repoussant la graisse et les vaisseaux épiduraux. En cas de saignement, l'hémostase est le plus souvent obtenue par compression douce, parfois avec la coagulation bipolaire. Le sommet de la hernie est effondré et la hernie retirée. Habituellement, le disque est situé plus bas et aucune nucléotomie n'est réalisée. Dans le cas contraire, il est nécessaire de réséquer un peu plus de massif articulaire vers le bas.

- Fermeture : l'instrumentation est retirée en un bloc en vérifiant l'hémostase des muscles. L'aponévrose est suturée puis la peau refermée par des points intradermiques résorbables. Un pansement imperméable est posé.
- Cas particulier de la technique chirurgicale en L5–S1 : A l'étage L5–S1, les conditions anatomiques sont différentes. D'une part, la distance transversale entre le bord latéral des deux isthmes augmente au fur et à mesure que l'on descend le long du rachis lombaire ; au niveau L5–S1, cette distance est maximum ainsi que la longueur du canal foraminaux. D'autre part, la présence de l'aileron sacré, de la crête iliaque et des ligaments rend l'accès au bord latéral de l'isthme très difficile, souvent impossible. Dans ces derniers cas, la technique précédemment décrite ne peut donc être utilisée et il faut se résoudre à réséquer le massif articulaire L5–S1 de dedans en dehors pour exposer la racine L5 dans le foramen.

2.3. Durée de l'intervention

L'intervention a duré de 90 à 120 minutes selon les patients, ce qui est une durée médiane de 100 minutes rejoignant celle de notre revue de la littérature[53]

2.4. Incidents per opératoires et complications:

Un cas de brèche de la dure mère a été recensé dans notre travail. Aucun autre incident n'est survenu en per opératoire. Nous avons cependant relevé des complications post opératoires à type de :

- Surinfection de la paroi chez 3 patients
- Infection urinaire chez 1 patient
- Fistule du LCR chez 1 patient

3. Discussion

3.1. Caractéristique des patients

Les sciatiques par hernie discale surviennent le plus souvent chez un adulte âgé de 30 à 50ans [19, 20], ceci s'explique par la détérioration structurale du disque intervertébral qui commence de façon physiologique à partir de la deuxième décennie [11, 21]. La hernie discale est rare avant 20 ans (1%) dans notre série, (0,3%) chez CZORNY et COLL [22] et (0,8%) chez MAHDANE [36].

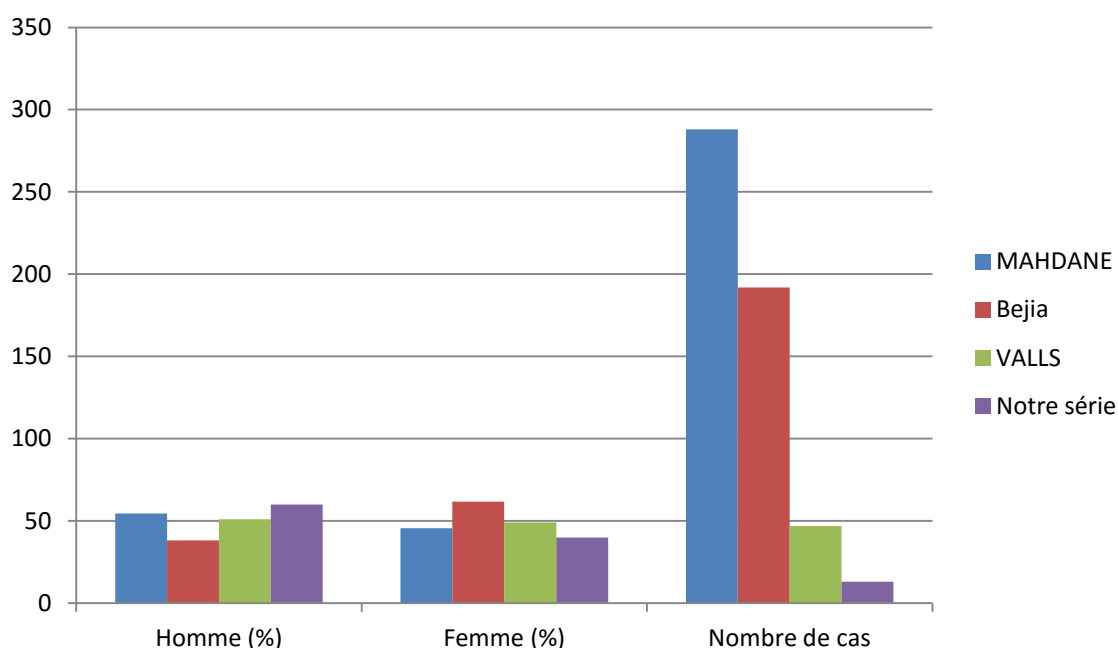


Figure 46 : Comparaison du nombre et sexe des patients avec la littérature

3.2. Complications

Il faut noter que certaines approches entraînent un plus haut risque de complications per et post opératoires. C'est le cas notamment dans la série décrite par Lee[55] qui rapporte que le risque de perforation péritonéale est de lésion du psoas existe si l'approche est faite trop latéralement.

De la même façon, Liu et al. [56] ont rapporté un ensemble de complications lors de l'approche inter-laminaire endoscopique :

- Saignement épidural
- Lésion de racines nerveuses
- Dysesthésies postopératoires
- Omission du nucleus propulsus

4. Conclusion

Au total, il s'agit d'une technique fiable, qui nécessite néanmoins un temps d'apprentissage non négligeable. Son grand intérêt est la diminution de la douleur postopératoire immédiate durant les premiers jours et la diminution de la durée d'hospitalisation. La réduction du taux de complications infectieuses constitue également un avantage déterminant de cette technique. Par contre, il n'y a pas de différence clinique à long terme entre l'endoscopie et la technique conventionnelle[8]. Enfin, la dissection endoscopique est non seulement pratiquée aux pays développés, mais elle constitue actuellement un nouvel challenge au service de neurochirurgie du CHU Mohammed VI de Marrakech qui va permettre l'amélioration de la qualité de la prise en charge thérapeutique des patients souffrant d'une sciatique par hernie discale. La technique endoscopique ouvre aussi la voie à d'autres techniques mini invasives nécessitant des écarteurs tubulaires et l'usage du microscope, permettant le traitement du spondylolisthésis et du canal lombaire étroit.

II. Vissage antérieur de C2

1. Historique

Les traumatismes du rachis cervical sont les traumatismes les plus redoutés en matière de traumatologie rachidienne, à cause de leur risque de séquelles graves. Une corrélation est notée entre le niveau de la lésion et le taux de morbidité/mortalité (plus la lésion est haute plus le risque est élevé.) Les lésions de la jonction crânio-cérébrale sont les plus mortelles.[57][58][59]

Les fractures de l'axis, surtout au niveau de l'odontoïde, sont des lésions fréquentes au niveau du rachis. Leur traitement constitue un défi à cause des risques associés vu la complexité anatomique de la jonction crânio-cervicale. Le traitement conservateur est faiblement toléré, surtout chez les sujets âgés et dans le cas de fractures multiples, et encore plus pour les fractures instables.[60]

Le vissage antérieur est ainsi le moyen idéal pour la fixation des fractures instables de l'odontoïde et est supérieur à l'arthrodèse C1–C2, vu qu'il conserve le mouvement de rotation, évitant ainsi de recourir à une greffe. Cette approche est devenue très populaire depuis qu'elle a été introduite par Bohler[61]. Hashizume et al[59] ont récemment décrit l'utilisation d'un système d'endoscopie pour effectuer la fixation antérieure de façon mini invasive et ainsi éviter la lésion des tissus mous. Kazan et al.[62] ont rapporté les détails techniques à l'aide d'instrumentation et de technique percutanée pour la fixation antérieure fermée des fractures de l'odontoïde dans leur étude cadavérique. À notre connaissance, il n'y a pas eu d'études cliniques sur l'innocuité et l'efficacité de la technique de vissage percutanée de l'odontoïde [46].

2. Résultats : Expérience du service de neurochirurgie

2.1. Caractéristique des patients

Il s'agit d'une série de 3 patients âgés de 20, 28 et 35 ans présentant des fractures de l'odontoïde. Leurs dossiers n'ont pas été retrouvés. Nous nous sommes donc basés sur le compte rendu opératoire et les données concernant ces patients reportés sur les thèses précédentes.

2.2. Description de la procédure

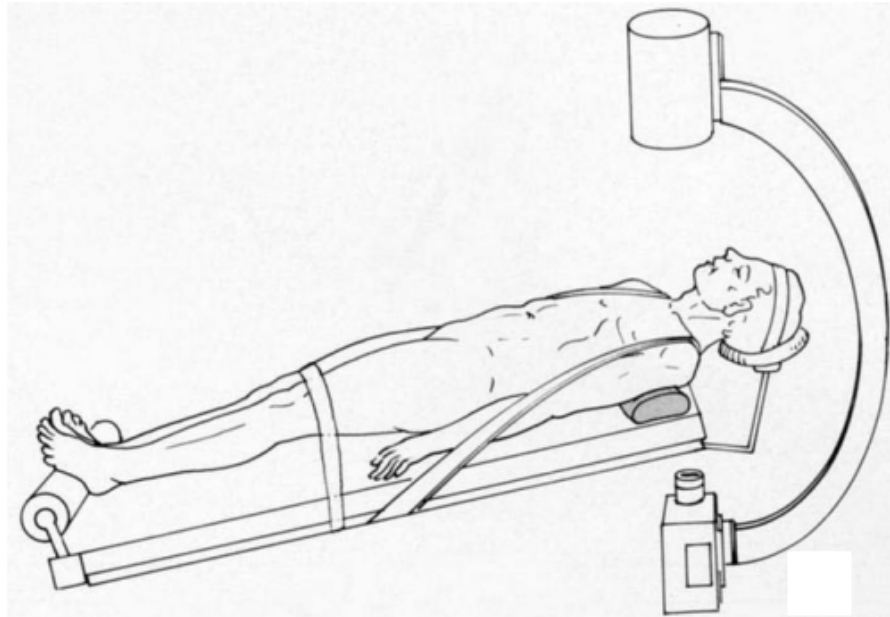


Figure 50 : Installation du malade

Certaines situations représentent des contre indication à la procédure, nous nous sommes assurés que nos patients ne se trouvaient dans aucun des cas suivants : indications

- Impossibilité de réduire anatomiquement la fracture
- Pseudarthrose
- Fracture de type OBAV
- Odontoïde difficilement visible sur les radiographies standard (ostéoporose majeure)
- Comminution importante de la base de l'odontoïde
- Fracture combinée à une fracture luxation de l'atlas
- Rupture du ligament transverse
- Fracture pathologique
- Cyphose sévère du rachis cervical

- **Positionner la tête du patient sur une têtère :** Permettant la réduction et l'utilisation de l'amplificateur de brillance.



Figure 51: utilisation d'une têtère ou d'un étrier de Codman.

- **Visualisation parfaite de l'axis de face et de profil [63]**

Idéalement deux amplificateurs de brillance dont le positionnement simultané permet le contrôle de la progression de la vis. Dans notre cas, nous n'avons utilisé qu'un seul amplificateur de brillance mais en ayant en préopératoire la possibilité de contrôler la face et le profil uniquement avec une rotation de l'arceau. Il est indispensable réduire la fracture avant l'incision. Nous pouvons cependant tolérer un très minime déplacement préopératoire que nous essayerons de réduire au vissage.

Cette réduction se fait en combinant les manœuvres de flexion, extension, traction mais aussi ante ou rétropulsion de la tête.

- **Visualisation de l'odontoïde de face mais aussi C3**

La visibilité de l'axis est parfois difficile principalement pour deux raisons

- La superposition de la mâchoire
- L'ostéoporose

La bonne vision de l'odontoïde de face conditionne la possibilité de réaliser un vissage. Trois moyens permettent d'améliorer cette vision

- Veiller à ce que la sonde d'intubation et la sonde gastrique soit positionnées sans se superposer à l'odontoïde
 - Maintenir la mâchoire ouverte (rouleau de compresse, écarte dents disponible chez les anesthésistes)
 - S'aider initialement avec le repérage des deux interlignes C1C2 qui délimitent l'odontoïde.
-
- **Assurer une parfaite exposition**

Nous positionnons les champs en incluant l'extrémité supérieure du manubrium sternal. L'alignement du centre du disque C2C3 et de la fourchette sternale est une bonne ligne de visée.

L'abord chirurgical se fait par une voie verticale centrée sur C5C6. Elle se réalise en dedans du Sterno-cléido-mastoidien et plonge vers le rachis. Il s'agit d'une voie d'abord très courante en chirurgie du rachis cervical. Le plus important est de ne pas plonger dans un trou. Il faut bien libérer les plans pour disposer d'un abord que l'on réaliserait pour faire un geste sur le disque C4C5. Nous utilisons au mieux des écarteurs de type Cloward qui permettent de bien écarter les parties molles de façon atraumatique. Il existe aussi des autostatiques. Il vaut mieux au début ne pas les utiliser et préférer un écartement manuel qui est moins traumatisant sur les parties molles (œsophage...). Nous incisons le muscle peaucier du cou puis les aponévroses. Ceci permet d'écarter les vaisseaux du cou en dehors et l'axe aéro-digestif en dedans. On va alors pouvoir progressivement visualiser la médiane des corps vertébraux. Celle ci se visualise très bien grâce aux muscles longs du cou qu'il faut respecter faute de voir apparaître un saignement musculaire gênant. On incise l'aponévrose pré-vertébrale. On remonte alors avec les écarteurs vers C3 puis C2. On peut alors sans même utiliser l'amplificateur de brillance sentir le débord du corps de C2 voire l'arc antérieur de C1. Lorsque la vision est mauvaise ou lorsqu'il faut tirer de façon importante sur les écarteurs il vaut mieux reprendre la libération des plans de la superficie vers la

profondeur pour être bien exposé. En cas de doute, on palpe très facilement le rachis et on peut sentir battre la carotide

- **Préparation de la visée**

La technique consiste en la réalisation d'une tranchée strictement médiane dans le corps de C3.

Elle est complétée par la résection d'une encoche dans le disque de C2–C3. On contrôle alors avec l'amplificateur de brillance son positionnement médian. Une fois réalisée cette tranchée facilite la visée qui sera contrôlée par la scopie.



Figure 52: position de la broche guide de face.



Figure 53:position du guide broche de face.

- **Contrôler la progression**

Nous ascensionnons alors la broche dans l'odontoïde à l'aide d'un moteur et du guide broche spécifique.

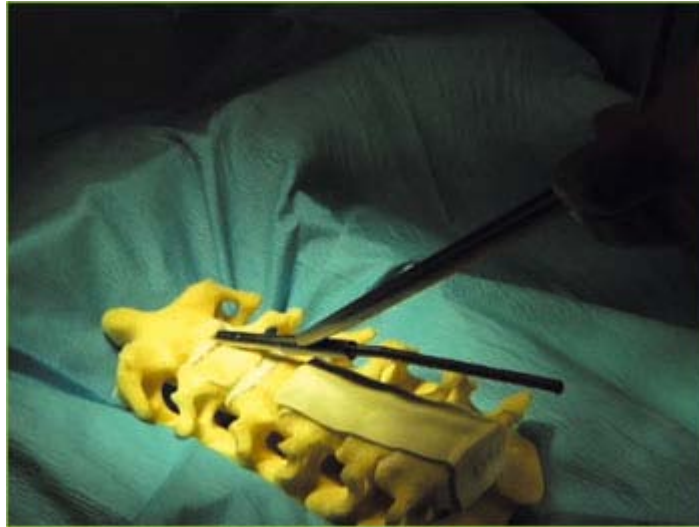


Figure 54: a – le guide broche doit être très couché sur C3, b – sinon le trajet de la broche sera trop postérieur

Il est impératif de contrôler itérativement (tous les centimètres) la progression de face et profil de cette broche. La broche va arriver ensuite à la butée représentée par le sommet de l'odontoïde.



Figure 55: bon positionnement du guide broche et de la broche

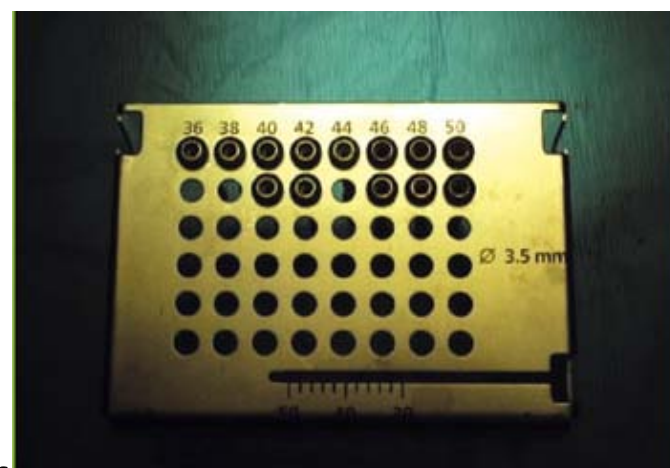
Nous pouvons alors décider de se contenter d'un vissage spongieux mais aussi parfois lorsque la comminution est importante ou lorsque l'on veut mettre de la compression passer la corticale



a



b



c

Figure 56: 10 : a – mesure par soustraction de la longueur, b – choix du type de vis, c – râtelier de vis

En cas de vissage spongieux il est alors possible de monter directement la vis. Une fois la broche positionnée on monte la vis canulée après avoir mesuré la broche par soustraction. Attention à ne pas mettre une vis trop longue qui distraiterait le foyer. La totalité du filetage spongieux doit être au-dessus du foyer de fracture.

