



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

Année 2018

Thèse N° 034

**Intérêt de la neuronavigation en neurochirurgie:  
expérience du service de neurochirurgie de  
L'hôpital Ar-razi CHU Mohammed VI**

**THESE**

PRESENTEE ET SOUTENUE PUBLIQUEMENT LE 14/03/2018

PAR

**Mr. Aissam GRICHE**

Né le 14 Janvier 1992 à Marrakech

**Médecin interne au CHU Mohammed VI de Marrakech**

**POUR L'OBTENTION DU DOCTORAT EN MEDECINE**

**MOTS-CLES**

Neuronavigation – Intérêt – Applications

**JURY**

<b>M.</b>	<b>S. AIT BENALI</b> Professeur de Neurochirurgie	<b>PRESIDENT</b>
<b>M.</b>	<b>M. LAGHMARI</b> Professeur agrégé de Neurochirurgie	<b>RAPPORTEUR</b>
<b>Mme</b>	<b>N. MANSOURI</b> Professeur de Chirurgie Maxillo-Faciale	} <b>JUGES</b>
<b>Mme</b>	<b>A. ZIADI</b> Professeur agrégé d'ANESTHÉSIE-Réanimation	

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

وَقُلْ رَبِّ  
أَدْخِلْنِي مَدْخَلَ صِدْقٍ  
وَأَخْرِجْنِي مَخْرَجَ صِدْقٍ  
وَأَجْعَلْ لِي مِنْ لَدُنْكَ سُلْطَانًا نَصِيرًا



# *Serment d'hippocrate*

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

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

*Je pratiquerai ma profession avec conscience et dignité. La santé de mes malades sera mon premier but.*

*Je ne trahirai pas les secrets qui me seront confiés.*

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

*Les médecins seront mes frères.*

*Aucune considération de religion, de nationalité, de race, aucune considération politique et sociale, ne s'interposera entre mon devoir et mon patient.*

*Je maintiendrai strictement le respect de la vie humaine dès sa conception.*

*Même sous la menace, je n'userai pas mes connaissances médicales d'une façon contraire aux lois de l'humanité.*

*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**

Doyens Honoraires

: Pr. Badie Azzaman MEHADJI

: Pr. Abdelhaq ALAOUI YAZIDI

**ADMINISTRATION**

Doyen

: Pr. Mohammed BOUSKRAOUI

Vice doyen à la Recherche et la Coopération

: Pr. Mohamed AMINE

Vice doyen aux Affaires Pédagogiques

: Pr. Redouane EL FEZZAZI

Secrétaire Générale

: Mr. Azzeddine EL HOUDAIGUI

**Professeurs de l'enseignement supérieur**

<b>Nom et Prénom</b>	<b>Spécialité</b>	<b>Nom et Prénom</b>	<b>Spécialité</b>
ABOULFALAH Abderrahim	Gynécologie- obstétrique	FINECH Benasser	Chirurgie - générale
ADERDOUR Lahcen	Oto- rhino- laryngologie	FOURAJI Karima	Chirurgie pédiatrique B
ADMOU Brahim	Immunologie	GHANNANE Houssine	Neurochirurgie
AIT BENALI Said	Neurochirurgie	KHALLOUKI Mohammed	Anesthésie- réanimation
AIT-SAB Imane	Pédiatrie	KHATOURI Ali	Cardiologie
AKHDARI Nadia	Dermatologie	KISSANI Najib	Neurologie
AMAL Said	Dermatologie	KOULALI IDRISSE Khalid	Traumato- orthopédie
AMINE Mohamed	Epidémiologie- clinique	KRATI Khadija	Gastro- entérologie
AMMAR Haddou	Oto-rhino- laryngologie	LAOUAD Inass	Néphrologie
ARSALANE Lamiae	Microbiologie - Virologie	LMEJJATI Mohamed	Neurochirurgie
ASMOUKI Hamid	Gynécologie- obstétrique B	LOUZI Abdelouahed	Chirurgie - générale
ASRI Fatima	Psychiatrie	MAHMAL Lahoucine	Hématologie - clinique
BENELKHAÏAT BENOMAR Ridouan	Chirurgie - générale	MANOUDI Fatiha	Psychiatrie

BOUAITY Brahim	Oto-rhino-laryngologie	MANSOURI Nadia	Stomatologie et chiru maxillo faciale
BOUGHALEM Mohamed	Anesthésie – réanimation	MOUDOUNI Said Mohammed	Urologie
BOUKHIRA Abderrahman	Biochimie – chimie	MOUTAJ Redouane	Parasitologie
BOUMZEBRA Drissi	Chirurgie Cardio-Vasculaire	MOUTAOUAKIL Abdeljalil	Ophtalmologie
BOURROUS Monir	Pédiatrie A	NAJEB Youssef	Traumato-orthopédie
BOUSKRAOUI Mohammed	Pédiatrie A	NEJMI Hicham	Anesthésie-réanimation
CHAKOUR Mohamed	Hématologie	NIAMANE Radouane	Rhumatologie
CHELLAK Saliha	Biochimie- chimie	OULAD SAIAD Mohamed	Chirurgie pédiatrique
CHERIF IDRISSE EL GANOUNI Najat	Radiologie	RAJI Abdelaziz	Oto-rhino-laryngologie
CHOULLI Mohamed Khaled	Neuro pharmacologie	SAIDI Halim	Traumato-orthopédie
DAHAMI Zakaria	Urologie	SAMKAOUI Mohamed Abdenasser	Anesthésie-réanimation
EL ADIB Ahmed Rhassane	Anesthésie-réanimation	SARF Ismail	Urologie
EL FEZZAZI Redouane	Chirurgie pédiatrique	SBIHI Mohamed	Pédiatrie B
EL HATTAOUI Mustapha	Cardiologie	SOUMMANI Abderraouf	Gynécologie-obstétrique A/B
EL HOUDZI Jamila	Pédiatrie B	TASSI Noura	Maladies infectieuses
ELFIKRI Abdelghani	Radiologie	YOUNOUS Said	Anesthésie-réanimation
ESSAADOUNI Lamiaa	Médecine interne	ZOUHAIR Said	Microbiologie
ETTALBI Saloua	Chirurgie réparatrice et plastique		

### Professeurs Agrégés

Nom et Prénom	Spécialité	Nom et Prénom	Spécialité
ABKARI Imad	Traumato-orthopédie B	FADILI Wafaa	Néphrologie
ABOU EL HASSAN Taoufik	Anesthésie-réanimation	FAKHIR Bouchra	Gynécologie-obstétrique A
ABOUCHADI Abdeljalil	Stomatologie et chir maxillo faciale	FAKHRI Anass	Histologie-embryologie cytogénétique

ABOUSSAIR Nisrine	Génétique	GHOUNDALE Omar	Urologie
ADALI Imane	Psychiatrie	HACHIMI Abdelhamid	Réanimation médicale
ADALI Nawal	Neurologie	HAJJI Ibtissam	Ophtalmologie
AGHOUTANE El Mouhtadi	Chirurgie pédiatrique A	HAOUACH Khalil	Hématologie biologique
AISSAOUI Younes	Anesthésie – réanimation	HAROU Karam	Gynécologie–obstétrique B
AIT AMEUR Mustapha	Hématologie Biologique	HOCAR Ouafa	Dermatologie
AIT BENKADDOUR Yassir	Gynécologie–obstétrique A	JALAL Hicham	Radiologie
ALAOUI Mustapha	Chirurgie–vasculaire périphérique	KAMILI El Ouafi El Aouni	Chirurgie pédiatrique B
ALJ Soumaya	Radiologie	KHOUCHANI Mouna	Radiothérapie
AMRO Lamyae	Pneumo–phtisiologie	KRIET Mohamed	Ophtalmologie
ANIBA Khalid	Neurochirurgie	LAGHMARI Mehdi	Neurochirurgie
ATMANE El Mehdi	Radiologie	LAKMACHI Mohamed Amine	Urologie
BAIZRI Hicham	Endocrinologie et maladies métaboliques	LAKOUICHMI Mohammed	Stomatologie et Chirurgie maxillo faciale
BASRAOUI Dounia	Radiologie	LOUHAB Nisrine	Neurologie
BASSIR Ahlam	Gynécologie–obstétrique A	MADHAR Si Mohamed	Traumato– orthopédie A
BELBARAKA Rhizlane	Oncologie médicale	MAOULAININE Fadl mrabih rabou	Pédiatrie (Neonatalogie)
BELKHOU Ahlam	Rhumatologie	MATRANE Aboubakr	Médecine nucléaire
BEN DRISS Laila	Cardiologie	MEJDANE Abdelhadi	Chirurgie Générale
BENCHAMKHA Yassine	Chirurgie réparatrice et plastique	MOUAFFAK Youssef	Anesthésie – réanimation
BENHIMA Mohamed Amine	Traumatologie – orthopédie B	MOUFID Kamal	Urologie
BENJELLOUN HARZIMI Amine	Pneumo–phtisiologie	MSOUGGAR Yassine	Chirurgie thoracique
BENJILALI Laila	Médecine interne	NARJISS Youssef	Chirurgie générale
BENLAI Abdeslam	Psychiatrie	NOURI Hassan	Oto rhino laryngologie
BENZAROUEL Dounia	Cardiologie	OUALI IDRISSE Mariem	Radiologie

BOUCHENTOUF Rachid	Pneumo- phtisiologie	OUBAHA Sofia	Physiologie
BOUKHANNI Lahcen	Gynécologie- obstétrique B	QACIF Hassan	Médecine interne
BOURRAHOUEAT Aicha	Pédiatrie B	QAMOUISS Youssef	Anesthésie- réanimation
BSISS Mohamed Aziz	Biophysique	RABBANI Khalid	Chirurgie générale
CHAFIK Rachid	Traumato- orthopédie A	RADA Nouredine	Pédiatrie A
DAROUASSI Youssef	Oto-Rhino - Laryngologie	RAFIK Redda	Neurologie
DRAISS Ghizlane	Pédiatrie	RAIS Hanane	Anatomie pathologique
EL AMRANI Moulay Driss	Anatomie	RBAIBI Aziz	Cardiologie
EL ANSARI Nawal	Endocrinologie et maladies métaboliques	ROCHDI Youssef	Oto-rhino- laryngologie
EL BARNI Rachid	Chirurgie- générale	SAJIAI Hafsa	Pneumo- phtisiologie
EL BOUCHTI Imane	Rhumatologie	SAMLANI Zouhour	Gastro- entérologie
EL BOUIHI Mohamed	Stomatologie et chir maxillo faciale	SEDDIKI Rachid	Anesthésie - Réanimation
EL HAOUATI Rachid	Chiru Cardio vasculaire	SORAA Nabila	Microbiologie - virologie
EL HAOURY Hanane	Traumato- orthopédie A	TAZI Mohamed Illias	Hématologie- clinique
EL IDRISSE SLITINE Nadia	Pédiatrie	ZAHLANE Kawtar	Microbiologie - virologie
EL KARIMI Saloua	Cardiologie	ZAHLANE Mouna	Médecine interne
EL KHADER Ahmed	Chirurgie générale	ZAOUI Sanaa	Pharmacologie
EL KHAYARI Mina	Réanimation médicale	ZEMRAOUI Nadir	Néphrologie
EL MGHARI TABIB Ghizlane	Endocrinologie et maladies métaboliques	ZIADI Amra	Anesthésie - réanimation
EL OMRANI Abdelhamid	Radiothérapie	ZYANI Mohammed	Médecine interne

### Professeurs Assistants

Nom et Prénom	Spécialité	Nom et Prénom	Spécialité
ABDELFETTAH Youness	Rééducation et Réhabilitation Fonctionnelle	Hammoune Nabil	Radiologie