Dans le cas du passage de la corticale il faut utiliser une mèche mais en contrôlant très régulièrement sur les deux incidences l'absence de progression de la broche qui ne demande qu'à migrer dans le tronc cérébral. [63]

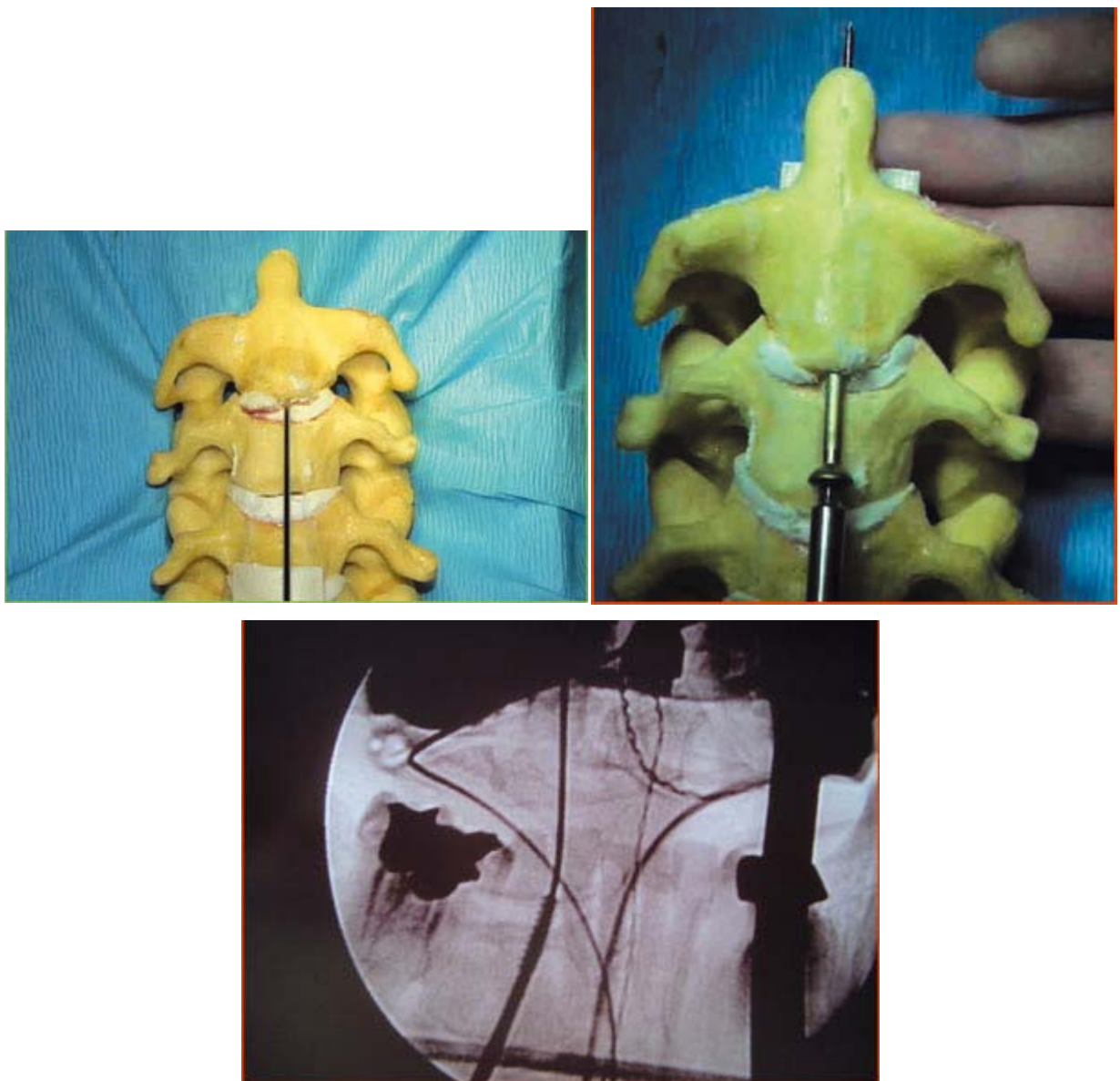


Figure 57: *progression du vissage.*

a – utilisation du tourne vis spécifique à cardan,

b – exemple de migration de la broche au vissage : il faut tenir la broche lors du vissage

c – axe de vissage différent de la broche entraînant un risque de migration de la broche au vissage

Il faut alors faire tenir cette broche par un aide.

Le vissage est réalisé au moins initialement à l'aide d'un tournevis à cardan spécifique.

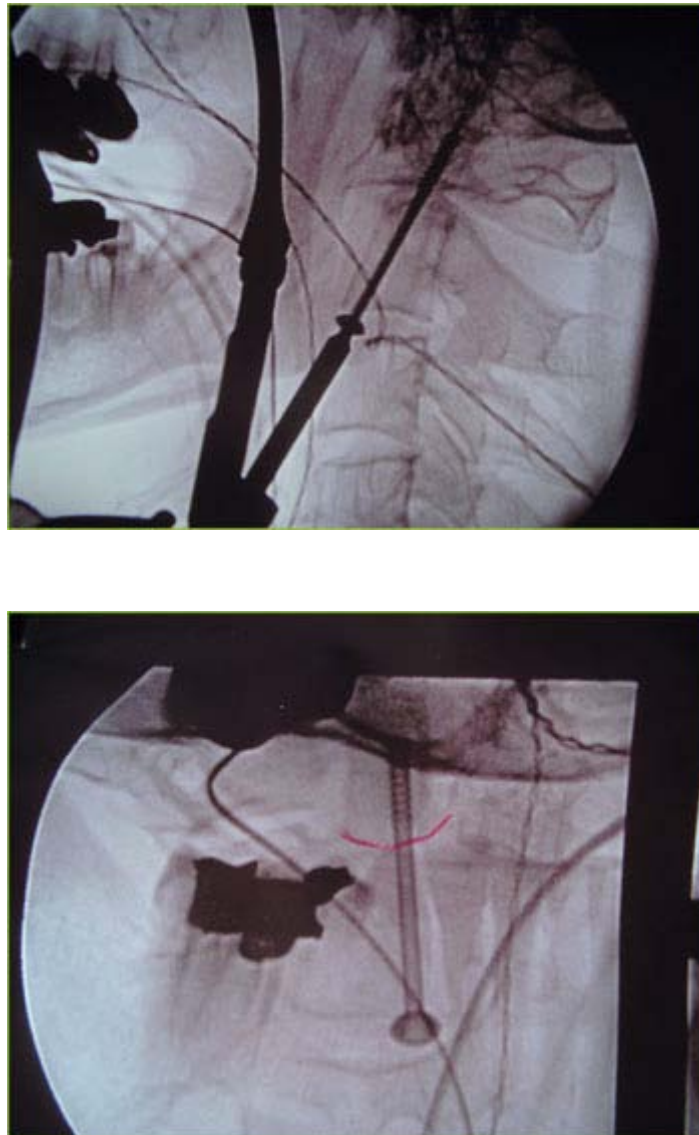


Figure 47: positionnement satisfaisant de la vis. a – de profil, b – de face : le filetage doit être au-dessus du trait de fracture

3. Discussion

3.1. Taux de fusion

Le taux de fusion semble être de 90 % sur les séries présentées dans les 10 dernières années.

81% pour Min sur 29 cas [64]

88% pour Apfelbaum sur 129 cas.[65]

92% pour Henry sur 61 cas.[66]

100% dans notre série.

3.2. Risques et complications

Deux auteurs décrivent des taux importants de complications surtout chez le patient âgé. L'étude d'Arand[67] permet de voir la quasi totalité des complications potentielles de cette chirurgie. Il a revu 58 cas de vissages antérieurs de l'odontoïde et a retrouvé 24 % de complications significatives (14 cas dont une rupture de la carotide enroulée autour de la broche, une vis placée en arrière de l'odontoïde, cinq vis mal placées dont trois ont migrés, deux décès périopératoires, une infection par fistule œsophagienne). Andersson recommande même de faire préférentiellement des vissages C2–C1 chez les sujets âgés devant la fréquence importante de complications et d'échecs des vissages antérieurs dans sa série. On ne retrouve pas ces chiffres chez les autres auteurs.

4. Conclusion

Au terme de notre étude de l'activité du service de neurochirurgie du CHU de Marrakech ainsi que notre revue de la littérature concernant l'approche antérieur des fracture de C2, nous pouvons conclure qu'il s'agit d'une technique efficace, avec un taux de fusion moyen très satisfaisant et un taux de complication et morbi-mortalité diminué, répondant ainsi aux exigences de l'approche mini invasive du rachis. C'est donc la technique de référence à adopter tant que le patient ne présente aucune contre indication à cette approche, et que les moyens sont disponibles pour effectuer ce type d'interventions.

III. Traitement percutané des spondylolisthésis

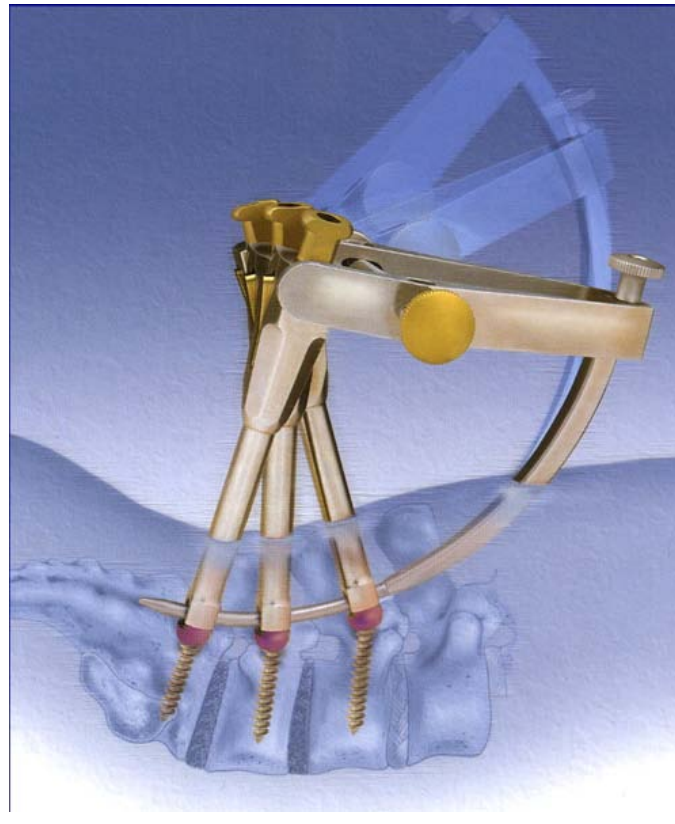


Figure 48: Système sextant pour l'approche percutanée du rachis lombaire.

L'équipe du service de neurochirurgie du CHU Mohammed VI de Marrakech a opéré un seul patient pour spondylolisthésis de L4 sur L5 par approche percutanée. La procédure s'est déroulée sans incident et le résultat post opératoire était excellent. Dans ce chapitre, étant donné le nombre insuffisant de patientes pour comparer, nous allons nous baser sur les données de la littérature pour traiter cette approche.

1. Définition

Les techniques de chirurgie postérieure percutanée sont apparues dans le but de diminuer le traumatisme musculaire, la perte sanguine et la durée d'hospitalisation. La mise en place de vis pédiculaires en percutané est décrite depuis quelques années mais la mise en place de tiges a nécessité le développement d'un ancillaire spécifique. Cette technique a été décrite pour la chirurgie dégénérative, ses résultats préliminaires semblent encourageants.[68].

2. Description de la procédure

Cette technique permet de mettre en place par voie percutanée des vis pédiculaires reliées par une tige. Elle est réalisée sous anesthésie générale, en décubitus ventral et fluoroscopie biplanaire.



Figure 60 : Radiographie lombaire de profil montrant un spondylolisthésis L4–L5.

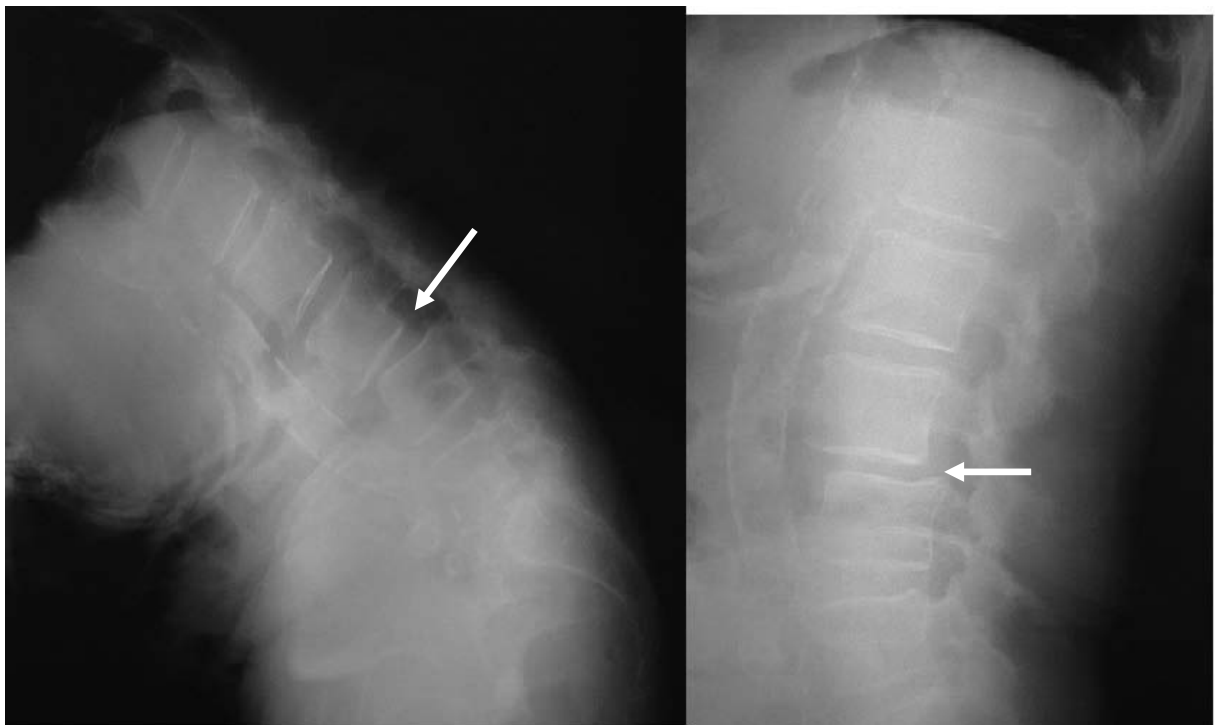


Figure 49: clichés dynamiques montrant l'instabilité du spondylolisthésis.() →

- **Installation du malade :**

La procédure peut être réalisée par une équipe radiochirurgicale et se déroule en salle de scanner sous contrôle scopique ou par un neurochirurgien au bloc opératoire. Le matériel utilisé est composé du matériel courant de radiologie interventionnelle et un kit de vissage chirurgical classique. Le patient est installé en décubitus ventral en hyperlordose progressive par angulation du plateau de la table.

- **Acquisition des images :**

Une acquisition volumique, sur l'ensemble du rachis lombaire, de coupes d'épaisseur de 5 mm reconstruites tous les 5 mm, permet d'analyser les différentes voies d'abord et de préciser le point d'entrée des trocars. La profondeur et l'angulation sont mesurées sur une coupe axiale passant par les articulaires postérieures à fixer. La ligne de repérage doit passer au centre des facettes articulaires des vertèbres sus et sous jacentes. Un seul ou deux points d'entrée sont

nécessaires pour chaque étage. Au bloc opératoire, une scopie face et profile ou un scanner O-arm est utilisé de manière courante.

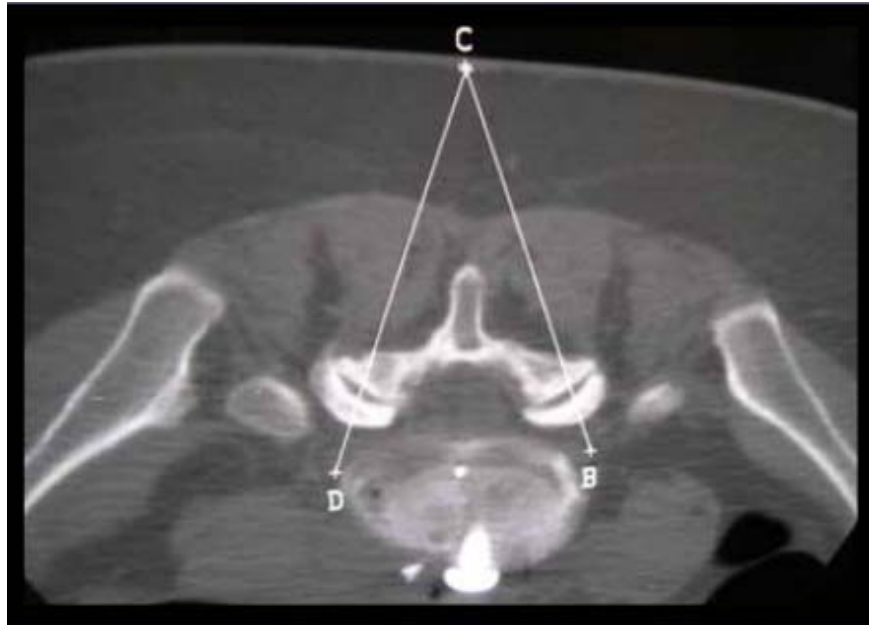


Figure 50: Acquisition d'image TDM.

Des contrôles scopiques de profil permettaient de juger de la qualité de la réduction. L'indication d'ostéosynthèse percutanée est confirmée lorsque la réduction est jugée satisfaisante. Dans le cas contraire, une ostéosynthèse conventionnelle doit être réalisée.

- **Mise en place des vis :**

Après repérage scopique de face, une incision de 15mm est réalisée à la hauteur du premier pédicule à instrumenter. La distance par rapport à la ligne médiane est estimée en fonction de l'axe du pédicule apprécié sur les coupes axiales du scanner et sur l'épaisseur des parties molles. Un trocart est mis en place dans le pédicule, puis remplacé par une broche filetée. Une série de trois dilateurs de calibres successifs permet d'écarter les parties molles. Le dilateur le plus large permet de passer la mèche, puis le taraud gradué permettant de mesurer la longueur de la vis nécessaire. Celle-ci est introduite grâce au porte-vis. Dès qu'elle a pénétré le pédicule, nous retirons la broche guide afin d'éviter que celle-ci n'avance au-delà du corps vertébral. Cette procédure est répétée pour la vis controlatérale.



Figure 51 : Etapes de l'approche percutanée

Dans le plan sagittal, la vis supérieure est dirigée en haut et en avant, la vis inférieure en bas et en avant. Dans le cas contraire, le débattement des têtes de vis étant limité, l'assemblage de l'ancillaire devient impossible. La limite acceptable est le parallélisme des vis supérieure et inférieure. Dans le plan horizontal, le repère est le pédicule sur les scopies de face qui était assimilé à un anneau. Il y a deux temps essentiels lors de la pénétration du trocart. Lors de l'entrée dans le pédicule, le trocart doit se situer à la partie latérale de l'anneau. Au niveau du mur vertébral, il doit se trouver à son centre ou à sa partie médiale. Les deux porte-vis sont alors solidarisés avec le porte-tige en forme de compas.