ABDOU Abdessamad	Chiru Cardio vasculaire	HAZMIRI Fatima Ezzahra	Histologie – Embryologie – Cytogénétique
ABIR Badreddine	Stomatologie et Chirurgie maxillo faciale	IHBIBANE fatima	Maladies Infectieuses
ADARMOUCH Latifa	Médecine Communautaire (médecine préventive, santé publique et hygiène)	JALLAL Hamid	Cardiologie
AIT BATAHAR Salma	Pneumo– phtisiologie	JANAH Hicham	Pneumo– phtisiologie
AKKA Rachid	Gastro – entérologie	KADDOURI Said	Médecine interne
ALAOUI Hassan	Anesthésie – Réanimation	LAFFINTI Mahmoud Amine	Psychiatrie
AMINE Abdellah	Cardiologie	LAHKIM Mohammed	Chirurgie générale
ARABI Hafid	Médecine physique et réadaptation fonctionnelle	LALYA Issam	Radiothérapie
ARSALANE Adil	Chirurgie Thoracique	LOQMAN Souad	Microbiologie et toxicologie environnementale
ASSERRAJI Mohammed	Néphrologie	MAHFOUD Tarik	Oncologie médicale
BAALLAL Hassan	Neurochirurgie	MARGAD Omar	Traumatologie – orthopédie
BABA Hicham	Chirurgie générale	MILOUDI Mohcine	Microbiologie – Virologie
BELARBI Marouane	Néphrologie	MLIHA TOUATI Mohammed	Oto–Rhino – Laryngologie
BELBACHIR Anass	Anatomie– pathologique	MOUHSINE Abdelilah	Radiologie
BELFQUIH Hatim	Neurochirurgie	MOUNACH Aziza	Rhumatologie
BELHADJ Ayoub	Anesthésie – Réanimation	MOUZARI Yassine	Ophtalmologie
BENNAOUI Fatiha	Pédiatrie (Neonatalogie)	NADER Youssef	Traumatologie – orthopédie
BOUCHAMA Rachid	Chirurgie générale	NADOUR Karim	Oto–Rhino – Laryngologie
BOUCHENTOUF Sidi Mohammed	Chirurgie générale	NAOUI Hafida	Parasitologie Mycologie

BOUKHRIS Jalal	Traumatologie – orthopédie	NASSIM SABAH Taoufik	Chirurgie Réparatrice et Plastique
BOUZERDA Abdelmajid	Cardiologie	NYA Fouad	Chirurgie Cardio – Vasculaire
CHETOUI Abdelkhalek	Cardiologie	OUEIAGLI NABIH Fadoua	Psychiatrie
CHRAA Mohamed	Physiologie	REBAHI Houssam	Anesthésie – Réanimation
EL HARRECH Youness	Urologie	RHARRASSI Isam	Anatomie – pathologique
EL KAMOUNI Youssef	Microbiologie Virologie	SALAMA Tarik	Chirurgie pédiatrique
EL MEZOUARI El Moustafa	Parasitologie Mycologie	SAOUAB Rachida	Radiologie
ELBAZ Meriem	Pédiatrie	SEBBANI Majda	Médecine Communautaire (médecine préventive, santé publique et hygiène)
ELQATNI Mohamed	Médecine interne	SERGHINI Issam	Anesthésie – Réanimation
ESSADI Ismail	Oncologie Médicale	TAMZAOURTE Mouna	Gastro – entérologie
FDIL Naima	Chimie de Coordination Bio–organique	TOURABI Khalid	Chirurgie réparatrice et plastique
FENNANE Hicham	Chirurgie Thoracique	YASSIR Zakaria	Pneumo– phtisiologie
GHAZI Mirieme	Rhumatologie	ZARROUKI Youssef	Anesthésie – Réanimation
GHOZLANI Imad	Rhumatologie	ZIDANE Moulay Abdelfettah	Chirurgie Thoracique
HAMMI Salah Eddine	Médecine interne	ZOUIZRA Zahira	Chirurgie Cardio– Vasculaire

**LISTE ARRÊTÉE LE 12/02/2018**



*DEDICACES*

*Toutes les lettres ne sauraient trouver les mots qu'il faut...  
Tous les mots ne sauraient exprimer ma gratitude,  
Mon amour, mon respect, et ma reconnaissance...  
Aussi, c'est tout simplement que...*



*Je dédie cette thèse à...*

## A ALLAH:

*Le tout puissant, le très miséricordieux  
Qui m'a inspiré, Qui m'a guidé sur le droit chemin,  
Je vous dois ce que je suis devenue,  
Soumission, louanges et remerciements,  
Pour votre clémence et miséricorde.*

## A mes très chers parents Zoubida et Ahmed

### *Aujourd'hui je crois avoir réalisé un de vos rêves*

*Aucune dédicace, aucun mot ne saurait exprimer tout le respect,  
toute l'affection et tout l'amour que je vous porte.*

*Merci de m'avoir soutenu et de m'avoir aimé inconditionnellement.*

*Maman, tu es la prunelle de mes yeux, ma confidente, celle qui m'a donné la vie, qui m'a guidé et  
qui a éclairé mon chemin. Avec ton amour, tes prières, tes encouragements et ta tendresse  
intarissable, tu as veillé sur mon éducation. C'est grâce à toi que je suis médecin aujourd'hui. Je  
t'aime maman.*

*Papa, tu es mon idole, mon héros, celui qui m'a élevé dans l'honneur, la droiture et la dignité.  
Merci de m'avoir toujours soutenue dans mes décisions. Tu m'as donné le goût à la lecture depuis  
mon très jeune âge. Ce travail est ton œuvre, toi qui m'as donné tant de choses et continue à le  
faire, sans jamais te plaindre. Je t'aime Papa.*

*Ce modeste travail qui est avant tout le votre, n'est que la consécration de vos grands efforts et  
vos immenses sacrifices.*

*Je prie Dieu, le tout puissant, de vous protéger et de vous procurer santé,  
Bonheur et longue vie...*

## A mes très chers frères : Hamza, Imrane, Aymane

*Je vous dédie ce travail en témoignage de ma gratitude et mon attachement.*

*Puisse nos liens fraternels se pérenniser et consolider davantage. Je ne pourrais d'aucune manière  
exprimer mon immense gratitude pour tous les sacrifices consentis. Votre aide et votre générosité  
extrêmes ont été pour moi une source de courage, de confiance et de patience. Qu'il me soit permis  
aujourd'hui de vous assurer ma profonde et grande reconnaissance. Qu'Allah vous apporte  
bonheur et santé, et que tous vos rêves voient le jour. Je suis très fière de vous. Je vous aime  
beaucoup.*

**A ma très chère grand-mère maternelle Fatima**

*Aucune dédicace ne saurait exprimer tout ce que je ressens pour toi chère mamie. Je te remercie pour tout le soutien et l'amour que tu me portes depuis mon enfance et j'espère que ta bénédiction m'accompagnera toujours.  
Que Dieu te garde et te procure santé et bonheur éternel.*

**A la mémoire de mon grand-père maternel Ahmed et de mes grands parents paternels**

*Je vous dédie ce modeste travail en témoignage de mon grand amour et ma profonde affection.  
Puissent vos âmes reposer en paix  
Que Dieu, le tout puissant, vous recouvre de Sainte Miséricorde.*

**A mes chers oncles et tantes**

*Sachez que des mots simples ne sauraient à eux  
Seuls prouver le grand amour et l'immense  
Affection que je porte pour vous.*

**A tous les membres de la famille et amis de la famille**

*Je vous dédie cette thèse en témoignage de mes profonds sentiments, de mon amour et de mon attachement*

**A mes amis de longue date Youssef, mohammed, Mohamed, Ahmed, Mohssine, Abderrahman, Soufian et Redouane**

*En souvenir de notre sincère et profonde amitié et des moments agréables que nous avons passés ensemble. Veuillez trouver dans ce travail l'expression de mon respect le plus profond et mon affection la plus sincère.*

*A mes chères amies Malak et Meryem .*

*Bien que ces simples mots soient insuffisants pour les remercier, en gage de gratitude, je tiens à rendre mille grâces à ces deux personnes qui m'ont tant conseillé et guidé vers le droit chemin.*

*A mon cher binôme d'internat, Abdelkarim Ait Yahya*

*Je ne saurais te remercier pour tous les moments passés ensemble, les bons comme les mauvais, tu as su rester à mes côtés, à me soutenir et à m'encourager.*

*A mes très chers amis Amimiens et à l'honneur de la 15ème promotion des internes de Marrakech*

*J'ai toujours senti que vous étiez ma deuxième famille que j'apprécie et je respecte.  
Je vous remercie tous pour ce que vous m'avez apporté.  
Avec tout mon respect et toute mon affection.*

*A Tous ceux qui me sont chers et que j'ai involontairement omis de citer.*

*A Tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.*

A decorative horizontal frame with ornate, symmetrical scrollwork at each end. The word "REMERCIEMENTS" is centered within the frame in a bold, italicized, serif font.

***REMERCIEMENTS***

### **À notre maître et président de thèse : Pr. Said Ait Benali**

*Je suis très sensible à l'honneur que vous m'avez fait en acceptant aimablement de présider notre jury de thèse.*

*Vous m'avez chaleureusement accueillie dans votre service.*

*Vous incarnez des qualités sociales enviablées, votre gentillesse et votre modestie exemplaire jointes à vos compétences professionnelles et humaines seront pour nous un exemple dans l'exercice de notre profession.*

*Veillez trouver dans ce travail, le témoignage de ma gratitude, ma très haute considération et mon profond respect.*

### **À notre maître et rapporteur de thèse : Pr. Mehdi Laghmari**

*Il m'est impossible de dire en quelques mots ce que je vous dois. Vous m'avez fait le grand honneur de me confier ce travail et d'accepter de le diriger en consacrant de votre temps précieux pour le parfaire.*

*Ce travail est le fruit de vos efforts. Soyez-en remercié du fond du cœur et recevez mes sincères sentiments de reconnaissance, de respect et de profonde sympathie. Merci pour tout ce que vous avez fait. Merci d'avoir été si patient avec moi et de m'avoir aidé dans les moments les plus difficiles. J'espère être digne de votre confiance, et je vous prie, cher Maître, d'accepter ma profonde reconnaissance et ma haute considération.*

### **À notre maître et juge de thèse : Pr. Amra Ziadi**

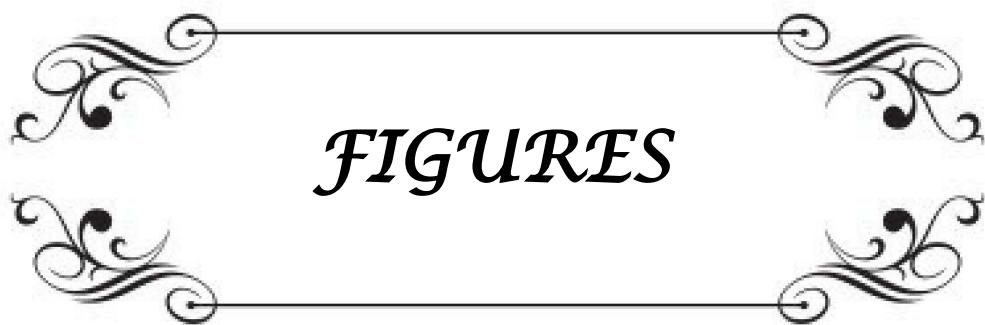
*Je vous remercie pour la spontanéité et la simplicité avec lesquelles vous avez accepté de juger ce travail. J'ai eu le privilège de vous rencontrer et de percevoir votre sympathie, sourire et bienveillance. Votre probité au travail et votre dynamisme, votre sens de responsabilité m'ont toujours impressionnés et sont pour moi un idéal à atteindre. Veillez trouver ici, Professeur, l'expression de mes sincères remerciements.*

### **À notre maître et juge de thèse : Pr. Nadia Mansouri**

*Je vous remercie de nous avoir honorés par votre présence. Vous avez accepté aimablement de juger cette thèse. Cet honneur me touche infiniment et me tiens à vous exprimer ma profonde reconnaissance. Veillez accepter, cher maître, dans ce travail l'assurance de mon estime et mon profond respect.*

*À toute personne qui de près ou de loin a contribué à la réalisation de ce travail.*

*À l'ensemble des enseignants de tout mon parcours scolaire et ceux de la faculté de médecine et de pharmacie de Marrakech.*

A decorative horizontal frame consisting of two parallel lines with ornate, symmetrical scrollwork at each end. The word "FIGURES" is centered within the frame in a bold, italicized serif font.

***FIGURES***

# Liste des figures

- Figure 1** : Répartition du nombre de cas des malades selon l'âge
- Figure 2** : Représentation graphique selon le sexe des patients
- Figure 3** : Répartition des patients selon l'origine géographique
- Figure 4** : Graphique représentant l'imagerie réalisée chez les patients
- Figure 5** : Nature du geste réalisé
- Figure 6** : Graphique représentant les types d'anesthésies utilisées
- Figure 7** : Cadre stéréotaxique appliqué sur la tête du patient.
- Figure 8** : Principe de triangulation des systèmes de repérages.
- Figure 9** : Système de neuro navigation qui intègre un microscope.
- Figure 10** : S7 StealthStation de Medtronic.
- Figure 11** : Logiciel de planification.
- Figure 12** : Enregistrement par fusion de points Lors de la planification.
- Figure 13** : Instruments de suivi (A) Une sonde de suivi optique typique. (B) La caméra qui émet et reçoit des ondes infrarouges. (C) cadre de référence monté sur le crâne et une autre sonde de suivi optique.
- Figure 14** : Enregistrement du traceur facial.
- Figure 15** : La visualisation.
- Figure 16** : IRM cérébrale coupes axiale et sagittales sequences T1 T2.
- Figure 17** : TDM cérébrale coupe axiale avec injection de PDC objectivant un processus expansif pariéto-temporal gauche prenant le produit de contraste avec important œdème péri lésionnel.
- Figure 18** : TDM cérébrale coupe axiale post opératoire d'un cas des patients chez qui la mise en place des sondes de stimulation profondes a été faite avec succès.
- Figure 19** : IRM lombaire sequence T1 coupe sagittale objectivant une hernie discale paramédiane et foramenale gauche conflictuelle avec la racine de L5.