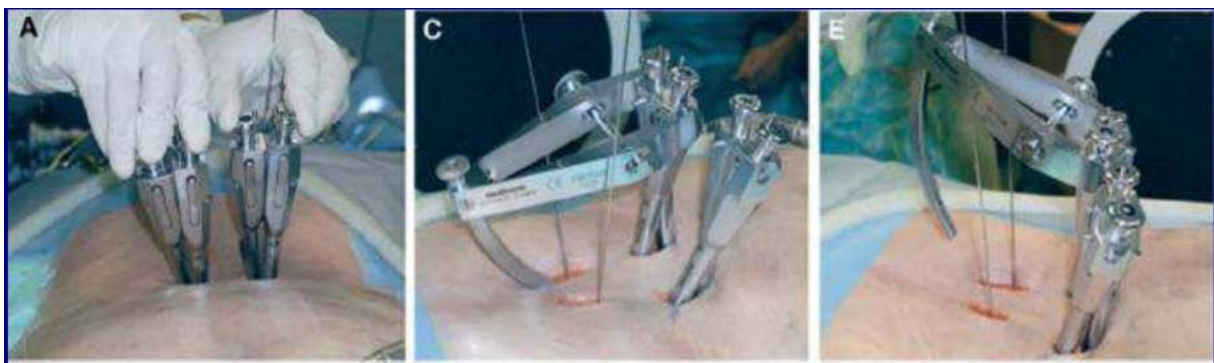


Figure 52: mise en place des tiges.

Un repère gradué permet de mesurer la longueur de la tige nécessaire. Une incision proximale de 15mm est réalisée et la tige adaptée est introduite. Le cheminement doit se faire sans forcer. Le bon positionnement de la tige dans les têtes de vis était vérifié par des contrôles scopiques de face, de profil et de trois-quarts. Les deux tournevis étaient positionnés sur les têtes et permettaient de compléter la réduction par une manœuvre de compression. Les boulons étaient alors serrés et cassés après un contrôle scopique. Les pédicules controlatéraux sont instrumentés de la même manière. La fermeture est réalisée sans drainage vu le faible risque hémorragique.

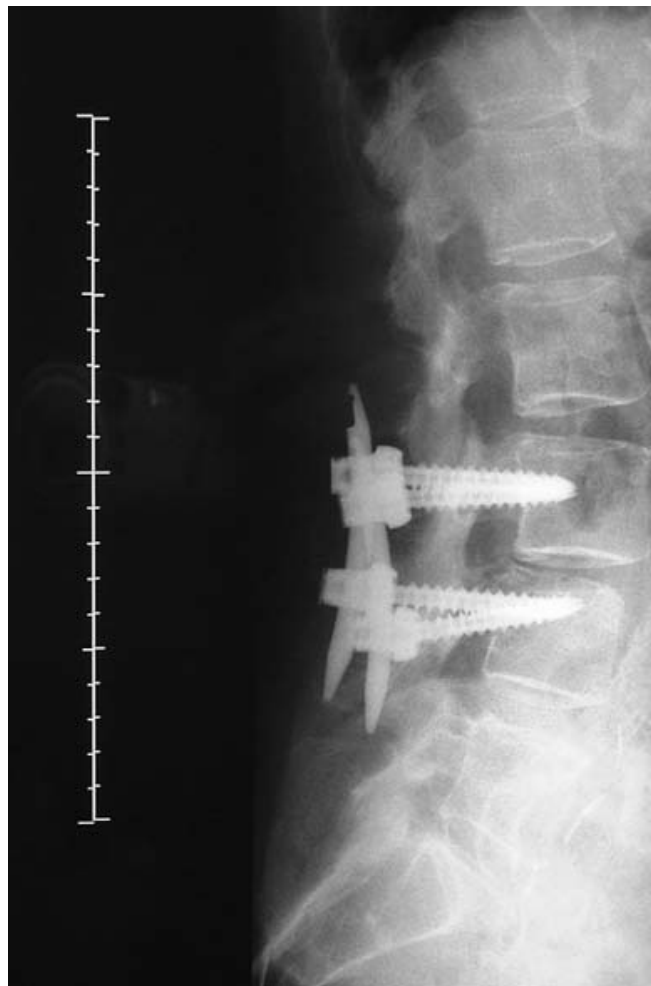


Figure 53: TDM post opératoire montrant un réalignement des vertèbres.

3. Discussion

Une revue de la littérature nous a permis de comparer les résultats obtenus chez différentes équipes. Nous pouvons voir que les résultats sont très proches, bien que les groupes de patients étudiés ne soient pas significativement comparables. Le tableau qui suit résume les résultats relevés.

Tableau VIII: Comparaison des résultats dans le traitement percutané du spondylolisthésis.

	Benali[68]	Lee[55]	Scheer[69]	Guisseppe
Nombre de patients	17	73	282	101
Niveau du spondylolisthésis	L4–L5	L4–L5	L4–L5	L4–L5
Durée d'intervention	90 minutes	120 minutes	200	–
Durée de séjour	3j	4,1j	3,72	–
Taux de fusion	100%	93%	85%	83%
Complications	0	8,2%	6%	3%

4. Conclusion

Dans le traitement des spondylolisthésis symptomatiques, la technique mini invasive semble être efficace, ne nécessitant pas de désinsertion ni de dissection de la musculature para vertébrale. Elle permet une diminution de la perte sanguine per opératoire et une diminution de la douleur postopératoire ainsi que la durée de séjour, le tout avec des résultats comparables aux approches conventionnelles à ciel ouvert. [56] La disponibilité des dilateurs et des vis de réduction (réduction screw extenders) offre aux neurochirurgiens la possibilité d'effectuer des réductions translationnelles de spondylolisthésis.

*REFLEXION SUR LA PLACE
DE L'APPROCHE MINI
INVASIVE AU SEIN DU
SERVICE DE
NEUROCHIRURGIE DU
CHU DE MARRAKECH*

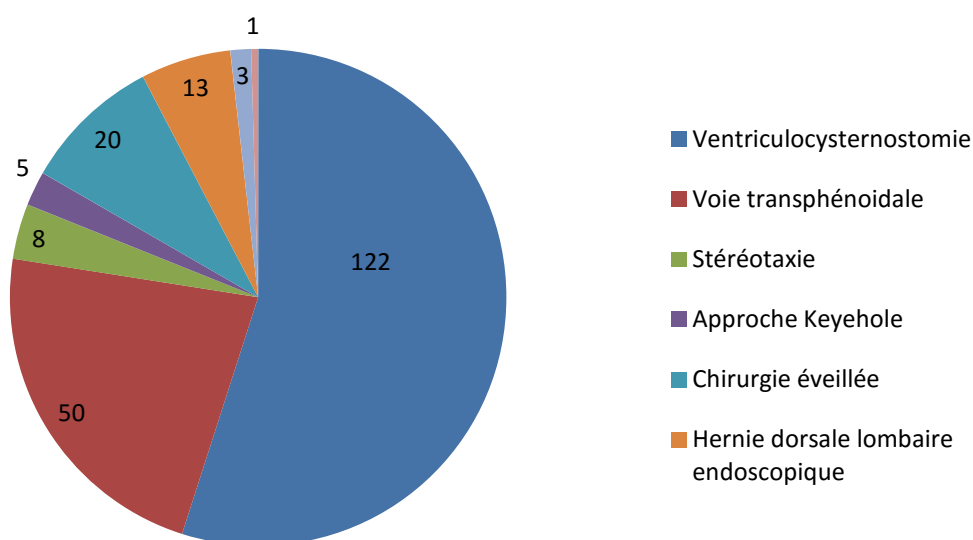
En entamant ce travail, nous aspirons à dresser une vue globale de l'activité du service de neurochirurgie du CHU Mohammed VI de Marrakech durant les 10 dernières années en terme de chirurgie mini invasive. L'objectif est de placer le service de neurochirurgie en perspective devant les grandes avancées réalisées à travers le monde d'une part, tout en gardant à l'esprit qu'il faudra contextualiser et encourager ces avancées dans notre service.

Cependant, l'importance de la problématique dépasse le côté purement technique de l'approche mini invasive. Nous nous sommes retrouvés devant un sujet d'ampleur plus importante, et nous ne pouvons pas traiter ce sujet sans aborder ses composantes philosophiques sociales et économiques. La notion de chirurgie mini invasive devient plus qu'un concept, c'est ici dans notre contexte marocain une affaire de santé publique selon sa définition par l'OMS en 1973 comme « un concept [...] concernant la santé, [...] l'état sanitaire d'une communauté, les services médico-sanitaire et socio-sanitaires, la planification et l'administration, et la gestion des services de santé en incluant les soins curatifs ».

Ceci dit, bien que nous soyons économiquement plus proches des pays émergents nous devons choisir de nous comparer plutôt aux pays du nord, ce qui aura pour conséquence de nous tirer vers le haut plutôt que de nous résoudre à la fatalité. Il est essentiel pour les générations à venir de ne pas se sentir bloqués par le côté financier, qui pourra être résolu éventuellement, et de trouver l'ambition d'apprendre et améliorer leurs techniques. Cependant, il existe certains obstacles qui s'opposent à l'adoption de cette approche dans les centres hospitaliers qui seront traités dans ce chapitre.

I. État de l'art de l'approche mini invasive au sein du service:

Total des techniques mini invasives pratiquées



1. En chirurgie du crâne et de la pathologie cérébrale

Le service a connu sa première intervention mini invasive il y a maintenant plus de 10 ans. Depuis, la technique s'est améliorée et les patients ont pu bénéficier de plus en plus d'interventions mini invasives. Le graphique ci dessus montre la proportion de patients opérés au cours de cette dernière décennie par technique chirurgicale.

2. En chirurgie du rachis et de la pathologie médullaire

De la même façon, les patients porteurs de pathologies médullaires et rachidiennes ont pu avoir accès à un soin de meilleure qualité, leur permettant une reprise rapide de leur qualité de vie et de leur activité. Cependant, le service de neurochirurgie du CHU Mohammed VI de Marrakech a vu son activité en terme de chirurgie mini invasive du rachis interrompue en 2013 à cause d'une panne de matériel, qui a été réglée par l'avènement du nouveau service de neurochirurgie de l'hôpital Arrazi.

II. Pourquoi la Chirurgie mini-invasive devient indispensable au service de neurochirurgie du CHU de Marrakech ?

1. Concept et philosophie

Le cerveau est un organe complexe qui relie l'individu à son environnement, qui caractérise l'individu, et qui renferme son essence. Malgré les progrès de la science et l'intérêt que lui prête la recherche, il est difficile de prétendre avoir saisi toute la richesse de cet organe. Ainsi, si nombre d'interventions sont réalisées au quotidien, il est indéniable que leur répercussion ne peut être sans effet [70]. En 1930 Burkando a formulé les principes de la neurochirurgie : «Accessibilité anatomique, légitimité physiologique et faisabilité technique ». Ces principes ont su résister à l'évolution, ou peut être est-ce l'évolution qui s'est adaptée à ces principes ? Dans tous les cas, ils restent applicables aujourd'hui mais il devient indispensable pour tout neurochirurgien d'y ajouter un quatrième principe : l'approche philosophique de la neurochirurgie. Le neurochirurgien a indéniablement une puissance sur son prochain, et une réflexion quotidienne de ses actes est indispensable afin d'analyser les conséquences possibles sur les futures générations[70]. Il est donc temps de passer d'une approche intuitive en neurochirurgie à des concepts philosophiques verbalisés [71].

La neurochirurgie est la spécialité chirurgicale qui intervient sur le névraxe (cerveau et moelle épinière) et ses enveloppes (méninges, boîte crânienne, rachis). Elle propose nombre d'interventions sur une multitude de pathologies, allant de la plus commune, à la plus rare, concernant le sujet depuis la naissance jusqu'au plus âgé, et de fait engageant une réflexion différente en fonction de la pathologie, mais aussi des conséquences possibles de cette même action. Elle est de plus en plus performante, s'aventure dans une complexité de plus en plus importante, grâce aux progrès de l'anesthésie mais aussi de l'imagerie et de la robotique [70] : Depuis la définition de la neurochirurgie comme discipline chirurgicale à part entière, l'idée dominante était que « plus l'incision est grande, mieux se portent le patient et son chirurgien »[1]. Ce dogme était adopté par tous, motivés par la peur de voir apparaître un œdème cérébral, qui ne pouvait être évité que par une grande incision. Cette même craniotomie

permettrait éventuellement d'avoir recours à une lobectomie au besoin. Finalement, la peur de ne pouvoir gérer une hémorragie si elle a lieu a conforté les chirurgiens dans leur position. Le monde de la neurochirurgie a ainsi traversé une période de « macrochirurgies » qui semblaient techniquement efficaces, mais dont le prix était cher payé : la douleur, le saignement et le traumatisme importants ont mené à l'abandon de ces techniques beaucoup trop invasives.

Depuis les 30 dernières années, l'imagerie pré opératoire a tellement évolué qu'il est maintenant possible de planifier le geste opératoire au millimètre près. Ceci associé à l'avènement de la stéréotaxie, ainsi qu'à l'utilisation de la réalité augmentée a ouvert la voie au concept des incisions en « trou de serrure ». L'application du keyhole concept et de la notion de chirurgie mini-invasive à la neurochirurgie a divisé la communauté neurochirurgicale. Ceci n'aurait jamais dû arriver car l'approche mini invasive correspond à une philosophie, non pas à la taille de l'incision. Cette philosophie découle de l'envie de minimiser les dommages collatéraux sans compromettre l'objectif initial de l'opération.[1]

Ces dommages collatéraux doivent être compris dans un sens plus global que la taille de l'incision. En effet, les conséquences des gestes « anodins » en neurochirurgie, c'est-à-dire les gestes banalisés par leur parfaite maîtrise, leur fréquence, doivent sans cesse nous interpeller : dans tous les cas, quelle que soit l'intervention du neurochirurgien, « son passage » ne sera pas totalement passé inaperçu. Reprenons la réflexion de K. Evens : « Nous sommes des hommes et des femmes neuronaux, au sens où tout ce que nous faisons, pensons et sentons est une fonction de l'architecture de nos cerveaux » [72]. Cette architecture sera de fait altérée soit spontanément (traumatisme, tumeur), soit de par l'acte chirurgical lui-même. Il est donc essentiel que le neurochirurgien réfléchisse non seulement en matière d'indication, mais également en matière de répercussions de ses actes. Il faut dépasser les conceptions usuelles de déficit neurologique telle une hémiplégie, une aphasie, etc. et se poser des questions fondamentales sur la notion même de Personne :

- Le libre arbitre : « le libre arbitre n'est que la description fonctionnelle d'un cerveau qui, par son organisation même, dispose d'une capacité d'envisager plusieurs voies

d'action, d'en évaluer les conséquences, et d'en choisir l'une sans que ce choix soit intégralement prévisible de l'extérieur ou même de l'intérieur. »

- La responsabilité : « l'homme neuronal reste une personne responsable, du moins si son cerveau n'a pas subi d'altérations ou de lésions. »[73]. De même le code pénal indique que « la personne atteinte d'un trouble ayant aboli son discernement n'est pas responsable».
- L'identité individuelle : Il est aujourd'hui possible de modifier la personnalité en agissant sur leur cerveau. Nous pensons notamment à la psychochirurgie.
- Le jugement moral: A. Jonsen dira du cas Gage : «Gage (patient ayant eu un traumatisme frontal) vivait avec des capacités physiques intactes et des facultés cognitives en bon état — bien qu'avec une exception importante : il était devenu incapable de faire des choix moraux ».

Le neurochirurgien ne peut ignorer la puissance de son geste, aujourd'hui sur son patient, demain l'impact qu'il peut avoir sur la société. Car s'il est indéniable que le fonctionnement du cerveau peut être perturbé suite à des lésions structurelles accidentelles (traumatisme, tumeurs, AVC), nous ne pouvons ignorer les modifications subies ou provoquées par le geste neurochirurgical, et ses répercussions possibles sur la personne, son identité etc. La notion d'invasion doit prendre en compte toutes ces dimensions, et nous nous retrouvons aujourd'hui obligés d'être le moins invasif sur l'organe, pour être le moins invasif possible sur les éléments constituant l'Individu. L'approche mini invasive du cerveau de la moelle et des nerfs en neurochirurgie est aujourd'hui bien plus qu'une simple méthode, il s'agit d'un état d'esprit à encourager. À ce stade ou chaque jour connaît son lot de nouvelles avancées technologiques, le chirurgien se trouve obligé de suivre, de peur de d'être dépassé. D'autant plus qu'avec l'accès à l'information pour tous, les patients sont eux même bien au courant de l'actualité et deviennent exigeants quant au soin qui leur sera prodigué. Aujourd'hui, nous pensons être éthiquement et

moralement tenus de maîtriser ces nouvelles techniques et de proposer au patient le meilleur soin disponible. Le neurochirurgien doit avoir une culture méthodologique et idéologique pour ne pas devenir un simple rouage de la pratique neurochirurgicale moderne, restant ainsi un médecin humain et fiable. La philosophie neurochirurgicale n'est pas détachée de la réalité, mais une voie vers la maîtrise des lois de cette réalité par la reconnaissance des « patterns » de l'évolution.

2. Rapport coût bénéfique et économie de la santé.

Le CHU Mohammed VI est un centre qui couvre toute la région sud du Maroc. Le centre hospitalier Mohammed VI dessert une population de plus de 7 millions d'habitants des régions: Marrakech–Tensift–El Haouz, Souss–Massa–darâa, Guelmim– Smara, Laâyoune–Boujdour–Sakia Lhamra, Oued Eddahab–Lagouira et en partie la région Doukala – Abda et Tadla–Azilal. Il faut noter que selon le recensement général de la population et de l'habitat (R.G.P.H) de 2004, la population de la région est de 3102652 habitants soit 10,4% de la population totale du pays passant à 3.315.100 en 2011 selon les estimations. 42,4% de cette population réside en milieu urbain soit 1.403.600 habitants contre 57,66% complémentaire en milieu rural soit 1.911.500 habitants. Le taux de chômage est de 4,5%, il est inférieur à la moyenne nationale qui est de 9,1%. Le niveau de pauvreté est supérieur à la moyenne nationale avec 8,9% au niveau national, 11,2% au niveau régional. La valeur ajoutée produite dans la région est faible. En effet, la région de Marrakech représente 8,9 % du PIB national[74].