## Liste des tableaux

**Tableau I** : Représentant les cas opérés sous neuronavigation

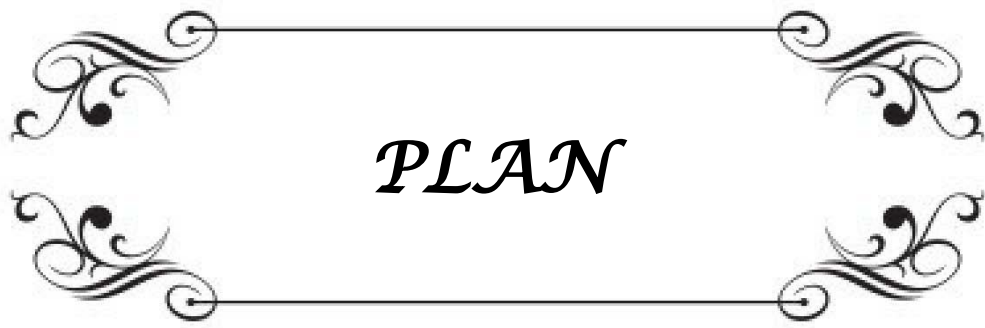
**Tableau II** : Représentant la durée d'hospitalisation



*ABBREVIATIONS*

## Liste des abréviations

<b>AG</b>	: Anesthésie Générale.
<b>BOM</b>	: Breche Osteo meninge.
<b>CD</b>	: Disque Compact.
<b>CHU</b>	: Centre Hospitalier Universitaire.
<b>DICOM</b>	: Digital Imaging and Communications in Medecin.
<b>DVP</b>	: Dérivation Ventriculopéritoniale.
<b>GPS</b>	: Global Positioning System.
<b>IRM</b>	: Imagerie par Résonance Magnétique.
<b>MP</b>	: Maladie de Parkinson.
<b>NST</b>	: Noyaux sous thalamiques.
<b>PELD</b>	: Discectomie lombaire endoscopique postérolatérale.
<b>SEEG</b>	: Stéréo Electro Encéphalo Graphie.
<b>TDM</b>	: Tomodensitométrie.



*PLAN*

<b>INTRODUCTION</b>	<b>1</b>
<b>MATÉRIEL ET MÉTHODE D'ÉTUDE</b>	<b>4</b>
I. Caractéristiques de l'étude	5
II. Recueil des données	5
<b>RÉSULTATS</b>	<b>7</b>
I. Aspect épidémiologique	8
1. l'age	8
2. Répartition des patients selon le sexe:	8
3. l'origine des patients	9
II. Aspect radio-clinique	9
1. les antécédents	9
2. Les cas opérés sous neuronavigation	9
3. Protocole d'imagerie radiologique	10
III. Aspect technique	10
1. le système de neuronavigation utilisé	10
2. le geste prévu	11
3. Type d'anesthésie	11
4. Marquage	12
5. Durée de l'acte chirurgical	12
6. Les incidents per-opératoires	12
7. Réussite du geste opératoire	12
8. Complications post opératoires	13
9. La durée de prise en charge	13
<b>DISCUSSION</b>	<b>14</b>
I. Historique	15
II. Attentes et principe de la neuronavigation	17
1. Attentes et besoins spécifiques de la neuronavigation	17
2. Principe de la neuronavigation	18
III. Matériels et différents systèmes de neuronavigation	19
IV. Procédure de la neuro-navigation	25
1. L'acquisition d'images	25
2. la planification (planning)	26
3. L'enregistrement	27
4. Le suivi des instruments et la visualisation (l'acte chirurgical)	31
V. Applications de la neuro navigation	32
1. Résection chirurgicale des tumeurs et des malformations vasculaires cérébrales:	33
2. Biopsies cérébrales	36
3. Dérivation des hydrocéphalies et chirurgie endoscopique.	38
4. chirurgie des brèches ostéo méningées (BOM)	39
5. Neurochirurgie fonctionnelle	39

6. Chirurgie du rachis .....	43
VI. les intérêts et les avantages de la neuro navigation.....	45
1. Une meilleure préparation de l'intervention.....	46
2. Une aide à la navigation peropératoire.....	46
3. Un bénéfice pour le patient.....	47
VII. les limites et les erreurs du système de neuro-navigation.....	47
<b>CONCLUSION.....</b>	<b>49</b>
<b>ANNEXES.....</b>	<b>51</b>
<b>RÉSUMÉS.....</b>	<b>54</b>
<b>BIBLIOGRAPHIES.....</b>	<b>58</b>

A decorative rectangular frame with ornate, symmetrical scrollwork at each corner. The word "INTRODUCTION" is centered within the frame in a bold, italicized, serif font.

***INTRODUCTION***

L'innovation technologique a considérablement transformé la pratique neurochirurgicale depuis l'ère numérique. L'introduction de l'outil informatique dans les blocs opératoires a permis l'utilisation de plus en plus extensive de l'imagerie médicale en direct, à l'origine du concept de la neuronavigation, un véritable GPS (Global Positioning System) anatomique pour le neurochirurgien.

La neuronavigation, encore appelée stéréotaxie sans cadre relève de la chirurgie assistée par ordinateur ou chirurgie guidée par l'image. C'est un système de guidage et de navigation peropératoire généralement utilisé pour suivre les outils chirurgicaux et les localiser par rapport à l'anatomie du patient. Elle permet de visualiser l'encéphale ou le rachis du patient en trois dimensions (3D).

Auparavant, lors d'une intervention, le chirurgien se représentait l'anatomie du patient sans support d'imagerie. Puis, avec les progrès de l'imagerie médicale, il a pu bénéficier d'images de plus en plus précises: tomodensitométrie (TDM), imagerie par résonance magnétique (IRM).

La neuronavigation existe depuis les années 80. Elle permet, au cours de l'intervention chirurgicale, de fusionner les images radiologiques de l'encéphale ou du rachis du patient à sa propre anatomie. Elle est comparable à un GPS qui superpose les routes numériques avec les cartes routières. Il devient alors possible de localiser avec précision la cible chirurgicale ainsi que les structures anatomiques qui l'entourent, et connaître exactement, via des écrans de contrôle, la progression de l'intervention en déterminant la trajectoire vers la cible choisie.

De la même manière qu'un marin doit faire le lien entre la position de son navire et les cartes dont il dispose, le chirurgien doit faire le lien entre le patient qu'il a devant lui et les images qu'il a à sa disposition. Le marin s'est vu doté, au fur et à mesure des siècles, de méthodes demandant de moins en moins d'effort cognitif et étant de plus en plus précises. Pour la navigation côtière, l'utilisation d'amers de navigation indiqués sur les cartes est analogue à l'utilisation des amers anatomiques par le chirurgien. (1)

L'objectif des systèmes de neuro-navigation est :

- la préparation et la simulation du geste chirurgical sur une station de travail informatique en vue de diminuer le risque de complications et améliorer la qualité de la prise en charge.
- Le repérage et le guidage de l'outil chirurgical dans la structure cérébrale pendant l'intervention.

Cependant, deux principales contraintes sont couramment soulignées. La première est d'ordre ergonomique et concerne la manière de faire le lien visuel entre les images et le patient en position opératoire. La deuxième est que ces systèmes reposent sur une hypothèse fautive, selon laquelle l'anatomie du patient au moment du diagnostic est la même que celle au moment de l'opération (2).

L'objectif de notre étude est d'évaluer l'apport de la neuronavigation dans la prise en charge de la pathologie neurochirurgicale selon l'expérience de l'équipe de neurochirurgie de l'hôpital Ar-razi du CHU Mohammed VI de Marrakech.



*MATÉRIEL ET  
MÉTHODE D'ÉTUDE*

## **I. Caractéristiques de l'étude:**

Il s'agit d'une étude rétrospective et exhaustive des dossiers de douze patients opérés sous neuronavigation au sein du service de neurochirurgie de l'hôpital Ar-razi du CHU Mohammed VI de Marrakech, durant la période allant du 1er aout 2016 au 31 juillet 2017.

## **II. Recueil des données:**

Sont inclus dans notre etude tout les patients ayant bénéficié de l'apport de la neuronavigation avec des dossiers complets.

Les patients ont été identifiés à partir des données enregistrées dans le système de neuronavigation au sein du bloc opératoire de neurochirurgie.

Le recueil des données à été fait à partir:

- des dossiers d'hospitalisations (dans le système HOSIX)
- des comptes rendu opératoires

L'étude a été réalisée à l'aide d'une fiche d'exploitation pré-établie qui renseigne sur:

Les données démographiques:

- l âge
- le sexe.
- l'origine géographique.

Les données radio-cliniques:

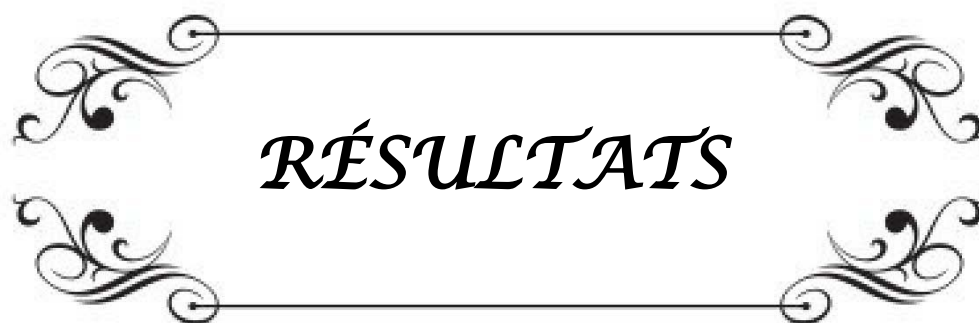
- les antécédents personnels.
- l'indication.
- le protocole d'imagerie réalisé.

Les données techniques:

- la durée de l'intervention.
- les incidents per opératoires.
- le temps de récupération du patient.
- la durée de séjour.

(Voir annexe p: 50-51)

L'analyse des données recensées a été faite sur le logiciel Excel XP.

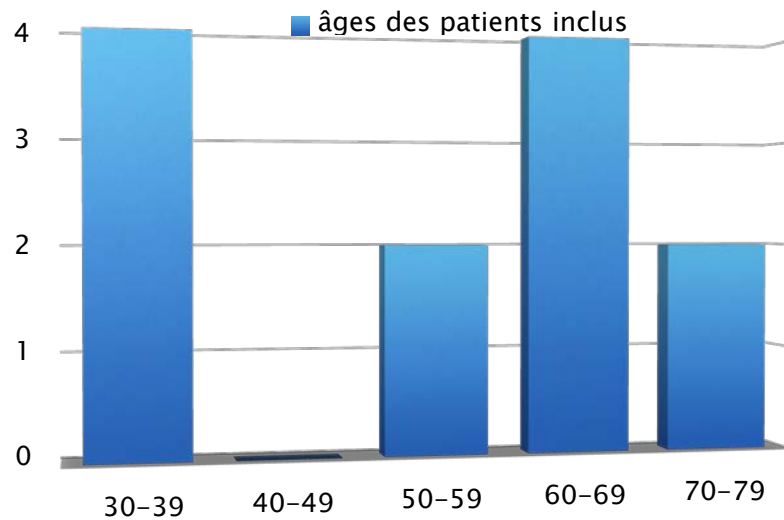
A decorative rectangular frame with ornate, symmetrical scrollwork at each corner. The word "RÉSULTATS" is centered within the frame in a bold, italicized, serif font.

***RÉSULTATS***

## I. Aspect épidémiologique:

### 1. l'âge:

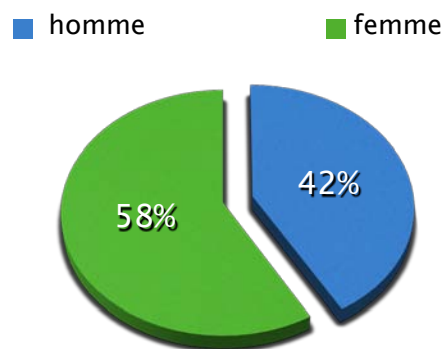
Dans notre étude, L'âge des patients était compris entre 30 et 78 ans avec une moyenne d'âge de 54 ans.