Avec une capacité de 33 lits, et un flux de 1554 patients/année en moyenne, ce qui équivaut à un taux d'occupation moyenne de 114.7%. Il est donc important de gagner le maximum de temps en procédure ainsi qu'en hospitalisation. Tout le monde est gagnant dans l'histoire.[74]

Tableau IX : Taux d'occupation moyenne durant la durée de notre étude

ANNÉE	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
TOM(%)	118	116	108	94	92	105	114	117	145	138

La durée moyenne de séjour varie entre 5 jours en l'an 2009, 8 jours en l'an 2004 et 7 jours en 2013.

En nous basant sur ces données, nous pouvons voir qu'il devient très intéressant en terme de rapport coût-bénéfice de favoriser l'approche mini invasive, car celle-ci permettra de réduire les durée d'intervention et de séjour, ce qui est indispensable compte tenu de l'activité du service de neurochirurgie du CHU Mohammed VI de Marrakech. De plus, la chirurgie ambulatoire sera bientôt disponible en neurochirurgie, ce qui permet de rentabiliser le coût global des infrastructures.

3. Centre à la veille de l'innovation

Le CHU Mohammed VI et l'Université Cadi Ayyad sont engagés dans plusieurs collaborations et ententes à l'échelle internationale, et entretiennent un rapport étroit avec plusieurs universités méditerranéennes. C'est le cas par exemple du laboratoire de neurosciences de Bordeaux, avec lequel travaille étroitement les équipes de notre université, notamment en matière de stimulation cérébrale profonde, et du monitoring peropératoire, ou encore des équipes du pôle neurosciences de l'assistance publique des hôpitaux de Marseille, reçus à maintes reprises au sein du service de neurochirurgie de Marrakech, ainsi que les CHU de Lille et de Paris, notamment pour l'introduction de la chirurgie éveillée à l'hôpital. Nous avons la chance d'échanger lors de ces rencontres, ainsi que durant les congrès organisés au Maroc, et sommes ainsi capables de tirer profit de leur expérience et leur expertise pour améliorer la notre.

III. Challenges : Quelles sont les barrières à franchir ?

1. Psychologique : Adoption de la technique mini invasive.

Malgré les avancées en matière de matériel et techniques chirurgicales, il existe encore une école qui rejette avec véhémence l'idée de réduire l'exposition de cerveau. Or, afin de pouvoir adopter la technique mini invasive, le chirurgien doit répondre à deux conditions: faire confiance à la technologie et bien vouloir sortir de sa zone de confort. Cependant, les arguments avancés par les plus réticents sont discutables, mais compréhensibles :

La base de la chirurgie mini invasive est évidemment la révolution de l'imagerie : Aujourd'hui, sans aucune invasion, nous pouvons voir presque tout ce qui se passe anatomiquement dans le cerveau. Plusieurs outils, surtout la TDM et l'IRM constituent une avancée importante dans l'étude et l'identification des pathologies du système nerveux central. Cependant, une interprétation adéquate de l'image doit toujours être basée sur le raisonnement critique. Les méthodes modernes d'imagerie mini invasive ont aboutit à un déclin du raisonnement clinique. Les compétences requises pour l'examen neurologique d'un patient sont en train d'être altérées, atrophiées, et nous assistons à une transformation du raisonnement en une sorte d'automatisme qui nous fait classer les patients dans des moules. Cette approche réduit la vision du patient à une « pathologie » alors que le jugement clinique du chirurgien doit être une synthèse de l'analyse de toutes les données concernant son patient, prenant en compte la condition générale du patient, son âge, sa psychologie, et son statut social. L'imagerie en particulier et toutes cette « codification de la prise en charge » s'avère donc être une arme à double tranchant, qui risque de transformer le chirurgien en un « technicien de la chirurgie ».

Faire confiance à la technologie : La robotisation de la neurochirurgie raisonne comme une excellente addition aux instruments chirurgicaux, mais des questions de sécurité et de coût ont été soulevées. Quelques études démontrent que parfois, le risque auquel le malade est exposé est le même pour les deux techniques, mais le coût est plus élevé[75]. Nous ne pouvons négliger cette observation, et devons la prendre en compte pour certaines situations. Bien sur nous ne sommes pas en train de résoudre le débat de cout-efficacité. Cependant, cette question nous mène vers la

considération éthique soulevée par les campagnes de marketing intensives menées par les constructeurs au sein des hôpitaux. Nous nous retrouvons devant une question importante: quel est le niveau de confiance que les patients, chirurgiens et administratifs hospitaliers doivent avoir en ces nouveaux équipements? Si nous devons faire confiance à la technologie, nous devons nous assurer que ceci n'est pas simplement un autre exemple de technologie surmédiatisée, mais un autre point est encore plus important, et pourtant rarement détecté par ceux qui ne sont pas des chercheurs en philosophie de la technologie. Ce point est de s'assurer absolument qu'il ne s'agit pas d'un autre exemple d'adaptation inversée (reverse adaptation) c'est-à-dire que nous ne sommes pas en train de nous adapter aux nouvelles technologies, parfois en déviant de nos normes, plutôt que de forcer les fabricants et les constructeurs à s'adapter à nos besoins avant d'adopter en masse ces technologies. [76]

Sortir de sa zone de confort : « Je suis plus inquiet et intéressé par les lésions du cerveau, des vaisseaux et des nerfs que je ne suis intéressé par la taille de l'incision », ou encore « mes résultats sont très bons, pourquoi changer » ou « Le résultat cosmétique et la taille de l'incision ne devraient pas prendre le dessus sur le résultat neurologique ». De toute évidence, l'intention des ces chirurgiens « résistants » n'est manifestement pas de critiquer les chirurgiens qui ont adopté les techniques mini invasives, mais le principe de base de leurs déclarations implique que les chirurgiens qui sont « mini invasifs » sont plus préoccupés par le résultat esthétique que le résultat clinique. Ce n'est évidemment pas le cas. Si un chirurgien adopte une nouvelle approche et que le patient a un mauvais résultat comme conséquence directe de l'approche, il est clair qu'il ou elle a besoin de réévaluer la nouvelle approche et de la modifier ou de revenir à l'ancienne approche. Surtout que même entre les meilleures mains, l'optimisation des résultats suppose une expérience suffisante ou une ascension de la courbe d'apprentissage du chirurgien, le temps qu'il affine sa technique au dépend des premiers patients.

2. Économique : Quel budget ?

Comme cité plus haut, la région sud, couverte par le CHU Mohammed VI de Marrakech est une région considérée comme pauvre. La question économique se pose alors d'elle-même. Comment peut-on prodiguer le meilleur soin disponible et ainsi respecter notre contrat éthique, tout en prenant compte du niveau économique des patients. A quel degré la population marocaine peut avoir accès à ces techniques qui peuvent couter très cher économiquement.

Nous ne pouvons pas prétendre avoir la réponse à cette question. Bien qu'idéalement, étant donné que tous les citoyens bénéficient de l'un ou l'autre des régimes d'assurance disponibles (AMO/RAMED/CNOPS/FAR/CNSS), ils devraient trouver à leur disposition le matériel nécessaire à leur prise en charge et ne pas avoir à se charger du côté financier de leur santé. D'autant plus que plusieurs études ont prouvé que le retour sur investissement et le rapport coût-bénéfice est en faveur de l'investissement dans la technologie mini-invasive[28][77]. Ces études ont considéré l'avantage immédiat, qui est celui du gain de temps, de la diminution de la durée d'hospitalisation ainsi que la douleur moindre, mais également l'impact plus global sur la société, qui retrouve un individu actif, participant à l'économie du pays, et à l'évolution de la société. Il est évident que des études devraient être faites sur le plan national pour confirmer nos hypothèses. Ce point relève plus de l'économie de la santé et de la gestion du budget à l'échelle ministérielle. Ce n'est pas ici le thème de notre thèse, mais il nous semblait important à relever car il s'agit tout de même d'un des plus grands obstacles auquel se heurte l'évolution de l'approche mini invasive au service de neurochirurgie de Marrakech.

3. Technique : Formation chirurgicale continue

«L'oiseau a besoin de ses deux ailes pour voler dans le ciel »

« Nous vivons dans un monde en mutation constante des connaissances et des besoins »
Allen Greg, 1953. Ceci est encore plus vrai aujourd'hui. Les avancées rapides en connaissances, techniques et technologies nécessitent un système d'éducation prêt à répondre à ces changements. comme dit le professeur Kothari « Dans ce monde qui change aussi vite, une chose

est certaine, le système d'éducation de hier ne répondra pas aux besoins actuels, et sera déjà désuet demain » [78].

Le développement des techniques neurochirurgicales a ouvert de vastes perspectives dans le domaine de la chirurgie mini invasive du crâne et du rachis. Cependant, l'approche mini invasive est relativement récente, et bien que certaines procédures aient été démontrées efficaces, d'autres doivent encore être validées, surtout dans le domaine de la chirurgie carcinologique endoscopique par exemple. Les patients doivent être clairement informés concernant ces limites et leur consentement doit être obtenu explicitement avant l'intervention.[1]

Concernant la formation des neurochirurgiens, il est clair qu'il ne s'agit plus seulement de leur apprendre des techniques, mais également un savoir théorique du sujet, ce qui constitue les deux pieds sur lesquels ils se tiendront. Il faut dorénavant parler d'éducation et non plus de formation. Mettons en garde les nouveaux résidents des avancées technologiques de plus en plus sophistiquées, qui risquent d'affecter leurs compétences et leur créativité intellectuelle s'ils ne prennent pas garde. Il est indispensable de continuer à cultiver leur esprit critique tout en les introduisant et les formant aux techniques de pointe. Il s'agit concrètement de leur faire comprendre que « a fool with a tool is still a fool » !

La simulation est un autre axe sur lequel nous devons insister. Gardons à l'esprit que plusieurs techniques ont une longue courbe d'apprentissage. Il faut donc veiller à prodiguer la meilleure formation possible aux résidents et aux neurochirurgiens, pour diminuer autant que possible cette courbe. Historiquement, l'apprentissage de la chirurgie repose fondamentalement sur le mode du compagnonnage. La formation technique de l'interne de chirurgie passe par la réalisation d'interventions encadrées par un chirurgien « sénior ». L'apparition, à la fin des années 1980, de la chirurgie endoscopique et plus récemment de la chirurgie robotique (fin des années 1990) a nécessité de reconsidérer la pratique chirurgicale. Nous assistons non seulement au développement de nouvelles approches techniques chirurgicales mais aussi à l'utilisation d'interfaces totalement novatrices. Cela suppose donc l'apparition concomitante de moyens d'apprentissage adaptés pour s'assurer que l'opérateur est capable de faire face à tout événement inattendu peropératoire (correction des mouvements, contrôle d'une hémorragie, gestion de

dysfonctionnement matériel). L'intégration de la simulation dans la formation aux procédures opératoires chirurgicales et endoscopiques est primordiale. A cela, il faut ajouter que l'incidence du médico-légal dans notre pratique renforce l'idée qu'il devient inconcevable de « faire ses premières armes » sur le patient. [79]

Enfin, il faut relever encore une fois l'importance de la collaboration multidisciplinaire car plusieurs interventions se trouvent à l'intersection de plusieurs disciplines chirurgicales (ORL, maxillo-faciale etc...). L'intervention doit être planifiée dans le cadre de réunion multidisciplinaire, réunissant les neurochirurgiens, réanimateurs, radiologues et tout autre spécialiste dans un domaine jugé pertinent pour l'intervention concernée. Il devient de la même façon indispensable de former le personnel paramédical à la surveillance et aux soins post-opératoires. Les mots d'ordres sont donc: « Collaboration, communication, planification, confiance et responsabilité ».

IV. Quelles sont les perspectives d'avenir ?

1. Stéréotaxie sans cadre et neuronavigation

La neuronavigation est une démarche chirurgicale née il y a une quinzaine d'années. Elle répondait à la nécessité de voir se combler le fossé qui s'était creusé entre les techniques neurochirurgicales conventionnelles et l'imagerie médicale dont les progrès, avec l'introduction du scanner (CT) et de la résonance magnétique (IRM), furent spectaculaires. En effet, de plus en plus souvent, le neurochirurgien se trouvait confronté à la découverte de lésions asymptomatiques, de petit volume, parfois profondes ou se développant au sein de zones cérébrales fonctionnelles. Pour le traitement de ces lésions, un cheminement de plus en plus précis au sein du cerveau se révélait indispensable.

Centenaire dynamique, la neurochirurgie vient ainsi de vivre sa troisième révolution en peu de temps. La première datait des années 60 avec l'introduction du microscope opératoire. En 1972, le développement du CT par HOUNSEFIELD inaugurait le deuxième bouleversement, celui de l'imagerie médicale et de la neuroradiologie. Aujourd'hui, les progrès de l'informatique permettent

d'associer aux données de l'image neuroradiologique la précision du microscope opératoire pour guider le cheminement intracérébral. Cette troisième révolution, c'est la neuronavigation.

« En fait, la navigation intracérébrale trouve ses racines dans la neurochirurgie stéréotaxique. Cette discipline, née au lendemain de la seconde guerre mondiale, se donne pour but d'atteindre, par un petit orifice percé dans la boîte crânienne et au moyen d'un volumineux cadre placé autour du crâne servant de référentiel, n'importe quelle structure intracérébrale pour y pratiquer un prélèvement limité, une ablation, une stimulation, ou un enregistrement électrophysiologique.

La neuronavigation quant à elle a pour but d'arriver, par le chemin le plus sécurisant et avec le contrôle de la vue, à enlever totalement une lésion développée au sein de la boîte crânienne. De nombreux développements méthodologiques ont déjà eu lieu. Les premiers systèmes de navigation nécessitaient toujours l'utilisation d'un cadre stéréotaxique encombrant, ce qui gênait considérablement le geste chirurgical et interdisait l'accès à de nombreuses régions. Face à ces difficultés, se sont élaborés de nouveaux référentiels, peu encombrants, utilisant des marqueurs cutanés placés sur le scalp. Ces méthodes restaient cependant tributaires de l'extrémité d'un bras articulé solidarisé au patient et gênant toujours le geste chirurgical. Pour remplacer ces bras, d'autres procédés ont été proposés telle l'utilisation de LED collées sur les instruments chirurgicaux. Pour s'orienter, le neurochirurgien restait dépendant d'un écran d'ordinateur placé en-dehors de son champ opératoire.



Figure 54: Progrès ultime de cette neuronavigation, le MKM est un robot multi-articulé sur lequel est monté un microscope opératoire performant qui se dirige automatiquement selon les trajectoires établies la veille.

Pour guider le chirurgien, il utilise le point focal du microscope qui, de surcroît, contient dans ses oculaires toutes les informations nécessaires pour réaliser une véritable navigation intracérébrale sans quitter des yeux le foyer opératoire. Ce système est comparable au « Heads Up Display » utilisé dans l'aviation pour guider le pilote lorsqu'il vole sans visibilité. En effet, opérer au sein du cerveau c'est un peu comme piloter dans les nuages.

A toutes les étapes de l'intervention, le chirurgien perçoit très précisément dans ses oculaires les limites de la lésion sous la forme d'un contour lumineux. Dans le coin supérieur droit, il voit la distance qui le sépare de la tumeur et, au milieu de l'écran il observe l'orientation qu'il doit donner au microscope pour y arriver par le plus court chemin.

La procédure stéréotaxique sans cadre comporte trois étapes:

- L'exploration stéréotaxique qui débute en salle d'hospitalisation la veille de l'opération. Des marqueurs cutanés sont collés sur le cuir chevelu du patient puis une IRM est réalisée et les données sont transférées vers un ordinateur baptisé " station de travail ". Sur cette console informatique, le chirurgien va procéder au repérage des marqueurs cutanés et au calcul des coordonnées de ce référentiel stéréotaxique.



Figure 55: Marqueurs de stéréotaxie mis en place sur la peau [80]

- La simulation de l'intervention: la zone cible, à savoir la tumeur ou la malformation vasculaire, ainsi que les zones cérébrales fonctionnelles à risques vont être délimitées sur chacune des 152 coupes de l'IRM. Le chirurgien va alors programmer une ou plusieurs approches. Durant cette étape, il peut également fusionner les données neuroradiologiques et les images provenant des atlas anatomiques afin de déterminer avec précision la localisation et la fonctionnalité des régions traversées

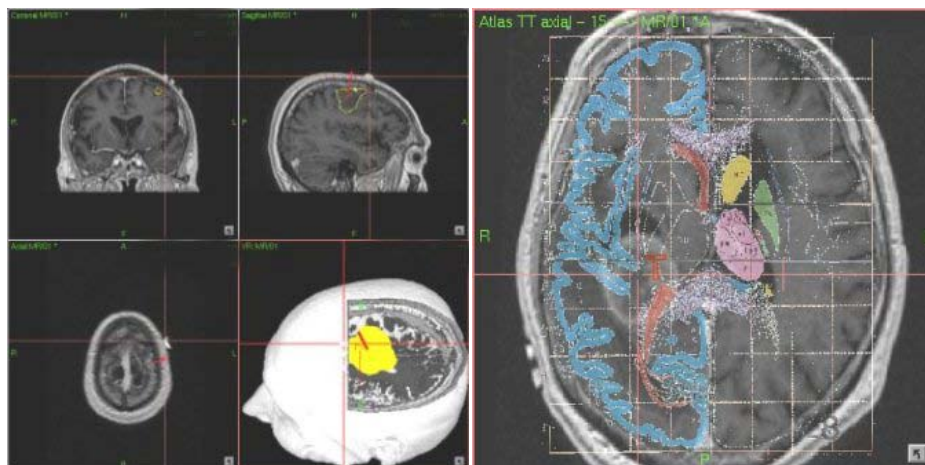


Figure 56: Détermination des zones traversées [80]

- Le geste chirurgical, durant lequel le chirurgien va en premier lieu procéder au repérage optique des marqueurs crâniens avec l'aide du microscope opératoire. Le programme informatique va ensuite mettre en corrélation les coordonnées fournies par l'IRM et celles enregistrées au moyen du microscope pour restituer, en temps réel et en trois dimensions, les structures cérébrales pathologiques et normales délimitées lors de la simulation. Le microscope est asservi à l'imagerie médicale. A la commande du chirurgien, il va se positionner automatiquement au point d'entrée choisi sur le crâne.

Incontestablement, le chirurgien qui, en permanence, connaît sa position au sein du cerveau dans tous les plans de l'espace et avec une précision de l'ordre du millimètre, offre à son patient une sécurité accrue. En abordant la lésion par le chemin le plus direct et le plus étroit, chemin que l'opérateur a déterminé lors de la simulation sur la station de travail, il va réduire l'agression chirurgicale, le temps opératoire et par conséquent la durée d'hospitalisation.

Il existe bien évidemment certaines limitations et des inconvénients liés à la neuronavigation. La première est l'absence d'adaptation de l'imagerie médicale aux modifications de volume secondaires à la trépanation, à la vidange de liquide céphalo-rachidien et à l'ablation de la lésion (brain shift). Ceci est particulièrement vrai lorsque l'on traite de volumineuses tumeurs kystiques. Si l'on gagne du temps durant le geste chirurgical, force nous est de constater que l'exploration stéréotaxique et la simulation de l'intervention imposent au chirurgien un surcroît de travail non négligeable.

Certes, ces progrès techniques ont profondément modifié la conception du geste chirurgical et accru la sécurité du patient. Il n'en reste pas moins vrai qu'à toute époque une constante remise en question de nos pratiques quotidiennes s'impose. « C'est ce que nous continuons à faire vis-à-vis d'une technologie de plus en plus oppressante. Et, en toutes circonstances, nous n'oublions jamais que nous ne soignons pas des images mais bien des hommes. »[80][2]

2. Chirurgie percutanée du rachis

Le développement de la chirurgie mini invasive sous l'essor du microscope et de l'endoscope eut pour résultante logique l'application de ces avancées en chirurgie du rachis à la fois sur les approches antérieures et postérieures et selon différentes méthodes et technologies. La chirurgie mini invasive du rachis (ou MAST : Minimal Access Spinal Technologies) permet ainsi de réaliser les mêmes gestes qu'à ciel ouvert sans compromis sur l'efficacité du geste qu'il soit en terme de libération neurologique ou de stabilisation mécanique dans l'espoir de voir une diminution des séquelles cicatricielles quelles soient cutanées et surtout musculaires, des pertes sanguines, des douleurs postopératoires, de la durée de convalescence et des infections.

Les techniques MAST par voie postérieure ont d'abord commencé avec la micro-discectomie endoscopique grâce au développement de tube (METRx) qui permet un abord endoscopique transmusculaire. Ces systèmes ne permettent cependant pas d'avoir une vision 3D, les systèmes ont ainsi évolué en gardant les systèmes tubulaires mais en y associant le microscope (figure 1) ou les loupes avec un système de lumière froide qui permettent une vision tridimensionnelle beaucoup plus confortable et plus sécurisante.[81]

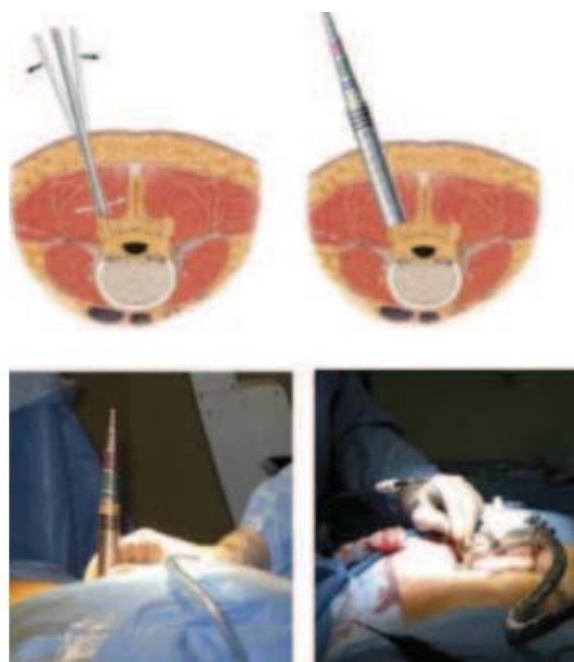


Figure 57: Abord tubulaire par dilatation musculaire[81]

Ces tubes ont évolué en s'élargissant (METRx XTUBE) et en devenant modulaire (MAST Quadrant) qui a permis alors d'élargir les indications aux gestes de décompression (Laminectomie, foraminotomie, arthrectomie).



Figure 70: Systeme METRx Xtube[5][82]

3. Télémédecine et téléassistance.

« Un coup de téléphone à un confrère pour solliciter un avis sur un cas posant problème est de la télémédecine » Poirot, 1995.

L'usage du téléphone fut la première modalité d'échange même si cette application ne correspond qu'en partie à la définition retenue aujourd'hui pour la télémédecine, qui inclut l'usage des technologies de l'information et de la communication offrant des opportunités plus grandes de services et de pratiques médicales à distance. La télémédecine fait partie d'un ensemble plus large appelé la télématique de santé qui recouvre selon l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) « les activités, services et systèmes liés à la santé, pratiqués à distance au moyen de technologie d'information et des communications pour les besoins planétaires de promotion de la santé, des soins et du contrôle des épidémies de la gestion et de la recherche appliquées à la santé».

La télémédecine n'est pas une technologie récente. La première utilisation de la communication vidéo interactive en santé s'est produite à la fin des années 50 par l'institut psychiatrique du Nebraska (USA) qui, via un système de télévision interactive à deux voies, opéra une téléconsultation en psychiatrie avec l'hôpital de Norfolk, 112 miles plus loin. Ce lien a été

développé pour l'éducation, le traitement spécialisé, et les consultations entre un praticien généraliste et un spécialiste. En parallèle de l'évolution des technologies, leur fiabilité a conduit à améliorer les pratiques mais également diminuer leur coût pour une plus grande diffusion. La télémédecine repose sur le transfert d'informations médicales, via les TIC. Il peut s'agir de voix, données, images. Les échanges peuvent se faire par le réseau Internet, la ligne téléphonique standard, lien Ethernet, fibre optique, câble coaxial, satellite, CPL... Ils peuvent être synchrones (visioconférence) ou asynchrones (par des équipements dédiés à la transmission d'images médicales fixes et données associées pour une consultation en différé). Pour la télémédecine, les notions de performance, sécurité et de qualité sont importantes. Alors que la faisabilité technique est la première priorité, il est devenu indispensable de s'assurer de la confidentialité, de l'autorisation d'accès, de l'authentification des acteurs. De même, la question de la qualité des transmissions et l'assurance du fait que le diagnostic sera le même à distance a impliqué une première vague d'évaluation de la technique uniquement, en se basant sur les principes du « health technology assesement »[83][84]

La télésanté est appelée à jouer un rôle grandissant dans la prestation de soins. Les technologies de l'information et de la communication peuvent en faciliter la consultation, la surveillance et le suivi. Ces technologies favorisent les échanges entre les professionnels de la santé et les patients, et entre les différents professionnels. La revue de la littérature offre des preuves soutenant la faisabilité et la sécurité du télémentorat[85]. Nous prendrons l'exemple du dispositif REACTS, utilisé par l'équipe de neurochirurgie du CHU de Montréal. Il s'agit d'une plateforme de communication vidéo et audio bidirectionnelle, qui permet de communiquer avec des collègues ou des patients. Le CHUM a testé cette plateforme dans la formation des neurochirurgiens.

L'installation se fait dans deux salles. La salle de surveillance où l'enseignant est installé, avec un ordinateur portable, une caméra sur tige et un drap vert permettant l'utilisation du chroma key (image ci-dessous).



Figure 58: installation dans le bureau du superviseur.[85]

Dans la salle d'opération, les branchements sont plus complexes : Ordinateur, écran de transmission, camera suspendue au plafond, en plus du fluoroscope et microscope.



Figure 59: Utilisation du chroma key[85]

L'enseignant ou le superviseur peut alors suivre la procédure en temps réel, intervenant au besoin grâce au chroma Key, qui permet à la main de l'intervenant de se superposer à l'image réelle sur l'écran de diffusion au bloc opératoire. L'immersion est totale, car les médecins peuvent

se parler et s'entendre, rendant l'échange fluide, mais dépendant de la qualité des connexions internet.

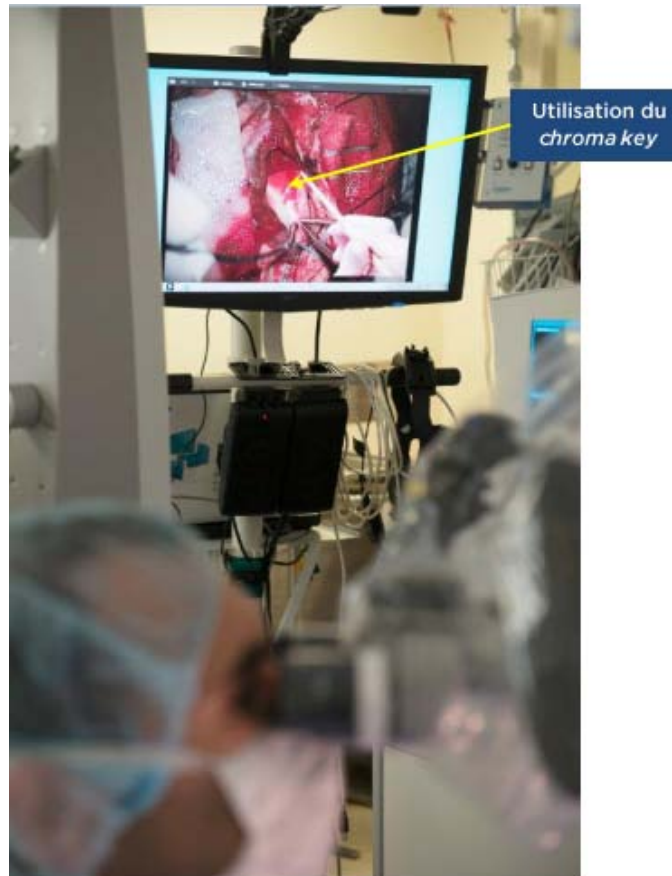


Figure 60: main du superviseur superposée à l'image sur l'écran[85]

Nous pouvons ainsi voir l'une des nombreuses utilisations possibles de la télémedecine et de la télésanté, toujours dans le souci de procurer au patient le meilleur soin possible. Grâce à cette interaction de téléassistance, les chirurgiens peuvent s'assurer qu'en tout temps qu'ils sont minimalement invasifs.

4. La révolution de la robotique

Au début des années 1990, les premiers prototypes de robots spécifiquement conçus pour la chirurgie ont été développés. Ceux-ci présentent des architectures mécaniques adaptées au geste chirurgical à réaliser. Certains d'entre eux sont couplés à un système d'imagerie médicale. À la différence du robot industriel, l'homme coopère en permanence (le chirurgien) ou interagit (le patient) avec le robot chirurgical. Des contraintes et des spécifications sévères doivent donc être respectées dans la conception de ses différents composants (mécaniques, électriques, logiciels) pour qu'ils soient intrinsèquement sûrs de fonctionnement.[86]

Parmi ces premiers robots chirurgicaux, on peut citer, par exemple, le robot porte-endoscope AESOP (Automated Endoscopic System for Optimal Positioning), commercialisé en 1994 par la société californienne Computer Motion (rachetée en 2003 par Intuitive Surgical), ou encore le robot de neurochirurgie Neuromate qui a été développé en 1996 par la société française IMMI (commercialisé depuis 2008 par la société Renishaw). À cette époque, le concept de téléopération (ou télémanipulation), développé après la Seconde Guerre mondiale pour les besoins de l'industrie nucléaire, a été transposé à la chirurgie endoscopique mini-invasive.[28]



Figure 61: Robots AESOP et Neuromate.

Le grand challenge dans la conception des outils endoscopiques, mini invasifs et de chirurgie assistée par la robotique sont similaires. Le neurochirurgien doit pouvoir utiliser ses outils dans des espaces confinés. Si l'instrument est trop large, le mouvement sera difficile, si il

est trop petit, il sera difficile à contrôler. Le design suppose donc un équilibre entre la puissance et la taille. Un autre facteur contraignant est la dimension de l'instrument : le diamètre et la longueur vont déterminer sa flexibilité. Mise à part les facteurs mécaniques, d'autres éléments sont à prendre en compte quand au choix du robot :

Le feedback haptique, c'est-à-dire la sensation cutanée permettant une meilleure immersion. Les robots d'aujourd'hui contiennent de plus en plus de senseurs, permettant de transmettre aux mains du chirurgien les sensations telles qu'ils les auraient perçues s'il opérait directement au niveau du patient. Les vibrations et les reliefs sont de mieux en mieux perçus, permettant ainsi de déterminer la force avec laquelle l'instrument doit être manipulé. Il s'agit d'un feedback de proprioception, ou le robot devient le prolongement du corps du chirurgien, et celui-ci ressent la position des bras du robot dans l'espace de façon de mieux en mieux distincte.[87]

Enfin, la visualisation reste le point le plus important à développer. Car tant que le feedback haptic est limité, le chirurgien compte sur le feedback visuel pour prendre les décisions. Or jusqu'à très récemment, les chirurgiens devaient faire face au problème de profondeur qui est perdue lors de l'utilisation de l'endoscopie. En effet, contrairement au microscope, l'endoscope donnait une image plane, et c'était au neurochirurgien de réussir à déterminer les différents plans de l'image. Actuellement, de plus en plus de systèmes d'endoscopie 3D sont disponibles, incluant la caméra stéréoscopique.

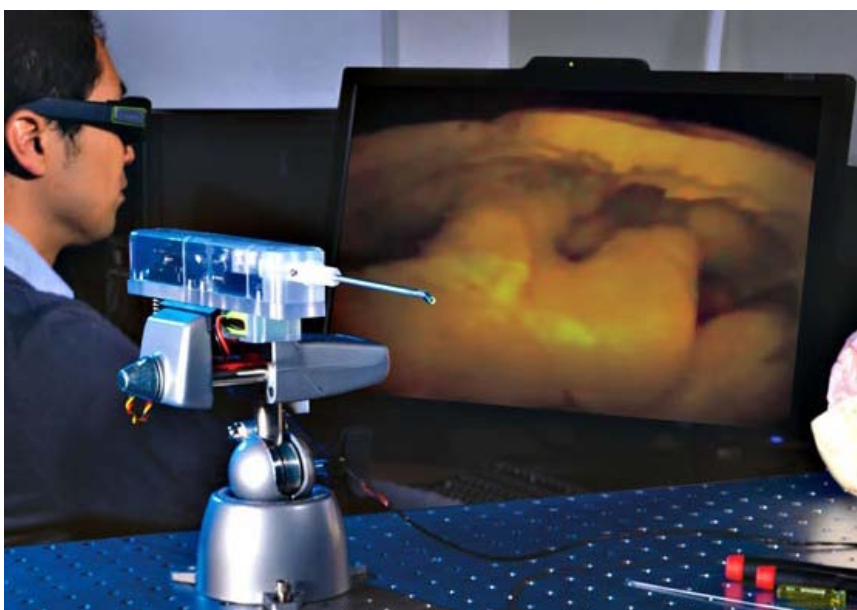


Figure 62: Caméra stéréoscopique

Avec la robotique améliorant la capacité des neurochirurgiens à élargir leur champ de pratique, rendant la pratique de la chirurgie plus satisfaisante, le défi est de fournir un élément permanent de nouvelles technologies. Les neurochirurgiens doivent relever le défi de non seulement intégrer les nouvelles technologies, mais veiller à l'amélioration des résultats, formation sur la sécurité, la gestion des dysfonctionnements robotiques, et en intégrant les technologies disponibles de façon plus large dans les centres hospitaliers. Tout comme la chirurgie stéréotaxique est devenue une partie intégrante de la formation neurochirurgicale, les programmes devront bientôt tenir compte de la nécessité de fournir une formation dans ces adjonctions robotisées et automatisées de plus en plus sophistiquées avec un potentiel important en termes de croissance et d'incorporation de la robotique de pointe, l'avenir de notre domaine semble être très prometteur.

5. Nanotechnologie et implants cérébraux

« Le 13 avril 2016, un homme tétraplégique a retrouvé l'usage de ses membres supérieurs grâce à un implant cérébral ». Cette phrase digne d'un roman de science fiction est une tout a fait réelle aujourd'hui. L'équipe du Dr Ali Rezai de l'Ohio State University a développé un implant cérébral sous forme de micro-puce qui a été implantée dans le cortex moteur de leur patient. Un

transmetteur placé au niveau de la nuque du patient permet de court circuiter le circuit neuronal et de traduire les signaux électriques émis par les cellules corticales du patient quand il « pense » à bouger ses bras. Ces signaux sont alors transmis vers des électrodes de stimulations situées sur les bras du patient qui vont bouger les muscles concernés. Ces électrodes sont actuellement reliées au transmetteur par des fils, ce qui rend le système un peu contraignant, mais avec l'évolution de la technologie sans fil, des systèmes plus discrets seront bientôt disponibles. « Votre cellulaire sera relié à votre manche. Ceci est une révolution qui permettra aux patients tétraplégiques de prendre leur vie entre leurs propres mains...littéralement ».

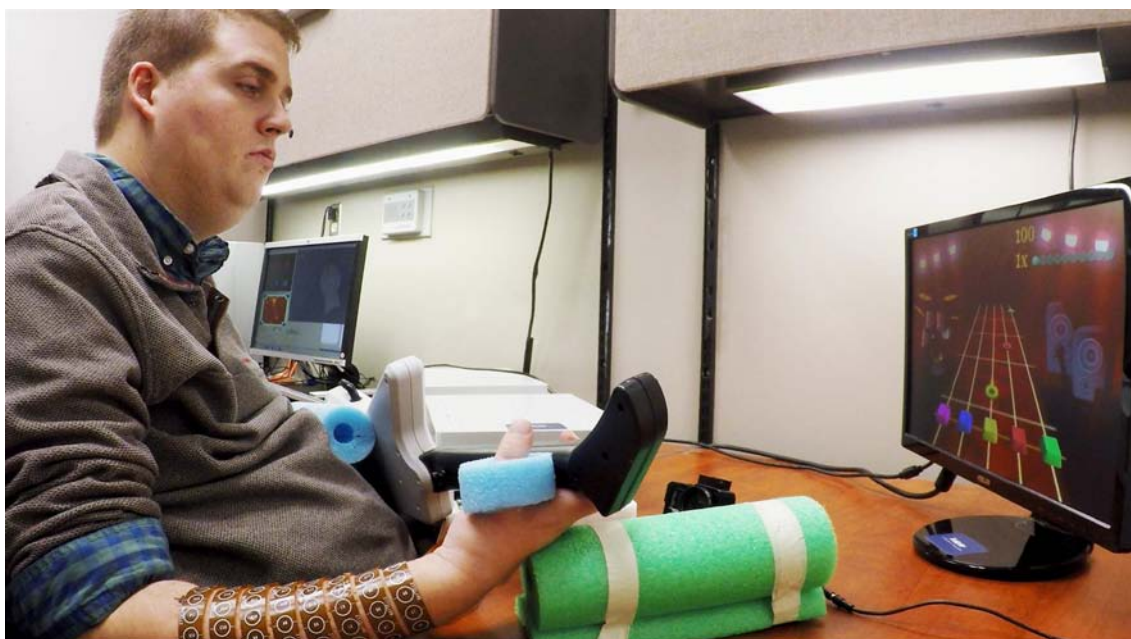


Figure 63: Premier patient tétraplégique à pouvoir bouger ses bras par la pensée.