**Figure 1: Répartition du nombre de cas des malades selon l'âge**

### 2. Répartition des patients selon le sexe:

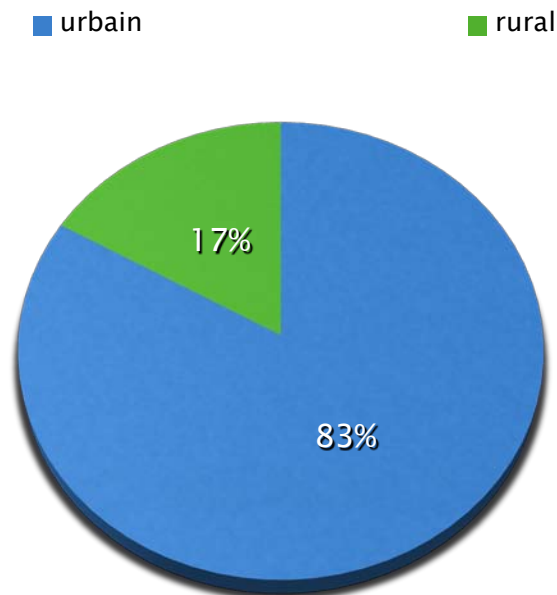
Dans notre étude le sex ratio était de 0,7 avec une représentation féminine de l'ordre de 58 %.



**Figure 2: Représentation graphique selon le sexe des patients**

### 3. l'origine des patients:

Il existe une nette prédominance de l'origine urbaine des patients avec une représentation de 83%.



**Figure 3 : Répartition des patients selon l'origine géographique**

## II. Aspect radio-clinique:

### 1. les antécédents:

Aucun des patients inclus dans notre étude n'avait des antécédents médicaux ou chirurgicaux particuliers pouvant interférer avec les résultats obtenus.

### 2. Les cas opérés sous neuronavigation:

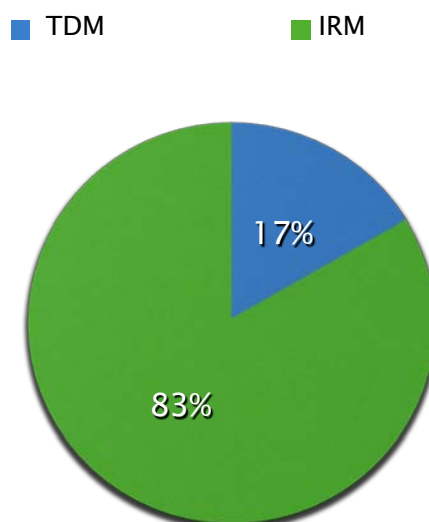
Dans notre série, trois patients avaient une tumeur cérébrale profonde, six autres étaient suivis pour maladie de Parkinson réfractaire au traitement médical, et des cas isolés d'hydrocéphalie, de brèche ostéo-méningée et d'hernie discale lombaire .

**Tableau I : Représentant les cas opérés sous neuronavigation**

PATHOLOGIE	NOMBRE DE CAS
TUMEUR CEREBRALE PROFONDE	3
MALADIE DE PARKINSON	6
HERNIE DISCALE LOMBAIRE	1
HYDROCÉPHALIE	1
BRECHE OSTEOMENINGEE	1
TOTAL	12

### 3. Protocole d'imagerie radiologique:

L'IRM a été réalisée chez dix patients, et la TDM chez deux patient.



**Figure 4:Graphique représentant l'imagerie réalisée chez les patients**

## III. Aspect technique:

### 1. le système de neuronavigation utilisé:

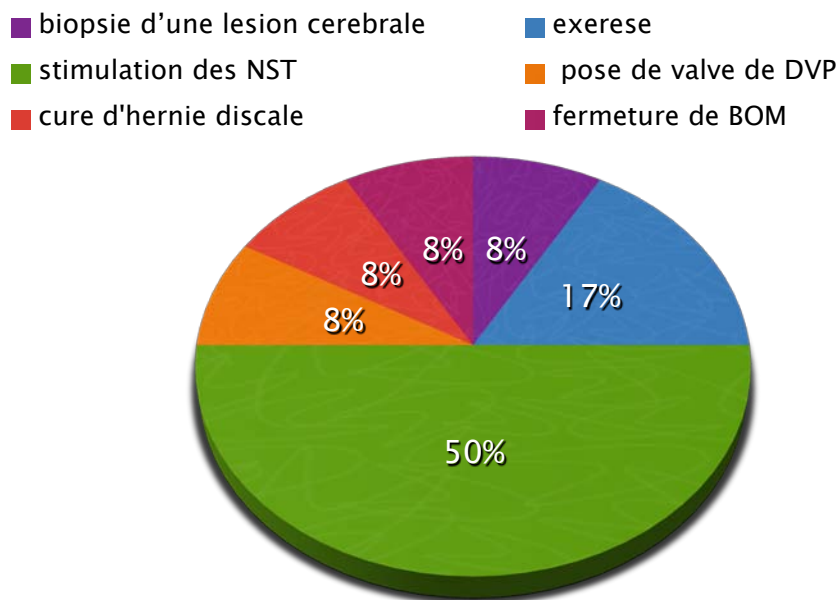
Dans notre étude, tous les patients ont été opérés à l'aide du système de neuro navigation MEDTRONIC S7 stealthstation. C'est un système:

- système compact avec grand écran haute résolution (24").

- interface immédiate avec iMRI, iCT, C-arm et Medtronic's 2-D et 3-D fluoro O-arm®system
- système de tracking de pointe : 2 options : caméra de navigation optique ou système de poursuite électromagnétique « AxiEMTM »
- DICOM query/Retrieve : accès direct facile au réseau de l'hôpital à partir de la StealthStation S7TM

## 2. le geste prévu:

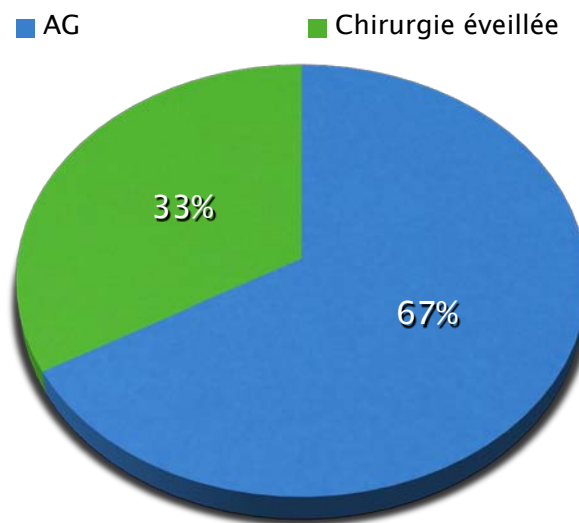
Les gestes réalisés à l'aide du système de neuronavigation variaient en fonction de l'indication (biopsie, exérèse, stimulation des NST, dérivation ventriculaire...)



**Figure 5 : Nature du geste réalisé**

## 3. Type d'anesthésie:

Tous les patients inclus dans notre étude ont été opérés sous anesthésie générale avec six cas de chirurgie éveillée pour la pose d'électrodes de stimulation profondes dans le cas du traitement chirurgical de la maladie de Parkinson.



**Figure 6: Graphique représentant les types d'anesthésies utilisées**

#### **4. Marquage:**

Tous les patients ont bénéficié d'un marquage par counturing "topographie de surface " à l'aide d'un système informatique de repérage intégré dans le système de neuronavigation utilisé.

#### **5. Durée de l'acte chirurgical:**

la durée de la acte chirurgical variait en fonction de l'indication avec une moyenne de 6 h [ 0,33 -11 heures]

Cette moyenne ne reflétant pas la variabilité des interventions (la maladie de parkinson:11h)

#### **6. Les incidents per-opérateurs:**

Dans notre étude, aucun incident peropérateur n'a été noté chez nos patients.

#### **7. Réussite du geste opératoire:**

Les gestes prévus ont été effectués avec succès pour tous les malades.

## **8. Complications post opératoires :**

Dans notre étude, un seul patient opéré pour tumeur cérébrale profonde a présenté une hémiparésie transitoire ayant durée cinq jours.

## **9. La durée de prise en charge:**

Elle variait en fonction de l'indication chirurgicale.

**Tableau II : représentant la durée d'hospitalisation**

Séjour pré-opératoire moyen	4 jours [1 ; 8]
Durée moyenne de récupération postopératoire	3 jours [1;7]
Durée moyenne du séjour hospitalier	8 jours (3 ;13)

A decorative rectangular frame with ornate, symmetrical scrollwork at each corner. The word "DISCUSSION" is centered within the frame in a bold, italicized, serif font.

***DISCUSSION***

## I. Historique:

La chirurgie du cerveau est peut être la plus vieille pratique de la médecine. Des documents antiques archivés décrivent la pratique de la chirurgie du cerveau par Hippocrate en Grèce déjà à l'époque romaine ainsi que par des chirurgiens du monde arabe à l'époque médiévale. La Chirurgie Guidée par l'Image (Image Guided Surgery en Anglais) est apparue pratiquement en même temps que l'imagerie, à savoir à la fin du 19<sup>ème</sup> siècle. Historiquement, la première étape a été de guider le geste opératoire par des images préopératoires, d'abord par le lien totalement implicite basé uniquement sur le repérage anatomique. En 1889, Zernov développa un «encéphalomètre» pour cibler les structures cérébrales basées sur les contours de surface du crâne (3). Puis en 1896, la première opération guidée par imagerie peropératoire a eu lieu à l'université McGill de Montréal. Il s'agissait du retrait d'une balle dans un genou, guidé par rayons X.

La neurochirurgie a souvent été le terrain d'expérimentation et d'application de nouvelles technologies chirurgicales. Cela s'explique d'une part par la rigidité de la boîte crânienne, et d'une autre part, par le risque important de complications peropératoires. Une explication complémentaire est la taille de certaines cibles chirurgicales, demandant une précision plus importante que dans d'autres types de chirurgie.

L'apparition des cadres de stéréotaxie en neurochirurgie (un exemple de ces cadres est représenté dans la figure (7) au milieu du XX<sup>ème</sup> siècle a marqué les débuts de la chirurgie guidée par l'image (5). Son principe est de repérer la cible sur les images préopératoires du patient, par rapport au cadre. Celui-ci définit les plans de l'espace dans lesquels étaient exprimées auparavant les coordonnées de la cible, calculées par tracé sur l'imagerie préopératoire. Ces tracés ont été progressivement remplacés par des logiciels.



**Figure 7:** Cadre stéréotaxique appliqué sur la tête du patient

Le problème de la stéréotaxie est son aspect invasif et lourd pour le patient. En effet, le patient doit porter le casque au moment où il bénéficie de l'imagerie préopératoire et le conserver jusqu'à l'intervention chirurgicale. Ceci l'expose à un risque infectieux majeur.

Cependant, de par leur rigidité et la précision de leur construction, les cadres de stéréotaxie permettent de localiser la cible de manière précise. Par conséquent, cette méthode reste largement utilisée.

Les premiers systèmes de neuronavigation datent du milieu des années 80 (7). Ils ont permis de remplacer le cadre de stéréotaxie qui gênait le chirurgien au cours de l'acte par des marqueurs fixés ou collés sur la peau, laissant libre accès au patient. Ces marqueurs sont également placés sur les instruments chirurgicaux. Ainsi, leur position peut être suivie en temps réel.

Les cadres de stéréotaxie sont encore considérés par la plupart des neurochirurgiens comme le moyen le plus sûr d'obtenir une précision optimale, bien qu'en réalité l'utilisation de fiduciaux osseux en neuronavigation permettent d'obtenir la même précision (8). Cette confiance s'explique d'une part par l'enseignement reçu par les neurochirurgiens, dans lequel la neuronavigation n'apparaît pas encore, et d'une autre part par le manque de précision du recalage patient image en cas d'utilisation de fiduciaux non osseux en comparaison avec la cadre de stéréotaxie.

Dès 2000, on dénombreait déjà environ 800 systèmes de navigation chirurgicale toute application confondue (9). Les systèmes dits de première génération étaient des concepts difficiles de mise en œuvre et nécessitaient l'assistance impérative de personnes spécialisées. Les systèmes de navigation de seconde génération furent développés spécifiquement pour les chirurgiens grâce à des interfaces graphiques Homme/Machine adaptées. L'ère de la troisième génération est arrivée, le but étant d'inclure l'acte chirurgical aux systèmes d'information et d'imagerie. Actuellement, de nombreux systèmes de neuronavigation sont commercialisés. (StealthStation, Medtronic SNT, Boulder, Etats-Unis ou Brainlab, Munich, Allemagne...)

## **II. Attentes et principe de la neuronavigation:**

### **1. Attentes et besoins spécifiques de la neuronavigation :**

Le cerveau est un organe dont on est encore loin d'avoir exploré toute la complexité. Pourtant, on sait y reconnaître des endroits dits éloquents, opposés à d'autres qui n'entrent pas dans cette catégorie.

Ainsi, dans une zone éloquente, un processus pathologique même minime, peut provoquer des symptômes très invalidants. A l'inverse, la même lésion dans une zone non éloquente entraîne des symptômes mineurs ou peut demeurer asymptomatique.

Cela étant, tout acte chirurgical a pour but de remédier le plus complètement possible au processus pathologique, tout en sauvegardant le maximum de tissu cérébral sain, même s'il est situé dans une zone dite non éloquente. Lorsque les processus pathologiques cérébraux touchent la surface du cerveau, ils peuvent être immédiatement visibles après l'ouverture du crâne et des méninges. Dans ce cas, il est déjà essentiel pour le neurochirurgien de distinguer clairement, au bloc opératoire, les limites de la lésion par rapport au tissu sain vu le risque de récurrence au cas où le neurochirurgien laisse une partie de la tumeur, tandis qu'enlever trop de tissu autour d'une lésion lui fait courir le risque de se réveiller avec des séquelles neurologiques irréversibles. Quant à d'autres lésions, situées plus en profondeur, elles nécessitent un trajet « à l'aveugle » à travers le tissu cérébral avant d'être visibles.

Les principaux objectifs du neurochirurgien consistent donc à choisir le trajet le plus court possible en traversant un tissu non éloquent. Bien que l'anatomie cérébrale soit bien connue des spécialistes et que la microchirurgie ait considérablement amélioré la technique chirurgicale, les lésions profondes ou celles situées en bordure de zones éloquentes demeurent un défi majeur pour le neurochirurgien: les premières en raison des difficultés d'approche (choix du point d'entrée et du trajet), les secondes en raison de la nécessité de sauvegarder le tissu éloquent avoisinant. Or nous pouvons aujourd'hui opérer de telles lésions, car nous disposons d'outils chirurgicaux extraordinairement performants, développés pour augmenter les chances de succès thérapeutique.

## **2. Principe de la neuronavigation :**

Basé sur les mêmes principes que ceux qui ont jadis permis aux marins de faire des progrès spectaculaires pour se repérer sur les océans, l'outil informatique qu'est la neuro-navigation aide le neurochirurgien à localiser une lésion ou une trajectoire intracérébrale; on pourrait aussi dire qu'elle lui sert de GPS en salle d'opération car, dans le cerveau, les repères sont peu nombreux et rien ne ressemble plus à un sillon cérébral qu'un autre sillon. La neuro-navigation guidée par l'image utilise le principe de la stéréotaxie. Le cerveau est considéré comme un volume géométrique qui peut être divisé par trois plans spatiaux intersectés imaginaires, orthogonaux entre eux (horizontal, frontal et sagittal) basés sur le système de coordonnées cartésiennes. Tout point dans le cerveau peut être spécifié en mesurant sa distance le long de ces trois plans d'intersection.

La neuro-navigation fournit un guidage chirurgical précis en superposant les coordonnées de l'anatomie du patient avec les coordonnées de l'imagerie tridimensionnelles qui est affiché sur la console du poste de travail informatique.

Avant intervention, une imagerie de la tête en coupes fines est réalisée (IRM , Scanner ou autre) et transférée sur la console informatique de neuro-navigation. Lorsque le patient est

anesthésié en vue de l'intervention, la procédure de neuro-navigation va consister à mettre en correspondance les images du scanner ou de l'IRM avec l'anatomie du patient (en l'occurrence sa tête) à l'aide d'une caméra infrarouge, d'un arc de référence ou d'un bandeau fixé à la tête du patient et d'un logiciel performant, qui localise dans l'espace chaque volume pour les superposer, un à un et avec une erreur minimale, aux volumes de l'examen radiologique.

Puis, la caméra effectue encore le repérage des instruments chirurgicaux prêts à entrer en action. Le système est dès lors capable de montrer en temps réel au neurochirurgien la « tranche de cerveau » qui correspond à l'endroit où il opère; en d'autres termes, il propose au praticien une image virtuelle de la situation chirurgicale réelle.

Avant toute intervention et afin de minimiser les risques pour le patient de développer une séquelle neurologique, la neuro-navigation est d'abord appliquée à la planification préopératoire.

A ce stade, il s'agit d'optimiser la stratégie chirurgicale: localisation d'une lésion, définition de ses limites, voie d'approche, évitement des zones éloquentes, protection de structures telles les artères nourricières ou les veines.

La neuro-navigation utilise le principe de la stéréotaxie. Le cerveau est considéré comme un volume géométrique qui peut être divisé par trois plans spatiaux intersectés imaginaires, orthogonaux entre eux (horizontal, frontal et sagittal) basés sur le système de coordonnées cartésiennes.

Au commencement de l'opération, elle sert ensuite à définir avec précision les limites d'une crâniotomie (ouverture du crâne), ce qui permet d'en réduire la taille (cicatrice à la peau, volet osseux).

Enfin, une fois le crâne ouvert, elle oriente le neurochirurgien (c'est la neuro-navigation proprement dite) dans ses déplacements. Elle l'avertit de la proximité d'une zone éloquente ou d'une structure à protéger. En même temps, l'opérateur peut contrôler si les informations qui lui sont fournies par le système correspondent à la réalité chirurgicale.

### **III. Matériels et différents systèmes de neuronavigation:**

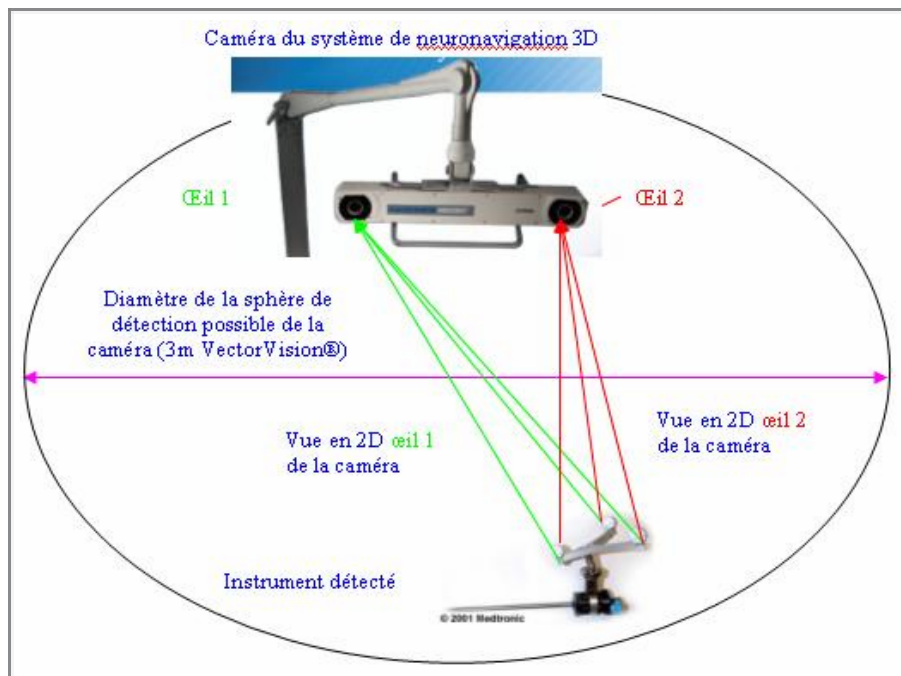
Un système de neuronavigation est composé en version de base par une station de base de préplaning (souvent proposée en option), une station informatique (bloc opératoire), un système de localisation et Une instrumentation chirurgicale adaptée (2).

– Station informatique

La station informatique de préplanning (dont on ne dispose pas dans notre service) et celle du bloc opératoire sont le plus souvent strictement identiques et offrent les mêmes fonctionnalités. Ces consoles tertiaires dédiées sont fournies avec des logiciels de traitement d'images et de planification chirurgicale. Il paraît nécessaire de s'équiper de deux stations afin d'éviter le transport de la station de la Salle de planning vers le bloc opératoire.

– Système de localisation

Le dispositif le plus répandu est le système optique dit "actif". Les instruments sont équipés de diodes infrarouges émettant un signal détecté par des caméras. La position de l'instrument est déterminée par triangulation (figure 2) et est transmise au système de neuronavigation. Il existe également un dispositif optique "passif". L'instrument est équipé de sphères réfléchissant les signaux infrarouges provenant de sources situées à proximité des caméras de détection. Cette technique présente le seul avantage d'éviter les connexions électriques sur les instruments.



**figure 8 : principe de triangulation des systèmes de repérages**

La différence essentielle entre systèmes actif et passif se situe au niveau de la stérilisation. Les outils chirurgicaux utilisant un principe actif sont parfaitement autoclavables. En revanche, les éléments du système dit "passif" ne sont que stérilisables qu'aux gaz.

Le traitement de surface réfléchissant des sphères est détérioré lors des cycles de stérilisation. Ce système ne supporte pas les règles de stérilisation que l'on doit appliquer, notamment dans le cadre de la maladie de Creutzfeldt-Jakob ; il faut donc considérer les marqueurs passifs comme des consommables, ce qui augmente considérablement les coûts de l'intervention.

Il existe également des systèmes avec triangulation électromagnétique (mesure le champ magnétique basse fréquence) et triangulation par ultrasons (mesure de temps de vol).

Les éléments utilisés pour le repérage peuvent être soit un cadre, soit des fiduciaires collés ou vissés soit par repérage automatique par un palpeur sphérique ou pointeur qui balaie la surface du patient. La surface obtenue est recalée sur les images préopératoires

Il existe trois gammes de système de neuro navigation :

–Système à pointeur :

Le système de base, correspondant au premier niveau, est le système dit « à pointeur ». Il est composé des éléments décrits précédemment et utilise un pointeur pour la phase d'enregistrement comme outil de repérage. Le suivi de la position des instruments chirurgicaux en temps réel est possible après adaptation de ces derniers.

On peut intégrer dans cette gamme d'équipement le système dit (à microscope passif). il existe la possibilité d'adapter un système de surimpression de données dans le binoculaire du microscope. Ainsi, le chirurgien peut obtenir certaines informations (trajectoire, contours) sur sa navigation sans quitter le champ opératoire. Cette option est également disponible sur les systèmes décrits ci-dessous.

- Le système à microscope:

C'est le système de neuronavigation qui intègre le microscope (figure 3). Le support de ce dernier peut être motorisé et ainsi fournir au chirurgien une aide au déplacement. Pour pouvoir

utiliser le microscope comme dispositif de repérage, il est nécessaire que ce dernier renvoie l'information de la position du point focal dans l'espace. Tous les microscopes du marché peuvent transmettre facilement les coordonnées x et y par l'intermédiaire de leur système de repérage. En revanche, ils ne sont pas tous en mesure de renvoyer l'information sur la profondeur (coordonnée z du point focal). Seuls ceux disposant d'un système de mesure spécifique en sont capables car il est impossible de renvoyer avec précision cette information à partir du simple moteur pas à pas du focus. En effet, le point focal ne se situe pas forcément sur la structure où est réalisée la mise au point : le chirurgien visualise nettement les objets sur toute la profondeur de champ du microscope et non pas seulement au point focal. Ainsi, l'erreur commise peut être de plusieurs centimètres.

Deux dispositifs permettent la définition du point focal. Le premier possède un système autofocus à visée laser et le second permet au chirurgien de visualiser ce point grâce à deux faisceaux visibles.

À partir de ces systèmes, on peut donc afficher la position du point focal sur les images préopératoires. Ainsi, le microscope devient un outil de repérage. Le chirurgien peut à chaque instant connaître sa position dans l'anatomie en faisant une mise au point sur la zone concernée. Le microscope peut d'ailleurs être utilisé lors de l'enregistrement de marqueurs extrinsèques collés pour éviter un déplacement de ces derniers en cas de contact avec le pointeur.



**figure 9** : système de neuro navigation qui intègre un microscope

- Le système à microscope robotisé:

Le microscope est fixé sur un bras robotisé à plusieurs degrés de liberté. Sa position dans l'espace est déterminée soit par le dispositif d'asservissement moteur, soit par les cameras infrarouges. Le point focal est déterminé de la même manière que précédemment.

Ce système possède donc les mêmes fonctionnalités que celui décrit ci-avant et a en plus la possibilité d'être directement piloté par la station de travail. Le microscope peut ainsi venir se placer dans l'axe de la voie d'abord déterminée durant la phase de planning et revenir par exemple automatiquement à une position antérieure mémorisée si le chirurgien juge que sa position actuelle est moins adaptée. Il peut donc guider le robot et pointer le microscope vers une structure de son choix, identifiée préalablement sur la station de travail.

Dès 2000, on dénombre déjà environ 800 systèmes de navigation chirurgicale toute application confondue.