Avec les avancées actuelles des nanotechnologies et de leurs applications en médecine, un nouveau questionnement éthique émerge : la pertinence de l'augmentation des capacités humaines. La nano-médecine pouvant être la source de nombreuses hypothèses, dont s'enthousiasme le discours transhumaniste. Il faut différencier le fait de soigner, d'améliorer, de modifier ou d'augmenter le corps humain. Ce travail effectué, il sera ensuite possible de proposer quelques pistes de réflexion éthique sur l'interaction entre nano-médecine et augmentation des capacités humaines, sur les enjeux médicaux, socio-économiques, psycho-anthropologiques et théologiques.

Grâce à l'évolution de procédés de microfabrication, les chercheurs repoussent les limites de la taille et des capacités des robots pour qu'ils puissent contribuer à améliorer le bien être de l'Homme. Les micro-robots apparaissent comme des outils prometteurs pour l'innovation de nombreuses applications biomédicales, comme la manipulation de cellules, le diagnostic ou la livraison ciblée de médicaments. Les premiers efforts des scientifiques ont été de trouver des solutions et des méthodes de locomotion et d'actionnement appropriés à la navigation dans le micromonde, et plus spécifiquement à l'intérieur du corps humain aussi bien pour le ciblage thérapeutique que pour de futurs implants biomédicaux. En particulier, l'actionnement magnétique semble, aujourd'hui, être la méthode la mieux adaptée pour les applications in vitro et in vivo du fait que le champ magnétique est inoffensif pour les humains et les micro-organismes.

Pour atteindre des dimensions encore plus petites des nanomoteurs sont actuellement investigués pour renforcer l'efficacité des microrobots. Cependant, beaucoup de ces microrobots sont encore des curiosités de laboratoire, même si certains sont déjà testés sur des animaux. Avec davantage de recherches, certains d'entre eux pourraient dans un futur proche permettre de mieux diagnostiquer, délivrer une dose très ciblée de médicament, éliminer un caillot de sang ou encore faire une biopsie de tissu. Ces microrobots pourraient permettre de diagnostiquer les maladies plus tôt et cibler plus précisément les thérapies. Pour réaliser ces ambitions, il reste encore à surmonter de nombreux obstacles. Aux échelles microscopiques presque tous les aspects de la robotique ont dû être repensés pour parvenir à cet exploit. Il faut veiller à vérifier que les microsystèmes conçus ne soient pas nocif pour la santé. Il faut également pouvoir suivre le

microrobot à l'intérieur du corps, et s'assurer qu'il se désintègre naturellement dans le corps en toute sécurité. [88]

Enfin, la microrobotique pourrait peut-être demain suppléer à des fonctions vitales défaillantes. Grâce à la grande richesse des recherches menées dans les laboratoires académiques et des débuts de l'industrialisation qui émerge, il n'est pas exclu que dans les années avenir nous voyons des dispositifs micro ou nanorobotiques devenir familiers. Nous nous retrouvons avec un optimisme cautionné pour la technoscience de la chirurgie robotisée, qui semble promettre de grands avantages et de bons résultats pour le patient. Bien que la durée de l'intervention soit plus élevée, le temps de récupération est plus court. Evidemment avec l'arrivée de nouvelles technologies, les préoccupations éthiques auxquelles devront faire face les neurochirurgiens seront plus complexes. L'une de ces questions est celle de l'implantation de microrobots dans le cerveau. Est-il éthiquement acceptable de vouloir améliorer le corps humain ? Sur quelle référence le neurochirurgien devra-t-il se baser pour décider si oui ou non il est convenable de remplacer une partie d'un organe fonctionnant normalement, pour le rendre plus performant juste parce que son patient le réclame ? Les neurochirurgiens doivent se poser ce type de question des maintenant, car au rythme avec lequel évolue la technologie, ces questions risquent de devenir très vite une réalité.[89][88]

6. Interface cerveau machine



Figure 77 : Interface cerveau machine

Les Interfaces Cerveau-Machine sont des dispositifs permettant d'instaurer un canal de communication entre le cerveau humain et le monde extérieur sans utiliser les voies usuelles nerveuses et musculaires. Le développement de tels systèmes se situe à l'interface entre le traitement du signal, l'apprentissage statistique et la neurophysiologie.[90]

Historiquement, la fonction cérébrale a été conceptualisée comme un cadre basé sur des fonctions localisées. Cependant, un nombre croissant de preuves, notamment révélées par la chirurgie éveillée, soutient une homotopie (délocalisation) et une organisation flexible de celle-ci. Celle-ci a permis de rapporter l'absence d'un déficit neurologique permanent après résections chirurgicales massives de tissu cérébral en zone éloquente ; soulignant l'énorme potentiel en plasticité du cerveau.[42]

La structure d'une ICM comprend un système d'acquisition et de traitement des signaux cérébraux, un système de classification puis de traduction de ces signaux en commande (écriture sur écran, mouvement de fauteuil roulant ou de prothèse...).

Concrètement, l'utilisateur focalise son attention sur une stimulation extérieure de son choix, ou bien imagine effectuer un mouvement. Cela génère une activité cérébrale caractéristique et mesurable à l'aide de capteurs. Ces signaux sont transmis à un ordinateur qui les analyse pour en extraire les données utiles, puis les transforme en commande pour la machine (prothèse, exosquelette, fauteuil roulant, interface logicielle, voix artificielle...).

Ces systèmes fonctionnent le plus souvent en boucle fermée (ou boucle de rétroaction), permettant à l'utilisateur de progresser dans la maîtrise de l'ICM. L'utilisateur observe le résultat de sa commande cérébrale, puis adapte sa pensée, affinant peu à peu la précision de l'action produite par le système. Les recherches s'inspirent aussi des algorithmes d'apprentissage automatique pour rendre la machine adaptative et capable d'affiner son interprétation des activités cérébrales de l'utilisateur au cours du temps.

L'utilisation de ces interfaces n'est pas toujours intuitive et la phase d'adaptation et d'apprentissage peut être longue pour parvenir à maîtriser l'outil. Certaines études estiment que la part de la population qui ne peut réussir à contrôler les systèmes actuels pourrait atteindre 30%. Ceci explique en partie pourquoi, malgré les récents progrès de ce domaine de recherche, ces applications ne sont pas encore disponibles sur le marché.

La première étape nécessaire au fonctionnement d'une ICM consiste à enregistrer l'activité cérébrale. Le plus souvent, des électrodes sont placées sur le crâne, sur le cortex ou dans le cerveau, afin d'enregistrer les signaux électriques émis par les neurones à l'occasion d'une pensée particulière.

Il existe ainsi trois modes d'enregistrement :

- Invasif : Une grille d'électrodes est implantée dans le cortex. Elle enregistre les signaux d'une population de neurones avec une très grande précision spatiale, mais cette méthode est encore associée à un risque de complications et de perte de signal à long terme. Elle n'a été jusqu'ici testée que chez un très faible nombre de patients volontaires, aux Etats-Unis.
- Semi-invasif : Une grille d'électrodes est placée sous la dure-mère, la membrane qui entoure le cerveau juste sous la boîte crânienne. La résolution spatiale est un peu moins bonne qu'avec une implantation dans le cortex, mais les risques de complication sont moindres et des applications médicales sont rapidement envisageables. Une équipe française a récemment développé un implant de ce type (Wimagine), composé de deux lots de 64 électrodes sans fil.[91]

- Non-invasif : Le patient porte un casque en tissus équipé de multiples électrodes pour mesurer l'électroencéphalogramme (EEG). La résolution spatiale est limitée et la durée d'enregistrement ne dépasse guère la journée. Toutefois ce système est peu cher, facile d'utilisation et permet d'envisager de nombreuses applications, y compris pour le grand public. De fait, c'est aujourd'hui le mode d'enregistrement le plus utilisé.

Le choix du mode d'enregistrement dépend de l'objectif recherché et des applications. Dans tous les cas, les électrodes peuvent être retirées en cas de problème.

Les électrodes utilisées pour l'enregistrement sont reliées à un logiciel externe, qui classe, analyse et interprète les signaux cérébraux, puis les restitue sous forme de commandes qu'exécute la machine contrôlée. Selon la tâche à effectuer grâce à l'ICM, les signaux cérébraux enregistrés sont plus ou moins nombreux et profonds, et plus ou moins difficiles à traiter. Plusieurs dimensions rentrent en compte dans l'analyse : la durée des signaux, leur fréquence et leur répartition dans l'espace. Un prétraitement et un filtrage permettent de débarrasser les signaux enregistrés du bruit de fond. Le signal caractérisant l'intention est ensuite extrait, et ses composantes sont classées pour ne conserver que les informations utiles.[92]

Toutefois, ces réalisations technologiques sont insuffisantes pour qu'une BCI restaure une fonction spécifique, à moins que les aires cérébrales impliquées dans cette fonction soient bien comprises. Des questions fondamentales concernant ces réseaux fonctionnels font débat. Par exemple, est-il possible de subdiviser une tâche cognitive en sous-tâches élémentaires séparées, sachant que chacune est associée à un sous-réseau distinct dans l'espace? La stimulation électrique directe (SED) est un moyen efficace afin d'objectiver cette dissociation spatiale. A cet effet, la SED est appliquée chez des sujets en condition éveillée afin d'induire des déficits transitoires permettant la compartimentalisation des tâches cognitives.

Hochberg et ses collègues ont utilisé un éventail de microélectrodes implantés dans M1 (primary motor cortex) de patients tétraplégiques pour connecter l'activité corticale à un bras robotisé[93]. Cette étude a fourni une démonstration importante du concept d'interface-machine, mais les patients ont été incapables de parvenir à une bonne précision dans le contrôle du bras

robotisé. Cette observation suggère que l'enregistrement de M1 uniquement n'est pas suffisant pour capturer tous les détails des mouvements volontaires. Afin d'améliorer la performance de cette prothèse neurale, il serait judicieux d'implanter plusieurs zones du cerveau avec des tableaux d'enregistrement codant pour les sous-parties distinctes du mouvement intentionnel, au lieu de M1 uniquement (BCIM interface cerveau-ordinateur multiple). Dans une autre perspective, nous pouvons envisager des dispositifs BCI (interface cerveau-ordinateur) chez des patients aphasiques suite à un accident vasculaire cérébral, afin de rétablir la communication endommagée par l'ischémie de la substance blanche. Il serait possible de mettre en place une interface cerveau-ordinateur-cerveau (BCBI): il s'agirait de deux dispositifs d'enregistrement placés dans deux zones déconnectées mais encore fonctionnelles, et de façonner un modèle de communication, rétablissant ainsi un trajet bidirectionnel synchronisé entre elles.

De nombreuses études ont contribué à élucider la question de l'interdépendance des fonctions motrices et linguistiques. Fait à noter, les réseaux de mentalisation et d'émotion peuvent également être cartographiés grâce à cette méthode[94]. La combinaison de cette méthodologie avec des enregistrements neuronaux est actuellement la meilleure façon de caractériser anatomiquement et électrophysiologiquement chaque sous-réseau d'une fonction élémentaire. Toutefois, il est prévu que la modélisation informatique jouera un rôle essentiel dans l'analyse des données expérimentales.

Les études de la stimulation électrique directe en condition éveillée ont fourni des informations importantes sur l'organisation du système moteur chez les êtres humains. Des éléments supplémentaires ont été fournis par la modélisation informatique. Nous suggérons néanmoins qu'afin de bénéficier au mieux des techniques de BCI, des recherches plus poussées sur le système moteur chez l'homme doivent être conduites[95].

Cependant l'interface cerveau machine pose un questionnement éthique évident : Ne risquons nous pas de tomber dans un modèle abusif tant sur le plan pratique qu'existential ? Ne devrions-nous pas redouter que ces découvertes spectaculaires puissent un jour être utilisées à mauvais escient ? Ne compromettraient elles pas davantage les inégalités existantes ? N'aboutirait-on pas à une emprise des machines aux dépens de l'humanité ?[42]



Figure 78 : Robot neuroguidé

7. De la lame, à l'aiguille à... rien ! Vers une chirurgie non invasive, à 0% de saignement.



Figure 64: Appareil de MRgFUS

Voici le scénario par lequel tout a commencé : Une patiente est hospitalisée pour ablation de sa tumeur mammaire. Elle est installée en décubitus dorsal sur une table spéciale contenant de l'eau. L'eau sera ici le moyen de diffusion des ultrasons. Le sein concerné est suspendu dans l'eau

à travers une ouverture dans la table. Un tableau de bord comprenant plusieurs transducteurs ultrasoniques robotisés est actionné sous la direction du chirurgien. En utilisant les coordonnées déterminées à l'avance, les transducteurs ciblent précisément la tumeur profondément dans le tissu. En quelques secondes, les ultrasons traversent l'interface aqueuse, et convergent leur énergie pour chauffer le tissu oncogène. Les transducteurs à ultrasons répètent la procédure jusqu'à ce que la tumeur soit complètement brûlée. Les ondes ultrasonores sont étroitement concentrées, de façon à ce qu'aucune lésion ne soit faite au tissu avoisinant. Il n'y a pas d'incision, pas de cicatrice à guérir, pas de sang et pas d'hospitalisation prolongée. Ce scénario, est un aperçu réaliste de l'avenir de la chirurgie conçu par le Chauhan ingénieur des systèmes et spécialiste de la robotique médicale à l'Université Monash. Ce type de chirurgie à ultrason est expérimental, même si un prototype a été développé et les brevets ont été déposés en 2014. Aussi spectaculaire que ce ci puisse sembler, ce n'est qu'une suite logique des recherches en robotique chirurgicale. Le Pr. Chauhan a un intérêt particulier pour le développement d'une neurochirurgie complètement non invasive, sans incision. « Si il existe un organe qui a besoin de la plus grande précision quant à son approche, c'est bien le système nerveux central. Opérer dans cette zone représente le plus haut degré de difficulté pour le chirurgien qui vise à être le moins invasif possible » dit-elle.



Figure 80 : Harvey, mannequin de simulation cardiorespiratoire (wiki)

Pour modéliser sa procédure, le professeur Chauhan s'est inspirée de “Harvey” le mannequin de simulation cardiorespiratoire utilisé par les étudiants de médecine, pour développer son propre mannequin qui simulera le mouvement des organes. Ceci aidera les robots mini invasifs à « apprendre » le mouvement des organes et enregistrer ses données dans leur système d'exploitation, afin de garantir un meilleur résultat et permettre en même temps d'épargner les animaux qui auraient du être sacrifiés pour les expérimentations. [96]

L'idée du professeur Chauhan n'a pas tardé à être appliquée. En juillet 2014, une équipe du CHU pour enfants de Zurich avait terminé une étude visant à tester l'utilisation de la chirurgie transcrânienne et non invasive par ultrasons guidés par résonance magnétique (connue également sous le nom de technologie MRgFUS). 10 patients adultes diagnostiqués avec des douleurs neuropathiques chroniques ont subi avec succès une intervention chirurgicale non invasive d'ablation cérébrale profonde (ablation de la partie latéro-centrale du thalamus) à l'aide de la technologie MRgFUS. Au cours d'un suivi échelonné sur trois mois, une amélioration dans les scores de douleur de ces patients ainsi qu'une réduction du recours aux analgésiques sans effet indésirable ont été observées. Cette étude qui consiste à tester les ultrasons concentrés avec

intervention non invasive transcrânienne comme modalité de traitement des troubles fonctionnels cérébraux a été, dans le monde, une première du genre.[97][39]

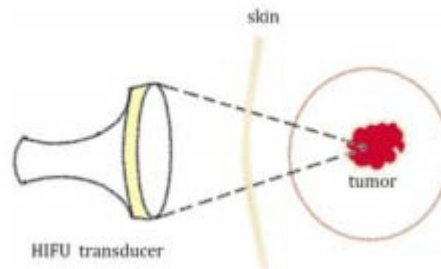


Figure 81 : Principe du MRgFUS

L'obstacle majeur de la MRgFUS dans le cadre du traitement des tumeurs cérébrales est la boîte crânienne (osseuse) car le faisceau concentré d'ultrasons est perturbé et une grande partie de l'énergie absorbée par l'os, mais ceci a rapidement été détourné par l'utilisation d'une plus grande source, plus puissante et plusieurs applications de cette méthode ont été déterminées : La perturbation de la barrière hémato encéphalique pour la « livraison » de thérapie, le traitement de tremblement essentiel pharmaco résistant sur un groupe pilote de 15 patients avec une amélioration de 54.9 à 24.3 du score initial[98]. Trois patients porteurs de glioblastome ont été traités par cette technique, bien qu'elle n'ait pas été efficace pour la thermocoagulation... Aujourd'hui, plusieurs essais d'innocuité et d'efficacité de cette technique sont effectués à travers le monde, pour en élargir le champ d'application et déterminer toutes les indications.[99]

CONCLUSION

L'approche mini invasive au service de neurochirurgie du CHU de Marrakech a progressé parallèlement aux progrès techniques que l'équipe a su intégrer dans son arsenal thérapeutique. Bien que l'approche mini invasive en chirurgie cérébrale se trouve bien plus développée que celle de la chirurgie du rachis, les deux doivent faire face à tous les challenges techniques et économiques présents au Maroc. Néanmoins, l'équipe de neurochirurgie a su encourager cette approche autant que possible. Elle est devenue audacieuse, permettant nombre d'interventions se soldant d'une très faible mortalité, et d'une morbidité négligeable, à la limite de nos observations.

Car le cerveau est, et demeure encore, un sanctuaire, dans lequel le neurochirurgien s'aventure à pas de géant, dépassant son rôle de thérapeute, pour revêtir celui d'explorateur de l'individu. On ne se contente pas de guérir, qu'on essaie déjà d'améliorer l'homme, par des techniques déviées ou nouvelles comme la bionique. On s'aperçoit que notre cerveau se dévoile aux autres, alors qu'on s'ignore soit même, grâce à l'imagerie. Jusqu'où la science peut-elle aller avant que le neurochirurgien ne commence à s'interroger sur les répercussions de ses actes?

ANNEXES

ANNEXE 1: SINO–NASAL OUTCOME TEST

ID.: _____

SINO–NASAL OUTCOME TEST (SNOT-20)

DATE: _____

Below you will find a list of symptoms and social/emotional consequences of your rhinosinusitis. We would like to know more about these problems and would appreciate your answering the following questions to the best of your ability. There are no right or wrong answers, and only you can provide us with this information. Please rate your problems as they have been over the past two weeks. Thank you for your participation. Do not hesitate to ask for assistance if necessary.

	No problem	Very mild problem	Mild or slight problem	Moderate Problem	Severe Problem	Problem as bad as it can be	5 Most Important Items
1. Considering how severe the problem is when you experience it and how frequently it happens, please rate each item below on how "bad" it is by circling the number that corresponds with how you feel using this scale: →							
1. Need to blow nose	0	1	2	3	4	5	☐
2. Sneezing	0	1	2	3	4	5	☐
3. Runny nose	0	1	2	3	4	5	☐
4. Cough	0	1	2	3	4	5	☐
5. Post-nasal discharge	0	1	2	3	4	5	☐
6. Thick nasal discharge	0	1	2	3	4	5	☐
7. Ear fullness	0	1	2	3	4	5	☐
8. Dizziness	0	1	2	3	4	5	☐
9. Ear pain	0	1	2	3	4	5	☐
10. Facial pain/pressure	0	1	2	3	4	5	☐
11. Difficulty falling asleep	0	1	2	3	4	5	☐
12. Wake up at night	0	1	2	3	4	5	☐
13. Lack of a good night's sleep	0	1	2	3	4	5	☐
14. Wake up tired	0	1	2	3	4	5	☐
15. Fatigue	0	1	2	3	4	5	☐
16. Reduced productivity	0	1	2	3	4	5	☐
17. Reduced concentration	0	1	2	3	4	5	☐
18. Frustrated/restless/irritable	0	1	2	3	4	5	☐
19. Sad	0	1	2	3	4	5	☐
20. Embarrassed	0	1	2	3	4	5	☐

2. Please mark the most important items affecting your health (maximum of 5 items) _____ ↑

ANNEXE 2: Check list BST

- Vérifier dossier :
 - Bilan peropératoire : TP, TCK, NFS, Glycemie, uree et creat
 - Prémédication du patient : Atarax 50 mg
- CD vierge, accord scanner et graveur CD en marche
- Patient a jeun
- Bonne voie veineuse
- Anneau pilier et vis dans cedex pendant 30 minutes et incliner la boîte
- Sur guéridon :
 - Compresses stériles
 - Champ stérile
 - Blouse stérile
 - 4 paires de gants 7,5
 - Xylocaine 2%
 - Seringue 20 cc
 - 2 L de sérum physiologique 0,9%
 - Bétadine jaune
 - Lame de Bistouri numero 23
- Vérifier stérilisation de la boîte d'instruments et moteur.
- Sur la table opératoire :
 - Cire a os, 3 cupules, seringue 20 cc, porte aiguille et fil nylon 1 / 0
- Fin de l'intervention :
 - Faire désinfecter le matériel dans steranios 2%
 - Lavage du matériel
 - Ranger le matériel.
 - Recharger le moteur + le Formol

RESUMES

RESUME

L'évolution de la science dans le domaine des technologies de la santé a fait de l'approche mini invasive un sujet d'actualité qui touche de près l'équipe de neurochirurgie du CHU Mohammed VI de Marrakech. Bien plus qu'une technique, c'est un concept et une philosophie qu'ils ont choisi d'adopter très précocement afin de garantir le meilleur soin possible à leurs patients, avec un très bon résultat autant sur le plan pronostique, fonctionnel et esthétique.

Notre travail est une étude rétrospective descriptive s'étalant sur 10 ans, de Janvier 2004 à Décembre 2013 d'une série de 222 patients qui ont été opérés par approche mini invasive tel que suit : 122 ventriculocisternostomie; 50 Endoscopies transphénoïdales ; 8 biopsies stéréotaxiques; 20 chirurgies cérébrale éveillées ; 5 approches keyhole transsaurcilière ; 13 hernies lombaires par endoscopie ; 3 vissages de l'odontoïde ; 1 traitement percutané de spondylolisthésis. L'expérience du service a été très satisfaisante, avec des résultats généralement comparables à la littérature autant sur le plan clinique que fonctionnel. La durée d'intervention et le temps de récupération postopératoire étaient sensiblement diminués par l'adoption de cette approche. Ainsi, le contrat de préservation de l'organe et de la fonction a été rempli par l'équipe chirurgicale, répondant ainsi à la définition de chirurgie mini invasive.

Au terme de ce travail, nous pouvons conclure que l'approche mini invasive en neurochirurgie s'avère indispensable, améliorant le qualité de vie des patients et diminuant les durées d'intervention et d'hospitalisation, avec un résultat comparable au techniques conventionnelles. De plus, en vue des avancées rapides en matière de technologie et d'innovation, il devient nécessaire de former les générations de neurochirurgiens à venir à ces nouvelles techniques, et encore plus, leur apprendre à s'adapter en restant critique envers les avancées technologiques qui leur sont proposées. Car aujourd'hui, bien plus que l'adoption de nouvelles technologies de plus en plus performantes et de plus en plus petites, les nouvelles frontières poussent à se poser de nouvelles questions sur l'éthique et la philosophie neurochirurgicale.

ABSTRACT

Minimally invasive approach is becoming more and more present in the neurosurgery department at the Mohammed VI university hospital, Marrakech, Morocco. The neurosurgeons have made it their priority to give the best care possible for their patients, adopting and improving the minimally invasive neurosurgery on every aspect: technical, conceptual and philosophical.

Our work is a 10 years retrospective descriptive study, concerning 222 patients who underwent surgery using a minimally invasive approach as follows : 122 ventriculocysternostomy ; 50 endoscopic transsphenoidal approach; 8 stereotactic surgeries; 20 awake craniotomies ; 5 keyhole eyebrow approach; 13 endoscopic approach of lumbar disc herniation ; 3 odontoid screw fixation ; 1 percutaneous treatment of spondylolisthesis. The experience of the neurosurgery team was satisfying on both the clinical and the functional aspect. The operating time and recovery time were considerably reduced by the use of this approach. Thus the contract of preserving the function and the organ was fully filled by the surgical team, thereby meeting the definition of minimally invasive surgery.

Following this work, we can conclude that the minimally invasive approach in neurosurgery proves to be essential, improving the patient's quality of life and reducing intervention times and hospital stay, with similar result to conventional techniques. Moreover, in view of rapid advances in technology and innovation, it becomes necessary to train future generations of neurosurgeons to these new techniques, and more, teach them how to adapt while remaining critical of technological advances offered to them. Because today, much more than the adoption of new technologies increasingly powerful and increasingly smaller, we'll be pushing boundaries to ask new questions about ethics and neurosurgical philosophy.

ملخص

تطور العلم في مجال تقنيات الصحة أعطى للمقاربة الأقل اجتياحا أهمية كبيرة حيث أصبحت موضوع العصر الذي يمس على وجه السواء فريق جراحة الدماغ و الأعصاب بمستشفى محمد السادس بمراكش. بغض النظر عن كونها تقنية حديثة فهي مفهوم و فلسفة اختار هذا الفريق تبنيها من أجل ضمان احسن علاج لمرضاها مع نتيجة جد جيدة سواء على المستوى الوظيفي أو الجمالي.

عملنا هو درلسة رجعية تمتد على 10 سنة من يناير 2004 الى دجنبر 2013 لسلسلة تضم 222 مريضا عولجوا بالتقنية الجراحية الأقل اجتياحا كالتالي : 122 وصل بالصهرج عن طريق التنظير الداخل؛ 50 جراحة انفية عن طريق التنظير؛ 8 توضع تجسمي؛ 20 جراحة مستيقظة للدماغ؛ 5 عملية جراحية بتقنية ثقب امفتاح؛ 13 علاج نظري داخلي لانفتاق القرص الفقري؛ 3 علاج بمسمار أمامي للفترة الثانية؛ 1 علاج عن طريق الجلد للانزلاق الفقري. تجربة القسم كانت مرضية مع نتائج مشابهة لسلسلات أخرى سواء على السريري أو الوظيفي. هاته التقنية مكنتنا من تقليص الوق الازم للجراحة و مدة المعلابة مع الوفاء بالوعد الذي يخص على الحفاظ العضو و الوظيفة.

في نهاية هذا العمل يمكن استنتاج انه لا يمكن الاستغناء عن تقنية المقاربة الأقل اجتياحا في مجال جراحة الدماغ و الأعصاب التي تحسن جودة عيش المرضى و تقليص مدة الجراحة و الاستشفاء و الحفاظ على الوظيفة, مع تحسين النتائج بالمقارنة مع التقنية التقليدية. بالاضافة إلا هذا امام التطور السريع للتكنولوجيا و الاختراعات يحتم تكوين الأجيال الصاعدة من الجراحين من أجل استعمال هاته التقنيات الجديدة و التماسي مع تطورات العصر بدون فقدان الحس النقدي. فاليوم وجب طرح أسئلة جديدة في ما يخص أداب و أخلاقيات و فلسفة جراحة الدماغ و الأعصاب,

BIBLIOGRAPHIE

1. **C. Teo,**
“The concept of minimally invasive neurosurgery,”
Neurosurg. Clin. N. Am., vol. 21, no. 4, pp. 583–584, 2010.
2. **P. Grunert,**
“From the idea to its realization: The evolution of minimally invasive techniques in neurosurgery,” *Minim. Invasive Surg.*, vol. 2013, 2013.
3. **T. J. M Berhouma E Jouanneau,**
“Etat de l’art dans la chirurgie endocrânienne de la base du crane: développement des techniques miniinvasives microchirurgicales et endoscopiques ,”
e-mémoires l’Académie Natl. Chir., 2015.
4. **Z. V. Apuzzo ML, Chandrasoma PT, Cohen D, Zee CS,**
“Computed imaging stereotaxy: experience and perspective related to 500 procedures applied to brain masses.,”
Neurosurgery, vol. 930, no. 20, 1987.
5. **R. G. Fessler, J. E. O’Toole, K. M. Eichholz, and M. J. Perez–Cruet,**
“The Development of Minimally Invasive Spine Surgery,”
Neurosurg. Clin. N. Am., vol. 17, no. 4, pp. 401–409, 2006.
6. **F. D. Yamini B.Refai D. Rubin CM.,**
“Initial endoscopic management of ppineal region tumors and associates hydrocephalus: clinical and literature review.,”
Neurosurg, vol. 100, p. 437’441, 2004.

7. B. SILLHOUETTE,

“Hydrocéphalie à pression normale.,”

Encycl. Médico-Chirurgicale, no.36 neurologie.

8. K. Erradi,

“Place de l’endoscopie en neurochirurgie: experience du service de neurochirurgie du CHU Mohammed VI de Marrakech,”

Universite Mohammed V souissi , 2013.

9. Jones and Al,

“Endoscopic Third Ventriculostomy.,”

Congr. Neurol. Surg., 1990.

10. K. A. Kawsar, M. R. Haque, and F. H. Chowdhury,

“Avoidance and management of perioperative complications of endoscopic third ventriculostomy: the Dhaka experience.,

” *J. Neurosurg.*, pp. 1–6, 2015.

11. W. Grand, J. Leonardo, A. J. Chamczuk, and A. J. Korus,

“Endoscopic third ventriculostomy in 250 adults with hydrocephalus: Patient selection, outcomes, and complications,”

Neurosurgery, vol. 78, no. 1, pp. 109–119, 2015.

12. H. W. S. Schroeder, W.-R. Niendorf, and M. R. Gaab,

“Complications of endoscopic third ventriculostomy.,”

J. Neurosurg., vol. 96, no. 6, pp. 1032–40, 2002.

13. F. R. Charalampaki P. Welschehold S., Conrad J., Perneczky A.,
“Tuomrs of the lateral and third ventiricle: removal under endoscope–assisted keyhole
conditions,”
Neurosurgery, vol. 57:302–311, 2005.
14. S. Obaid, A. G. Weil, R. Rahme, and M. W. Bojanowski,
*Endoscopic third ventriculostomy for obstructive hydrocephalus due to intraventricular
hemorrhage*,
Journal of Neurological Surgery vol. 76, no. 2. 2015.
15. . E. L. MADANI,
“Place de la chirurgie endoscopique dans la pathologietumorale intracrânienne de la ligne
médiane. Expérience duservice de Neurochirurgie CHU Mohammed VI,”
Universite Cadi Ayyadfaculte De Medecine Et De Pharmacie, 2013.
16. A. J. Jankowski R. Simon C., Marchal J.C., Hepner H., Wayoff M.,
“Endoscopic pituitary tumor surgery,”
Laryngoscope, vol. 102 : 198–, 1992.
17. K. A. B. Carrau R.L. Snyderman C.H.,
“Pituitary surgery,”
Otolaryngol Clin North Am, vol. 34: 1143,2001.
18. F. J. Attenello, B. Lee, C. Yu, C. Y. Liu, and M. L. J. Apuzzo,
Supplementing the neurosurgical virtuoso: Evolution of automation from mythology to
operating room adjunct,”
World Neurosurg., vol. 81, no. 5–6, pp. 719–729, 2014.

19. **M. H. Robert Reischa Nicolas Olmo Koechlina, Daniel Simmenb, Márton Eördögha, Hans Rudolf Brinerb,**
“Chirurgie endoscopique ransnasale par voie hino neurochirurgicale,”
SWISS Med. FORUM – FORUM MÉDICAL SUISSE, no. (9):206–209.
20. **R. Susilo, I. Haq, and J. Wahyuhadi,**
“Pure Single Nostril Endoscopic Endonasal Transsphenoidal Hypophisectomy for Pituitary Adenoma: Clinical Series of 50 Cases,”
J. Neurol. Surg. Part B Skull Base, vol. 77, no. S 01, p. P084, Mar. 2016.
21. **S. D. O Briner HR Jones N. Am J Rhinol,**
“ Endoscopic sinus surgery: advantagesof the bimanual technique,” 2005.
22. **P. De Divitiis, Enrico Cappabianca, L. Maria Cavallo, and O. De Divitiis,**
Endoscopic Pituitary Surgery: Anatomy and Surgery of the Transsphenoidal approach to the Sellar Region.
Manfred Tschabitscher, 2001.
23. **P. A. Gardner and A. B. Kassam,**
“ENDOSCOPIC ENDONASAL RESECTION OF ANTERIOR CRANIAL BASE MENINGIOMAS
OBJECTIVE:,”
Skull Base, vol. 63, no. 1, pp. 36–54, 2008.
24. **M. Amer and E. Mokbel,**
Original Article Endoscopic Endonasal Transsphenoidal Approach for Pituitary Adenomas
(Our Experience in Avoiding Complications),”
Egypt. J. Neurosurg., vol. 30, no. 2, pp. 117–122.

25. S. C. H. Hadad G., Bassagasteguy L., Carrau R.L., Mataza J.C., Kassam A.,
“A novel reconstructive technique after endoscopic expanded endonasal approaches:
vascular Laryngos pedicle nasoseptal flap,”
cope, vol. 116, no. 1882–1886, 2006.
26. D. Wilson,
Limited exposure in cerebral surgery. Technical note,”
J Neurosurg, vol. 34:102–106, 1971.
27. V. C. K. Tse, M. Y. S. Kalani, and J. R. Adler,
Techniques of Stereotactic Localization,”
in Principles and Practice of Stereotactic Radiosurgery, New York, NY: Springer New York,
2015, pp. 25–32.
28. C. Faria, W. Erhagen, M. Rito, E. De Momi, G. Ferrigno, and E. Bicho,
Review of Robotic Technology for Stereotactic Neurosurgery,”
IEEE Reviews in Biomedical Engineering, vol. 8. pp. 125–137, 2015.
29. S. Aboutoufayl,
Apport de la biopsie stereotaxique dans la prise en charge des tumeurs cérébrales,”
Faculté de Médecine de Marrakech 2013.
30. [30] Benjelloun H.,
L'apport de la biopsie stéréotaxique en condition IRM dans les processus expansifs
intracrâniens.,”
Faculté de Médecine, Rabat, 1998.

31. M. Ersahin, N. Karaaslan, M. S. Gurbuz, T. Hakan, M. Z. Berkman, O. Ekinici, N. Denizli, and F. V. Aker,
“The safety and diagnostic value of frame-based and ct-guided stereotactic brain biopsy technique,”
Turk. Neurosurg., 2011.
32. S. S. Kaakaji W, Barnett GH, Bernhard D, Warbel A, Valaitis K,
“Clinical and economic consequences of early discharge of patients following supratentorial stereotactic brain biopsy.”
Neurosurg, vol. 94, no. 892–8, 2001.
33. H. Koizumi, H. Oka, S. Sato, S. Utsuki, and K. Fujii,
“Stereotactic biopsy for intracranial lesions using the Leksell system: usefulness of rapid intraoperative diagnosis,”
Kitasato Med J, vol. 43, pp. 26–30, 2013.
34. M. J. Teixeira, E. T. Fonoff, M. Mandel, H. L. Alves, and S. Rosemberg,
“Stereotactic biopsies of brain lesions,”
Arq. Neuropsiquiatr., vol. 67, no. 1, pp. 74–77, 2009.
35. M.–F. W. Perneczky A van Lindert E, Fries G,
Keyhole Concept in Neurosurgery. Stuttgart,”
*Thieme Med. Publ.*2008
36. H. Wang, C. Chen, Z. P. Ye, L. Luo, W. S. Li, and Y. Guo,
“On clipping of anterior communicating artery aneurysm via eyebrow–lateral keyhole approach,”
Int J Clin Exp Med, vol. 8, no. 11, pp. 21114–21121, 2015.

37. K. Mori,

“Keyhole concept in cerebral aneurysm clipping and tumor removal by the supraciliary lateral supraorbital approach.”

Asian J. Neurosurg., vol. 9, no. 1, pp. 14–20, Jan. 2014.