BrainLAB, Radionics (Tyco Healthcare) **Medtronic**, Zeiss, Elekta, Philips Medical Systems Sulzer Medica , General Electric Healthcare , Surgical Navigation Specialists (SNS)

Dans notre étude, le système de neuro-navigation utilisé au bloc opératoire de neurochirurgie était Medtronic's S7 StealthStation ( figure 10 )



**figure 10** : S7 StealthStation de Medtronic. Le S7 est un modèle récent de la plateforme de chirurgie guidée par l'image de Medtronic. Sur la gauche se trouve un grand écran tactile haute définition. À droite se trouve l'ordinateur de navigation et le poste de travail de planification. Notez que la caméra infrarouge utilisée pour le suivi optique est attachée au poste de travail et positionnée au-dessus du champ opératoire

## **IV. Procédure de la neuro-navigation:**

Une procédure de neuro-navigation se décompose en quatre étapes:

- 1-L'acquisition d'images
- 2-La planification (planning)
- 3-L'enregistrement
- 4-Le suivi des instruments et la visualisation (l'acte chirurgical).

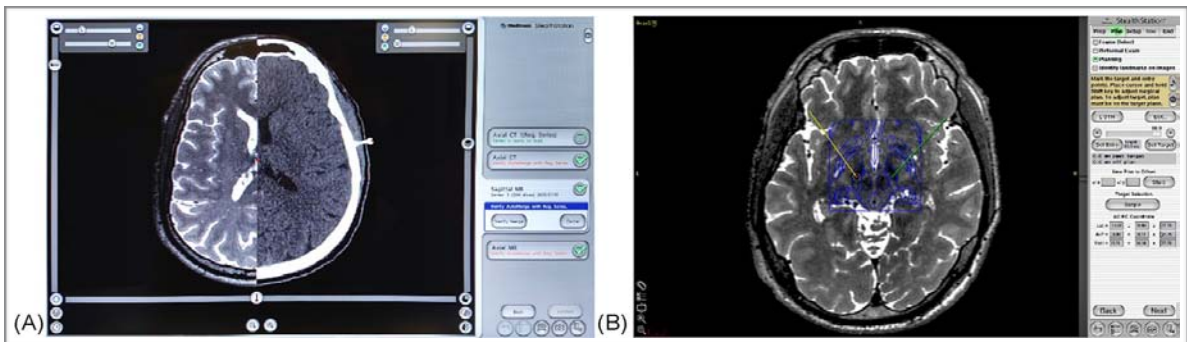
### **1. L'acquisition d'images :**

Cette phase est réalisée le plus souvent la veille de l'intervention (10). L'acquisition d'image est le processus d'obtention d'imagerie préopératoire et de leur chargement dans le logiciel de guidage d'image. L'espace cérébral n'est plus matérialisé comme en stéréotaxie par cadre, élément contraignant, mais par des marqueurs.

Des vis fixées à la boîte crânienne ou des points de référence anatomiques peuvent être utilisés. On a recours parfois à des pastilles qui sont collées sur la peau du patient. Les systèmes de guidage d'images s'interface généralement avec le réseau de radiologie d'un hôpital où permettent le chargement d'images au format DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine) à l'aide d'un disque compact (CD) ou d'une clé USB. Les images scanographiques et IRM à haute résolution sont les plus couramment utilisées en neurochirurgie avec une épaisseur de coupe allant de 0,5 à 2,0 mm. La tomodensitométrie et l'IRM ont tous les deux des avantages selon l'objectif de la chirurgie. Le scanner est utile pour définir l'anatomie des sinus dans les chirurgies par voie endonasale et les angioscanners peuvent être utiles pour la chirurgie des anévrismes.

Lorsque des repères à base de Titanium sont utilisés dans le marquage du crâne, la TDM est requise. Les scanners et IRM peuvent être fusionnés en utilisant un logiciel de planification. Les séquences T1 sont utiles pour définir les vaisseaux sanguins et les tumeurs. Les images pondérées en T2 montrent très bien le liquide céphalo-rachidien. Plusieurs séries différentes

peuvent être fusionnées et mélangées à des degrés divers. Cette caractéristique facilite la planification chirurgicale (Figure 11 ) (11).



**Figure 11:** Logiciel de planification. (A) Cette capture d'écran du logiciel de planification StealthStation montre une IRM sagittale T2 reformatée fusionnée avec un tomodensitogramme axial. Remarque: la vis du crâne sur le scanner qui sert de repère pour l'enregistrement. (B) La deuxième capture d'écran montre une IRM T2 axiale superposée à un atlas stéréotaxique. Cela facilite la planification du placement des électrodes pendant la stimulation cérébrale profonde.

## 2. la planification ( planning):

Le chirurgien traite les informations sur une station informatique pour définir une stratégie opératoire.

Après avoir contrôlé la validité des images, le neurochirurgien réalise un contourage de la cible et des zones à risques. Ensuite, il définit la voie d'abord, la trajectoire qu'il va suivre pendant l'intervention, ainsi que la dimension de l'ouverture crânienne. Il peut visualiser les différentes structures rencontrées le long de sa descente chirurgicale et vérifie la faisabilité de ses gestes.(10)

Par exemple, avant d'implanter un stimulateur cérébral profond, la combinaison de séquences IRM permet au chirurgien de cibler le placement du plomb sur les images T2 et de planifier une trajectoire de plomb dépourvue de vaisseaux sanguins sur les images T1 contrastées. Des séquences plus spécialisées sont utilisées pour afficher les faisceaux de fibres de la substance blanche et peuvent aider le chirurgien à éviter d'endommager les zones cérébrales éloquentes au cours des résections tumorales.

La plupart des logiciels de planification peuvent générer des reconstructions 3D, superposer des atlas anatomiques standardisés (figure 11) et définir une trajectoire avec des cibles et des points d'entrée présélectionnés.

Cette phase de planning est jugée primordiale car elle conditionne le bon déroulement de l'intervention. Elle correspond à une phase de simulation de l'acte chirurgical. Sa durée est variable et dépend essentiellement du type de lésion à traiter. Dans notre étude cette phase est réalisée juste avant l'acte chirurgical dans une durée allant de 30 à 50 min.

Pour les étudiants ou les jeunes neurochirurgiens, elle présente un intérêt certain. Le neurochirurgien confirmé dévoile sa technique et explique sa démarche. Toutes les données sont ensuite enregistrées et envoyées sur la station de travail au bloc opératoire.

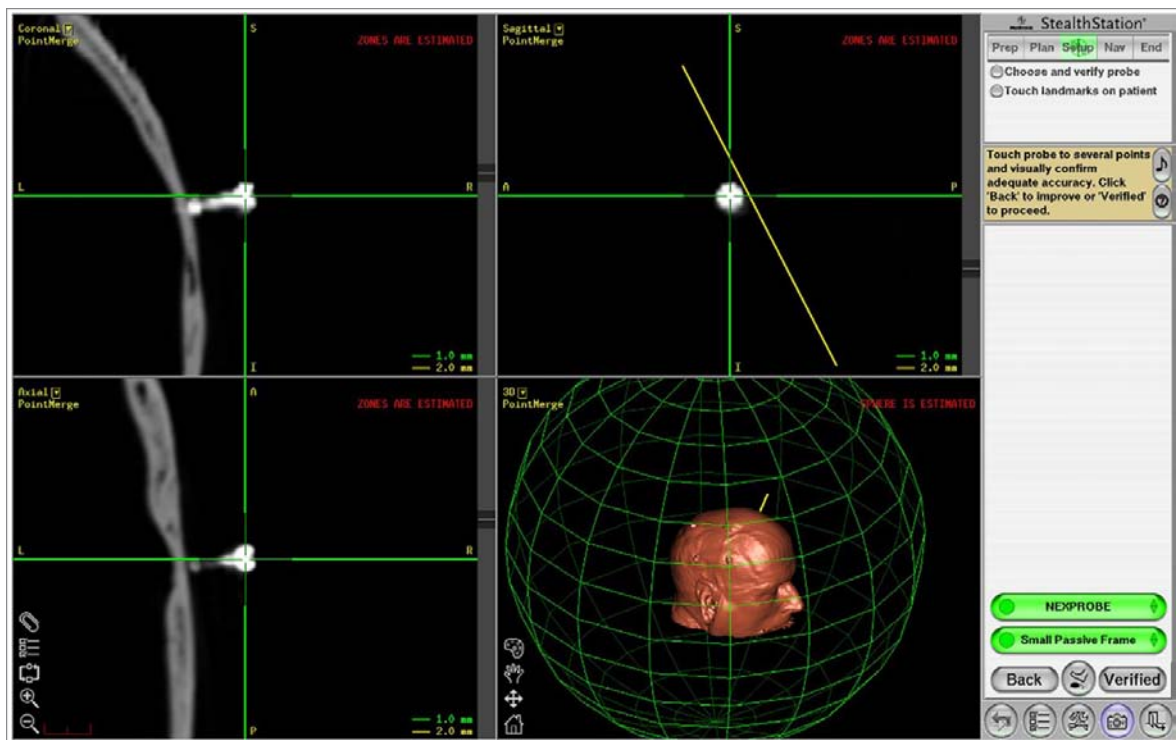
### **3. L'enregistrement :**

C'est le processus de création et de liaison des systèmes de coordonnées dans l'espace réel (la salle d'opération) et dans l'espace numérique (la reconstruction volumétrique des données d'imagerie). Ceci peut être accompli en utilisant des points présélectionnés ou une topographie de surface " Countouring ". Dans notre étude tout les patients ont bénéficié d'un marquage par counturing à l'aide d'un système informatique de repérage intégré dans le système de neuro navigation utilisé. Les systèmes de point fusion nécessitent la sélection de points sur des images préopératoires (repères fiduciaires ou anatomiques), puis la communication de ces points dans l'espace réel à l'ordinateur via la technologie de suivi optique (figure 12).(10)

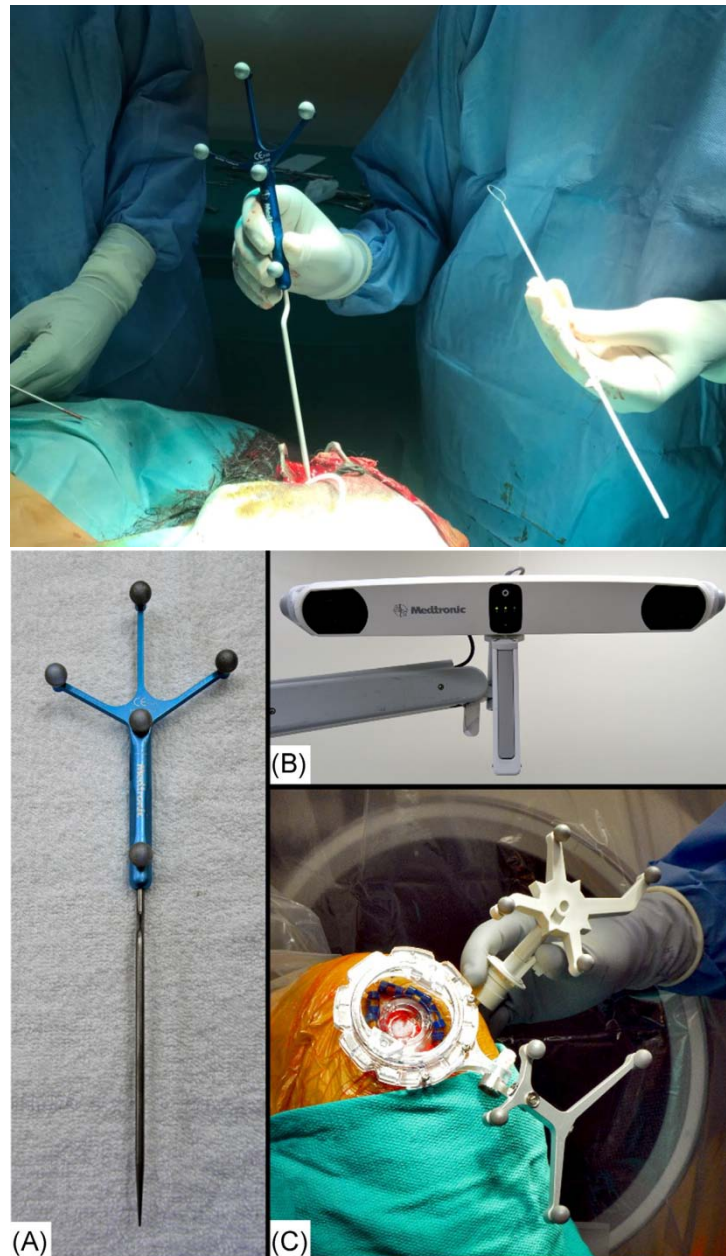
Une caméra placée au-dessus du champ opératoire émet des ondes infrarouges et détecte la réflexion des marqueurs passifs fixés sur le patient. Une sonde mobile avec des marqueurs réfléchissants est utilisée pour informer l'appareil photo et l'ordinateur où les repères sont en relation avec le cadre de référence (figure 9). Une fois que l'emplacement de chaque

repère a été envoyé à l'ordinateur, une matrice de transformation est appliquée. Une alternative à la fusion de points est la topographie (counturing) faciale. Dans ce système, le visage d'un patient est scanné avec un laser de poche ou tracé avec une sonde optique permettant à l'ordinateur d'appliquer une matrice de transformation basée sur la topographie (12) (figure 4).

C'est une méthode beaucoup plus rapide et facile mais pas aussi précise que le système de fusion de points.



**Figure 12 :** Enregistrement par fusion de points Lors de la planification, le centre de chaque repère fiduciaire (vis métallique) est sélectionné par le chirurgien et stocké dans l'ordinateur. Pendant l'enregistrement, la pointe d'une sonde de suivi optique est placée au centre de chaque vis de repérage. L'ordinateur appliquera ensuite une matrice de transformation pour aligner le modèle 3D sur le champ chirurgical. Remarque: la sphère verte entourant le modèle du patient. Ceci indique qu'il y a moins de 1 mm d'erreur lors du suivi dans le volume de la sphère.



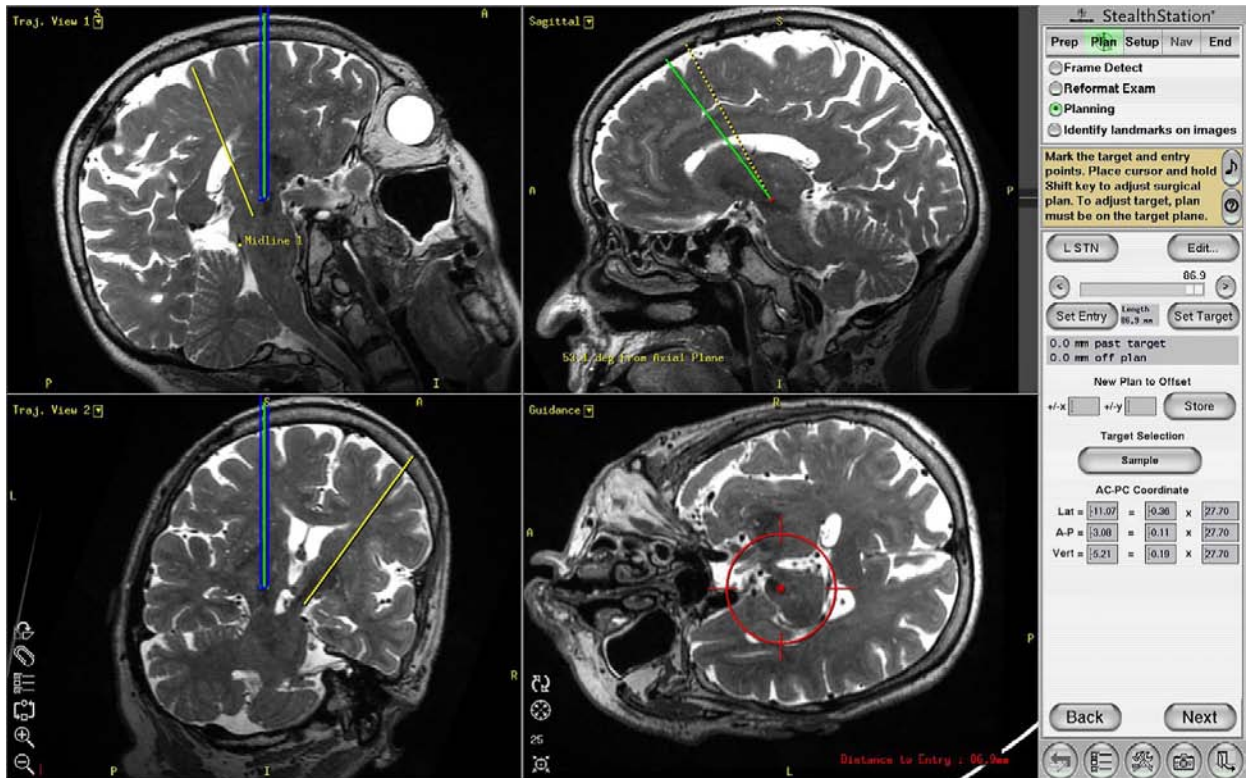
**Figure 13 :** Instruments de suivi (A) Une sonde de suivi optique typique. Notez les sphères réfléchissantes qui relaient les informations de position à la caméra infrarouge. (B) La caméra qui émet et reçoit des ondes infrarouges. Il est positionné au-dessus du champ opératoire et doit maintenir une ligne de visée avec le cadre de référence et la sonde de suivi. (C) Cette photo illustre un cadre de référence monté sur le crâne et une autre sonde de suivi optique. Le cadre de référence est fixé au crâne du patient, mais la sonde de suivi peut être déplacée autour du champ. La position de la sonde dans l'espace numérique est déterminée en fonction de sa position relative par rapport au cadre de référence une fois l'enregistrement terminé. Les instruments représentés sur cette figure sont Nexframe et Nexprobe, qui sont utilisés pour le placement des électrodes de stimulation cérébrale profonde.



**Figure 14 :** Enregistrement du traceur facial. La topographie faciale peut également être utilisée pour enregistrer un patient pour le guidage d'image. Une sonde de suivi est tracée le long des contours du visage pendant que l'ordinateur enregistre la position de l'extrémité de la sonde. Une matrice de transformation est appliquée à tous ces points afin d'établir le système de coordonnées. Cette capture d'écran montre un modèle typique que les chirurgiens utilisent pour tracer la topographie faciale.

#### **4. Le suivi des instruments et la visualisation (l'acte chirurgical):**

La localisation et le suivi en temps réel d'une sonde ou d'un instrument chirurgical peuvent être réalisés en utilisant une variété de méthodes. Comme mentionné précédemment, cela peut être accompli avec des ondes sonores (13), la lumière infrarouge (14, 15,16) ou d'autres technologies. Une méthode qui est de plus en plus adoptée implique les champs électromagnétiques. Au lieu d'utiliser un microphone ou une caméra pour déterminer la position de la sonde, une bobine magnétique est utilisée pour suivre une sonde. Dans ce système, la sonde utilise l'électricité pour générer des perturbations dans le champ magnétique généré par la référence. Un avantage de ce système est que la ligne de vue n'a pas besoin d'être maintenue pendant le suivi(17) Une fois qu'un patient est enregistré et que les instruments sont prêts pour le suivi, le chirurgien doit avoir un moyen de visualiser son emplacement anatomique. Les systèmes de guidage d'images utilisent un moniteur haute définition pour afficher la position au chirurgien. Les vues traditionnelles telles que axiale, coronale et sagittale sont des caractéristiques standard. Des outils plus avancés sont également disponibles, selon le fabricant. La StealthStation utilisée dans notre service, offre une reconstruction 3D, un suivi de la fibre, une vue de guidage, une vue de trajectoire et une superposition d'atlas stéréotactique. La vue d'orientation projette la cible comme un cercle au centre d'un réticule et la trajectoire actuelle en tant que point qui doit être gardé dans ces réticules (Figure 15). Ceci est particulièrement utile pour les procédures stéréotaxiques où une électrode ou une aiguille de biopsie est introduite dans le cerveau.



**Figure 15:** Visualisation. Il y a une variété d'options pour la visualisation pendant la chirurgie.

Le StealthStation fournit des vues de trajectoire, ce qui est utile lorsqu'on place des aiguilles ou des électrodes. Les images sont reformatées et affichées en coupes obliques dans le plan de la trajectoire prévue (quadrants en haut à gauche et en bas à gauche). Cela permet au chirurgien de voir toutes les structures qui seront rencontrées par un instrument lors de son passage dans le cerveau. La vue d'orientation est particulièrement utile pour aligner un instrument avant de le passer dans le cerveau. Le quadrant inférieur droit montre des réticules qui indiquent la trajectoire attendue et un cercle au centre représentant la cible. En gardant la cible au centre du réticule, le chirurgien peut être certain que son instrument avance le long de la trajectoire prévue. Le quadrant supérieur droit montre une vue sagittale standard.

## V. Applications de la neuro navigation :

Cette chirurgie se situe le plus souvent dans un contexte hors urgence.

## **1. Résection chirurgicale des tumeurs et des malformations vasculaires cérébrales:**

La neuroimagerie moderne décrit très exactement l'anatomie individuelle du patient, y compris les changements pathologiques des structures. Cependant, dans certains cas il peut être difficile d'extrader ces données d'imagerie vers le site chirurgical, vu que les repères anatomiques peuvent manquer (par exemple, dans la substance blanche) ou bien les différences entre le tissu normal et pathologique peuvent être clairement visibles mais difficilement discernables sous le microscope opératoire ainsi pour les lésions à croissance lente qui provoquent un remodelage des structures cérébrales sur une longue période de temps (18). Dans d'autres cas, une approche directe de la cible pathologique nécessiterait la localisation exacte des structures anatomiques avant qu'elles ne soient visualisées directement dans le champ opératoire. À la lumière de ces défis, de meilleures approches chirurgicales sont nécessaires.

la neuronavigation s'est avérée être un outil utile et précieux en fournissant un lien interactif entre les données d'image et le champ chirurgical. La plupart des études publiées sur ce sujet traitent des données objectives comme le traitement des données d'image, le matériel et les logiciels nécessaires, les procédures d'enregistrement, la faisabilité technique et les limites, les mesures d'exactitude, le changement de cerveau et décrivent l'application pratique de cette technique dans la salle d'opération dans une variété de procédures chirurgicales.

Certaines études se concentrent également sur l'utilité subjectivement évaluée de la neuronavigation pour répondre à la question plutôt simple, à savoir si la neuronavigation aide vraiment le neurochirurgien à opérer.

Sipos et al [19] ont rapporté l'évaluation de l'utilité sur la base de questionnaires postopératoires chez 45 patients. Ils ont différencié les différentes étapes de la procédure chirurgicale (planification, incision du cuir chevelu, craniotomie, incision du parenchyme, résection) et ont constaté que le dispositif était jugé utile ou très utile par le chirurgien respectif dans 93% des cas.

Golfinos et al[20] ont rapporté l'utilité de la neuronavigation dans 310 cas; Sept chirurgiens différents l'ont évalué comme (oui ou non) pour planifier la craniotomie, définir l'anatomie, localiser la sécrétion, définir les marges et déterminer l'étendue de la résection. Les cotes les plus élevées (jusqu'à 100% de réponses oui) ont été données pour définir l'anatomie peropératoire.

De même, Wirtz et al. [21] ont évalué l'utilité de la neuronavigation (pour planifier l'approche, localiser l'anatomie, trouver la lésion, l'incision corticale, les limites tumorales, l'étendue de la résection) jugées par le neurochirurgien et comparer en outre différents dispositifs de neuronavigation. Ils ont trouvé les évaluations (oui) les plus élevées (jusqu'à 100%) pour définir la cible dans la chirurgie de cavernome.

McDermott et Wachorst [22] ont rapporté que leur système de neuronavigation était utile dans la chirurgie de la base du crâne pour une corrélation anatomique précise et une définition des marges (100% oui), mais pas pour l'incision du cuir chevelu et la planification de la craniotomie (0% oui).

Dans une autre étude W.Wagner et al[23] ont conclu que la navigation peut être un outil utile pour tout neurochirurgien. Ils ont également cherché à définir quels types de procédures neurochirurgicales peuvent être particulièrement adaptées à la neuronavigation. Il y avait des différences majeures selon l'emplacement de la cible chirurgicale. Les scores les plus élevés ont été trouvés pour les tumeurs dans la zone centrale (en particulier, les processus intra-axiaux) et généralement dans la substance blanche. Ceci reflète le manque de repères anatomiques dans ces régions et souligne l'importance d'une technique pour l'orientation peropératoire.