38. J. Paladino, N. Pirker, D. Štimac, and R. Stern–Padovan,

“Eyebrow Keyhole Approach in Vascular Neurosurgery,”

Minim. Invasive Neurosurg., vol. 41, no. 04, pp. 200–203, Dec. 1998.

39. J. D. Magara A, Bühler R, Moser D, Kowalski M, Pourtehrani P,

“First experience with MR-guided focused ultrasound in the treatment of Parkinson’s disease.”

J Ther Ultrasound., vol. 2, no. 11, 2014.

40. Penfield W and Boldrey E,

“Somatic motor and sensory representation in the cerebral cortex of man as studied by electrical stimulation.”

Brain, vol. 60:389–443, 1937.

41. G. Whitaker and H. Ojemann,

“Graded localisation of naming from electrical stimulation mapping of left cerebral cortex.”

Nature, vol. 270:50–51.

42. H. JOUNDI,

“Intérêt de la chirurgie éveillée dans le traitement des tumeurs cérébrales,”

Faculté de médecine et de pharmacie de Marrakech, 2016.

43. Communiqué de presse;

service de communication AP-HM 2012 Chirurgie éveillée du cerveau: première opération au Maroc Intervention réalisée par l'équipe du Pr Philippe Metellus (Pôle neurosciences de l'AP-HM)."

[Online]. Available: http://fr.ap-hm.fr/sites/default/files/files/Communique-et-dossier-de-presse/aphm_chirurgie_eveillee_cerveau_1e_ope_au_maroc.pdf.

44. [44] T.Reithmeier and Al,

"Reithmeier T and al. Neuronavigation combined with electrophysiological monitoring for surgery of lesions in eloquent brain areas in 42 cases: a retrospective comparison of the neurological outcome and the quality of resection with a control group with si,"

Minim Invasive Neurosurg, vol. 46, pp. 65–71, 2003.

45. E. Mandonnet,

Management of diffuse low-grade glioma.,"

Prat. Neurol. – FMC, vol. 5, 2014.

46. Y. L. Chi, X. Y. Wang, H. Z. Xu, Y. Lin, Q. S. Huang, F. M. Mao, W. F. Ni, S. Wang, and L. Y. Dai,

Management of odontoid fractures with percutaneous anterior odontoid screw fixation,"

Eur. Spine J., vol. 16, no. 8, pp. 1157–1164, 2007.

47. E. Mandonnet, P. De Witt Hamer, I. Poisson, I. Whittle, A. L. Bernat, D. Bresson, C. Madadaki, S. Bouazza, R. Ursu, A. F. Carpentier, B. George, and S. Froelich,

"Initial experience using awake surgery for glioma: Oncological, functional, and employment outcomes in a consecutive series of 25 cases,"

Neurosurgery, vol. 76, no. 4, pp. 382–389, 2015.

48. E. De Witte, D. Satoer, H. Colle, E. Robert, E. Visch–Brink, and P. Marin,
“Subcortical language and non–language mapping in awake brain surgery: the use of multimodal tests,”
Acta Neurochir. (Wien)., vol. 157, no. 4, pp. 577–588, 2015.
49. Sartorius CJ and Berger MS.,
“Rapid termination of intraoperative stimulation–evoked seizures with application of cold Ringer’s lactate to the cortex. Technical note.,”
J Neurosurg, vol. ; 88 : 349, 1998.
50. H. Duffau,
“Cartographie fonctionnelle per–opératoire par stimulations électriques directes. Aspects méthodologiques,”
Neurochirurgie, vol. 50, no. 4, pp. 474–483, 2004.
51. J. Guyotat and Al,
“La stimulation corticale per–opératoire des aires du langage sous anesthésie locale préalable à l’exérèse des tumeurs de l’hémisphère dominant.,”
Neurochirurgie, 2001.
52. “Médecine. Les étonnantes évolutions de la neurochirurgie,” 2016.
[Online]. Available: <http://www.entreprises.ouest-france.fr/article/medecine-etonnantes-evolutions-neurochirurgie-13-03-2016-259347>.
53. S. BADDOU,
“La prise en charge chirurgicale de la sciatique par hernie discale lombaire Expérience du service de neurochirurgie du CHU Mohammed VI de Marrakech sur une période de 10 ans,”
Universite Cadi Ayyad Faculte De Medecine De Marrakech, 2013.

54. K. M. . CHAZERAIN P,
Sémiologie des sciatiques discales et non discales.,
EMC no. 7-43. 52. 1997.
55. S. Lee, S. K. Kim, S. H. Lee, W. J. Kim, W. C. Choi, G. Choi, and S. W. Shin,
“Percutaneous endoscopic lumbar discectomy for migrated disc herniation: Classification of
disc migration and surgical approaches,”
Eur. Spine J., vol. 16, no. 3, pp. 431–437, 2007.
56. K. Liu, Y. Song, Z. Li, H. Nie, Q. Kong, and J. Zeng,
“Complications of Percutaneous Endoscopic Lumbar Discectomy via Interlaminar Approach.”
2013.
57. Igor Boyarsky,
“C2 Fractures,”
DO Emergency Room Physician, Kaiser Permanente Southern California. 2008
58. A. L. Buchholz, S. L. Morgan, L. C. Robinson, and B. M. Frankel,
“Minimally invasive percutaneous screw fixation of traumatic spondylolisthesis of the axis,”
Spine, vol. 22, no. May, pp. 459–465, 2015.
59. T. T. Hashizume H, Kawakami M, Kawai M,
“A clinical case of endoscopically assisted anterior screw fixation for the type II odontoid
fracture.,”
Spine (Phila. Pa. 1976), vol. 28:E102–E1, 2003.

60. A. Waschke, N. Berger–Roscher, H. Kielstein, C. Ewald, R. Kalff, and H.–J. Wilke,
“Cement Augmented Anterior Odontoid Screw Fixation is Biomechanically Advantageous in
Osteoporotic Patients With Anderson Type II Fractures,”
J. Spinal Disord. Tech., vol. 28, no. 3, pp. E126–E132, 2015.
61. J. Bohler,
“Anterior stabilization for acute fractures and non–unions of the dens. J Bone Joint Surg Am
64:18–27,”
J Bone Jt. Surg Am, no. 64:18–27.
62. S. M. Kazan S, Tuncer R,
“Percutaneous anterior odontoid screw fixation technique. A new instrument and a cadaveric
study.,”
Acta Neurochir, no. 141:521–524, 1999.
63. G. S. C. Castelain, J.Y. Lazenec,
“Traitement chirurgical des fractures de l’odontoïde par vissage antérieur,”
maitrise orthopédique, vol. N°130.
64. W.–K. Min,
“Anterior Screw Fixation in Type II Odontoid Fractures: Comparison between the Young and
the Elderly.”
Asian J–neurosurg, 2015
65. R. I. Apfelbaum, R. R. Lonser, R. Veres, and a Casey,
“Direct anterior screw fixation for recent and remote odontoid fractures.,”
J. Neurosurg., vol. 93, no. 2 Suppl, pp. 227–36, 2000.

66. A. D. Henry, F. Orth, M. Orth, J. Bohly, and A. Grosse,
“THE JOURNAL OF BONE AND JOINT SURGERY Fixation of odontoid fractures by an anterior screw,” *J Bone Jt. Surg [Br]*, vol. 81, pp. 472–7, 1999.
67. E. H. M. Arand, M. Lemke, L. Kinzl,
“Incidence of complications of the screw osteosynthesis of odontoid process fractures,” *Zentralbl Chir*, vol. 126, pp. 610–615, 2001.
68. A. M. Benali,
“rachis osteosynthese percutanee □ indications, technique chirurgicale et evaluation sur une serie de 14 patients.”
Spine, 2013
69. J. K. Scheer, B. Auffinger, R. H. Wong, S. K. Lam, C. D. Lawton, A. T. Nixon, N. S. Dahdaleh, Z. A. Smith, and R. G. Fessler,
“Minimally Invasive Transforaminal Lumbar Interbody Fusion (TLIF) for Spondylolisthesis in 282 Patients: In Situ Arthrodesis versus Reduction,”
World Neurosurg., vol. 84, no. 1, pp. 108–113, 2015.
70. M. Lopes,
“Les principaux problèmes éthiques liés aux interventions neurochirurgicales,”
Ethics, Med. Public Heal., vol. 1, no. 3, pp. 295–299, 2015.
71. L. B. Likhterman, N. N. Burdenko, and al. L. B. Likhterman,
“Clinical neurosurgery philosophy.”

72. Evens K,
Neuréthique quand la matière s'éveille .
Éditions Odile Jacob; 2009.
73. Dahaene S.,
“«La neuréthique, une nouvelle frontière pour les sciences humaines»
[*lavedesidees.fr*],” 2009. .
74. T. Rokni,
“Bilan d'activité du service de Neurochirurgie CHU Mohammed VI (2002–2013),”
Cadi Ayyad, 2015.
75. P. Lehoux, M. Hivon, B. Williams–Jones, F. A. Miller, and D. R. Urbach,
“How do medical device manufacturers’ websites frame the value of health innovation? An
empirical ethics analysis of five Canadian innovations,”
Med. Heal. Care Philos., vol. 15, no. 1, pp. 61–77, 2012.
76. J. W. Jones, L. B. McCullough, and B. W. Richman,
“SURGICAL ETHICS CHALLENGES The ethics of innovative surgical approaches for well–
established procedures,”
J. Vasc. Surg., vol. 40, no. 1, 2004.
77. D. G. T. Paleologos, Theophilos S. M.D.; Wadley, John P. F.R.C.S.; Kitchen, Neil D. M.D.;
Thomas,
“Clinical Utility and Cost–effectiveness of Interactive Image–guided Craniotomy: Clinical
Comparison between Conventional and Image–guided Meningioma Surgery,”
Neurosurgery, vol. 47, no. 1, pp. 40–48.

78. P. Tandon,

“Neurosurgical education – some thoughts,”

Neurol India, vol. 63, no. 464, p. 7, 2015.

79. F. Drissi, G. Leroux, C. Blanchard, and E. Coron,

“La simulation comme challenge pour l’avenir – comment se former aux outils innovants dans notre pratique?,”

Côlon & Rectum, vol. 8, no. 4, pp. 217–222, 2014.

80. BORNJ.D.,

“LA NEURONAVIGATION ou LA NEUROCHIRURGIE GUIDÉE PAR L’IMAGE,” 2014

. [Online]. Available: <http://medecine.ulb.ac.be/chc/fr/Neuronavigation.html>.

81. H. Vouaillat, B. Debono, J. F. Lepeintre, C. O. D. E. S. Cèdres, C. D. E. S. Cèdres, R. U. E.

Albert, L. Echirolles, P. D. E. Neuroscience, C. Des, and C. Cornebarrieu,

“Chirurgie mini-invasive pour le rachis dégénératif postérieur – nouveau paradigme ou gadget à la mode?,”

Communication, 2010

82. “METRx TM System Surgical Technique.”

83. C. Ducron,

“La téléimagerie : à l’ère de la télé médecine, qu’est-ce que la téléimagerie ?,”

Eur. Res. Telemed. / La Rech. Eur. en Télé médecine, vol. 3, no. 3, pp. 133–135, 2014.

84. HAS,

“Efficience de la télé médecine – état des lieux de la littérature internationale et cadre d’évaluation,” 2011.

85. I. Hammana and L. Lepanto,

“Experimentation de REACTSmd comme outil de téléassistance en neurochirurgie.”

86. Étienne DOMBRE,

“ROBOTIQUE CHIRURGICALE.”

[Online]. Available: <http://www.universalis.fr/encyclopedie/robotique-chirurgicale/2-que-peuvent-faire-les-robots-chirurgicaux/>.

87. J. Doulgeris, S. Gonzalez–Blohm, A. Filis, T. Shea, K. Aghayev, and F. Vrionis,

“Robotics in Neurosurgery: Evolution, Current Challenges, and Compromises.”

Cancer Control J. Moffitt Cancer Cent., vol. 22, no. 3, pp. 352–9, 2015.

88. P. Lintz

, “Enhancement et nanotechnologies,”

Rev. d'éthique théologie morale, vol. n° 286, no. 4, pp. 47–59, 2015.

89. J. P. Sullins,

“Ethical trust in the context of robot assisted surgery,”

2015.

90. R. A. Robison, C. Y. Liu, and M. L. J. Apuzzo,

“Man, mind, and machine: The past and future of virtual reality simulation in neurologic surgery,”

World Neurosurg., vol. 76, no. 5, pp. 419–430, 2011.

91. R. Yudkowsky, C. Luciano, P. Banerjee, A. Schwartz, A. Alaraj, G. M. Lemole, F. Charbel, K. Smith, S. Rizzi, R. Byrne, B. Bendok, and D. Frim,
“Practice on an augmented reality/haptic simulator and library of virtual brains improves residents’ ability to perform a ventriculostomy.”
Simul. Healthc., vol. 8, no. 1, pp. 25–31, 2013.
92. INSERM and F. Berger,
“L’interface cerveau-machine ou "agir par la pensée",”
2012. [Online]. Available: <http://www.inserm.fr/thematiques/technologies-pour-la-sante/dossiers-d-information/l-interface-cerveau-machine-ou-agir-par-la-pensee>.
93. B. al. Hochberg, L.R., Bacher, D., Jarosiewicz,
“Reach and grasp by people with tetraplegia using a neurally controlled robotic arm.”
Nature, vol. 485, pp. 372–375, 2012.
94. G. and al. Herbet,
“Inferring a dual-stream model of mentalizing from associative white matter fibers disconnection.”
Brain, vol. 137, pp. 944– 959, 2014.
95. E. Mandonnet and H. Duffau,
“Understanding entangled cerebral networks: a prerequisite for restoring brain function with brain-computer interfaces *Frontiers in Systems Neuroscience*.”
[Online]. Available: www.frontiersin.org.
96. Catherine Norwood,
“Sound bites in the surgery,
” 2014.

97. Y.-H. Hsiao, S.-J. Kuo, H.-D. Tsai, M.-C. Chou, and G.-P. Yeh,
“Clinical Application of High-intensity Focused Ultrasound in Cancer Therapy,”
J. Cancer, vol. 7, no. 73, pp. 225–231, 2016.
98. Elias WJ Huss D, Voss T, et al,
“A pilot study of focused ultrasound thalamotomy for essential tremor.,”
N Engl J Med., vol. 369, no. 640–8, 2013.
99. . Ghanouni P, Pauly KB, Elias WJ, et al
“Transcranial MRI-Guided Focused Ultrasound: A Review of the Technologic and Neurologic
Applications.,”
AJR Am J Roentgenol., vol. 205, no. 150–9, 2015.



أَقْسِمُ بِاللَّهِ الْعَظِيمِ

أَنْ أَرِاقِبَ اللَّهَ فِي مِهْنَتِي.

وَأَنْ أَصُونُ حَيَاةَ الْإِنْسَانِ فِي كَافَّةِ أَطْوَارِهَا فِي كُلِّ الظُّرُوفِ وَالْأَحْوَالِ بِإِذْلٍ وَسَعِي فِي

اسْتِنْقَاذِهَا مِنَ الْهَلَاكِ وَالْمَرَضِ وَالْأَلَمِ وَالْقَلْقِ.

وَأَنْ أَحْفَظَ لِلنَّاسِ كِرَامَتَهُمْ، وَأَسْتُرَ عَوْرَتَهُمْ، وَأَكْتُمَ سِرَّهُمْ.

وَأَنْ أَكُونَ عَلَى الدَّوَامِ مِنْ وَسَائِلِ رَحْمَةِ اللَّهِ، بِإِذْلٍ رِعَايَتِي الطَّبِيبَةَ لِلْقَرِيبِ وَالْبَعِيدِ، لِلصَّالِحِ

وَالطَّالِحِ، وَالصَّدِيقِ وَالْعَدُوِّ.

وَأَنْ أَثَابِرَ عَلَى طَلَبِ الْعِلْمِ، أَسْخِرَهُ لِنَفْعِ الْإِنْسَانِ . لَا لِأَذَاهِ.

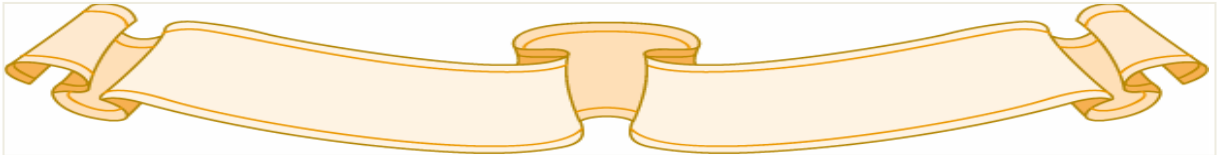
وَأَنْ أَوْقِرَ مَنْ عَلَّمَنِي، وَأُعَلِّمَ مَنْ يَصْغُرَنِي، وَأَكُونَ أَخًا لِكُلِّ زَمِيلٍ فِي الْمِهْنَةِ الطَّبِيبَةِ

مُتَعَاوِنِينَ عَلَى الْبِرِّ وَالتَّقْوَى.

وَأَنْ تَكُونَ حَيَاتِي مِصْدَاقَ إِيمَانِي فِي سِرِّي وَعَلَانِيَتِي، نَقِيَّةً مِمَّا يُشِينُهَا تَجَاهَ اللَّهِ

وَرَسُولِهِ وَالْمُؤْمِنِينَ.

وَاللَّهُ عَلَى مَا أَقُولُ شَهِيدٌ



أطروحة رقم 73

سنة 2016

تطور المقاربة الأقل اجتياحا في المستشفى الجامعي محمد

السادس خلال العقد 2004-2013

الأطروحة

قدمت ونوقشت علانية يوم 2016/05/17

من طرف

الآنسة هدى قديوي

المزودة في 14 يونيو 1990 بطنجة

لنيل شهادة الدكتوراه في الطب

الكلمات الأساسية :

المقاربة الأقل اجتياحا - جراحة ثقب المفتاح - تنظير الدماغ
أداب جراحة الدماغ - الروبوتيات - التوضيع التجسيمي - الجراحة المستيقظة للدماغ - العمود الفقري

اللجنة

الرئيس

س. أيت بنعلي

السيد

أستاذ في جراحة الدماغ والأعصاب

المشرف

م. الغماري

السيد

أستاذ مبرز في جراحة الدماغ والأعصاب

م. غنان

السيد

أستاذ في جراحة الدماغ والأعصاب

م. ع. صمكاوي

السيد

أستاذ في طب التخدير والإنعاش

الحكام