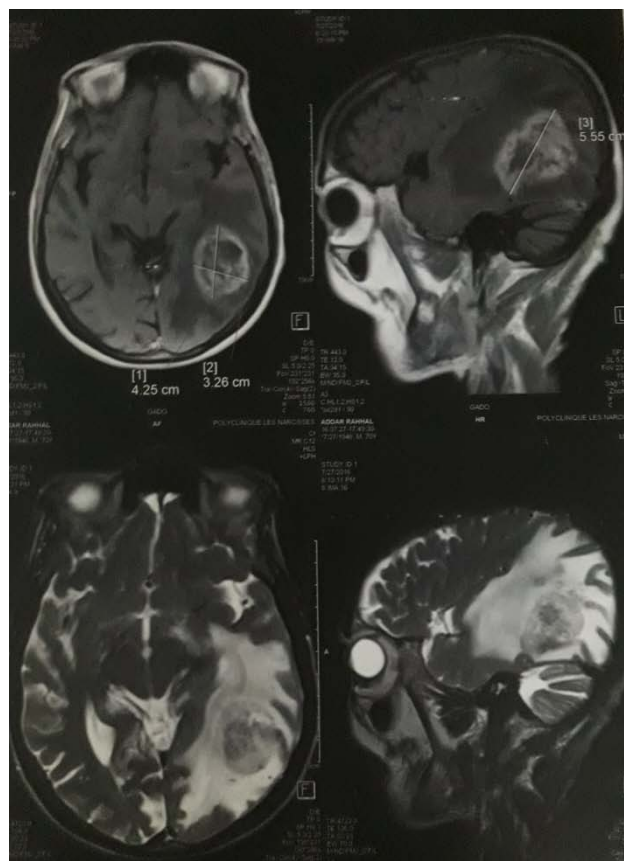
Dans les aires corticales motrices ou de langage, l'identification fonctionnelle supplémentaire des structures dites éloquentes au moyen de tests électrophysiologiques ou la mise en œuvre de fonctions préopératoires. Les données IRM peuvent encore améliorer la sécurité chirurgicale [24,25,26,27,28,29].

De nombreux neurochirurgiens utilisant la neuronavigation estiment que l'intervention chirurgicale pourrait être plus sûre. W.Wagner et al [23] ont donc évalué l'effet potentiellement

préventif de la navigation, basé sur des jugements subjectifs du neurochirurgien. Le pourcentage moyen plutôt faible d'environ 30% des cas peut s'expliquer par le fait que dans les processus à la calvaria ou dans les zones non éloquentes la probabilité d'un déficit neurologique post-opératoire est très faible, de sorte que dans de tels cas la neuronavigation peut être utile dans la planification de l'approche, la localisation de la craniotomie, etc., mais ne peut prévenir une complication qui est très improbable, même en l'absence de neuronavigation. Il n'est pas surprenant, cependant, que dans les tumeurs intra-axiales de la région centrale, les scores de l'effet préventif étaient très élevés.

Dans notre série trois patients dont l'âge était compris entre 34 et 78 ans ont été opérés pour des tumeurs cérébrales profondes de localisations différentes.

La résection tumorale était complète . Les suites opératoires étaient simples sauf une hemiparésie droite transitoire qui a été notée dans un cas.



**figure 10 : IRM cérébrale coupes axiale et sagittales sequences T1 T2**

Cas d'un patient âgé de 78 ans, qui avait cliniquement un sd d' HTIC et chez qui l'IRM (figure:10) objective un processus tumoral temporo occipital gauche en faveur d'un gliome. La chirurgie s'est déroulée sur 4h20 min sans incident ni per opératoire est chez qui on a note un déficit de l'hémicorps droit transitoire en post opératoire.

## **2. Biopsies cérébrales :**

Certaines tumeurs cérébrales sont inopérables, mais pour proposer le traitement le plus approprié, les différentes équipes médicales ont besoin d'en connaître le diagnostic histologique. On doit alors effectuer des biopsies qui, grâce à la neuronavigation, peuvent être réalisées à travers l'os du crâne par un trou de quelques millimètres de diamètre seulement.

Aujourd'hui, certains neurochirurgiens acceptent que les systèmes de guidage d'image soient applicables aux biopsies intracrâniennes de lésions de taille moyenne, Cependant, des doutes subsistent pour certaines applications et localisations. En particulier, pour les lésions du rhombencéphale ou des lésions profondes, la stéréotaxie à base de cadre est encore considérée comme plus sûre et plus précise [30]. Cependant, certaines études ont prouvé l'exactitude de la localisation des cibles pour les systèmes stéréotaxiques et guidés par images [31, 32].

La biopsie de lésions cérébrales en condition de neuronavigation est une méthode sûre, précise, ciblée et relativement fiable pour une grande majorité de lésions intra-crâniennes. Elle permet d'effectuer, par le même orifice, plusieurs trajets différents, sans cadre [33].

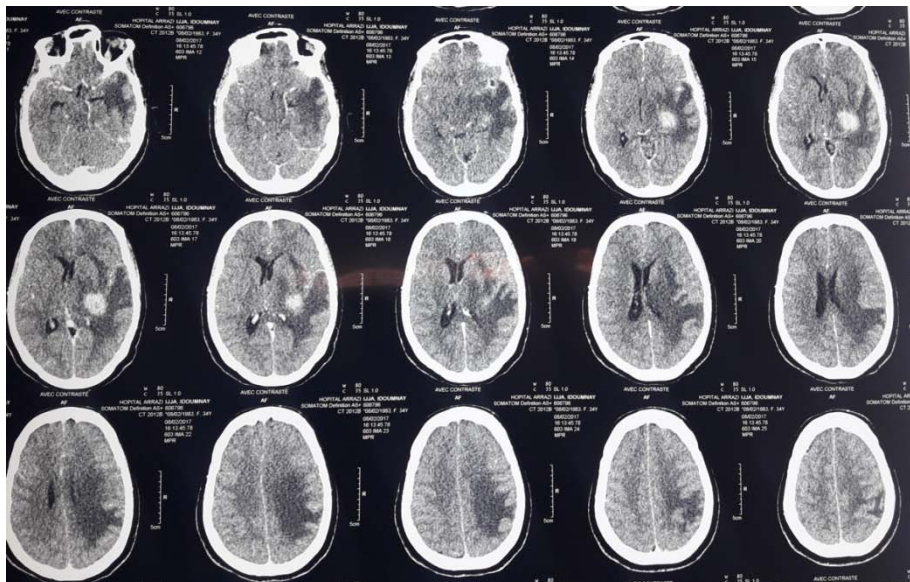
De façon rétrospective, P. Bouillot et al [33] ont analysé une série de 34 patients (22 hommes et 12 femmes, âge moyen : 61 ans) ayant bénéficié d'une ou de plusieurs biopsies d'une lésion cérébrale, sous neuronavigation (station de neuronavigation Brain Lab). Ces biopsies ont été faite à partir d'un seul trou de trépan, avec parfois plusieurs trajets, et intéressaient toujours, le cas échéant, la zone prenant le contraste. L'imagerie de repérage pré- et per-opératoire consistait en une IRM chez 17 patients, un scanner chez 11 patients et une fusion scanner-IRM chez 6 patients. Tous les résultats histologiques ont été pathologiques et aucune complication n'est survenue.

Le rendement diagnostique pour les biopsies sous neuro navigation et sous stéréotaxie dans la littérature est compris entre 89 et 100% [31,34,35,36,37,38]. Ainsi, les taux de complication sont compris entre 3% et 12% dans des séries différentes pour la stéréotaxie sans cadre et avec cadre [39,31,40].

Dans une étude J Genpt et al [41] ont rapporté l'utilité de la neuronavigation dans les biopsies cérébrales ainsi les biopsies ont toutes été réalisées sous anesthésie générale. Dans cette étude les auteurs estiment qu'une biopsie sous anesthésie générale est une expérience moins gênante pour le patient, bien que l'exécution de la biopsie sous anesthésie locale soit également possible le rendement diagnostique était de 93,8%.

Les différences dans la durée de l'acte en fonction du mode d'anesthésie et de différents systèmes ont été signalées. Certains auteurs ont récemment souligné les avantages de la stéréotaxie sur la neuro navigation sans cadre, avec un temps total réduit (114 min pour le stéréotaxie et 185 min pour la neuronavigation ) [39] .

Dans notre série, une seule biopsie cérébrale a été faite pour une tumeur pariéto temporale gauche (figure:11) , L'acte chirurgical c'est déroulé dans 180 min sans incident ni per ni postopératoire.



**Figure 11 : TDM cérébrale coupe axiale avec injection de PDC objectivant un processus expansif pariéto-temporale gauche prenant le produit de contraste avec important œdème peri lésionnel.**

A noter que depuis quelques années plusieurs communications montrent la faisabilité des biopsies des lésions du tronc cérébral. La biopsie de ces tumeurs sous neuro- navigation est une procédure avec faible risque de complications neurologiques, techniquement simple et d'une grande précision diagnostique. Son adaptabilité à la population pédiatrique constitue un pas fondamental dans la prise en charge multidisciplinaire des tumeurs infiltrantes du tronc cérébral[42].

### **3. Dérivation des hydrocéphalies et chirurgie endoscopique.:**

Dans les hydrocéphalies le traitement de choix consiste à dériver le LCR dans la cavité péritonéale. Or, trouver le ventricule par un petit trou dans le crâne peut être source de difficulté pour le neurochirurgien: là encore, la neuronavigation lui permet de visualiser le trajet du drain dans le cerveau avant de rejoindre le ventricule.

Une étude sur cadavre a été menée par Bijlenga et al dont le but était de comparer 2 outils différents d'assistance à la mise en place de drain confrontés à la méthode traditionnelle par repérage anatomique. Les ventricules ont été manqués dans 30,7 % des cas d'insertions de drain sans assistance, dans 24,5 % des cas d'insertions par neuronavigation. L'utilisation d'une assistance double le temps de procédure passant de 3 minutes 30 secondes à 7 minutes. Au total, l'utilisation de l'assistance améliore l'exactitude du placement des drains ventriculaires au prix d'une légère prolongation du temps de l'intervention [43].

Des évaluations de l'utilité de la neuro navigation ont également été données pour les procédures endoscopiques dans les ventricules. Ceci est probablement dû à un pourcentage relativement élevé de patients atteints d'hydrocéphalie multiloculaire ou de kystes à paroi épaisse, l'orientation anatomique (basée uniquement sur la vue endoscopique) est particulièrement difficile; des arguments analogues s'appliquent aux cas avec de petits ventricules ou une vision floue par le LCR nuageux[44].

Dans notre série une patiente a bénéficié avec succès d'une dérivation ventriculo péritonéale sous neuronavigation. La durée de l'acte était de 20 min sans aucune complication.

#### **4. chirurgie des brèches ostéo méningées (BOM):**

Une brèche ostéoméningée est une solution de continuité ostéoméningée qui permet au liquide cébrospinal de s'écouler dans une cavité aérique de la base du crâne. Sa gravité est liée au risque d'infection du système nerveux central. Dans le cas d'une liquorrhée claire, abondante, le diagnostic positif est évident et l'imagerie a pour but la localisation de la brèche. Un examen scanographique avec coupes fines, complété par une imagerie par résonance magnétique (IRM) constituent le mode d'exploration le plus performant[80]

Traditionnellement, ces brèches ont été fermées par la réparation de l'anomalie durale par une craniotomie ouverte. Ces techniques peuvent être lourdes, non sans complications, et loin d'être couronnées de succès. Ces dernières années, des techniques endoscopiques ont été développées dans le domaine de la chirurgie nasale et de la neurochirurgie. De plus, au moyen d'une neuronavigation, il est possible d'identifier la piste chirurgicale avec une grande précision et, par la même occasion, d'identifier le défaut dans le crâne.

Dans une étude, M Kosteljanetz et al [81] ont opéré six patients avec BOM en combinant la technique endoscopique avec la neuro navigation par voie endonasale. La fistule a été confirmée avant l'intervention par injection sous-arachnoidale de fluorescéine. La chirurgie a été réussie et sans complications dans les six cas.

Dans notre série une patiente a été opérée sous neuro navigation pour BOM. La chirurgie a été réussie sans complications.

#### **5. Neurochirurgie fonctionnelle:**

Des projets d'application de la neuronavigation sont en cours dans le domaine de la neurochirurgie fonctionnelle, notamment la chirurgie de la maladie de Parkinson, où il est primordial de placer des électrodes dans une cible bien précise. La technique est également exploitée dans la chirurgie de l'épilepsie, où elle aide le neurochirurgien à planifier la quantité de résection de cortex cérébral épileptogène dans certains types d'épilepsie partielle réfractaires

à tout traitement médicamenteux. Elle aide aussi à placer les électrodes pour SEEG ( Stéréo Electro Encéphalo Graphie).

✓ Maladie de parkinson:

La stimulation des noyaux sous thalamiques (NST) est en train de devenir un traitement standard pour les patients souffrant d'une maladie de Parkinson avancée (MP) avec une fluctuation motrice et / ou une dyskinésie invalidante ou avec un tremblement intraitable [58]. Cette stimulation est réalisée par la livraison d'un petit courant à haute fréquence en modifiant l'activité neuronale et la fonction cortico-basale des ganglions-thalamocorticaux [59-60],

Placer avec précision les sondes de stimulation profonde dans les NST ciblées est une étape essentielle pour la réussite de la thérapie chez les patients atteints de la maladie de parkinson [61].

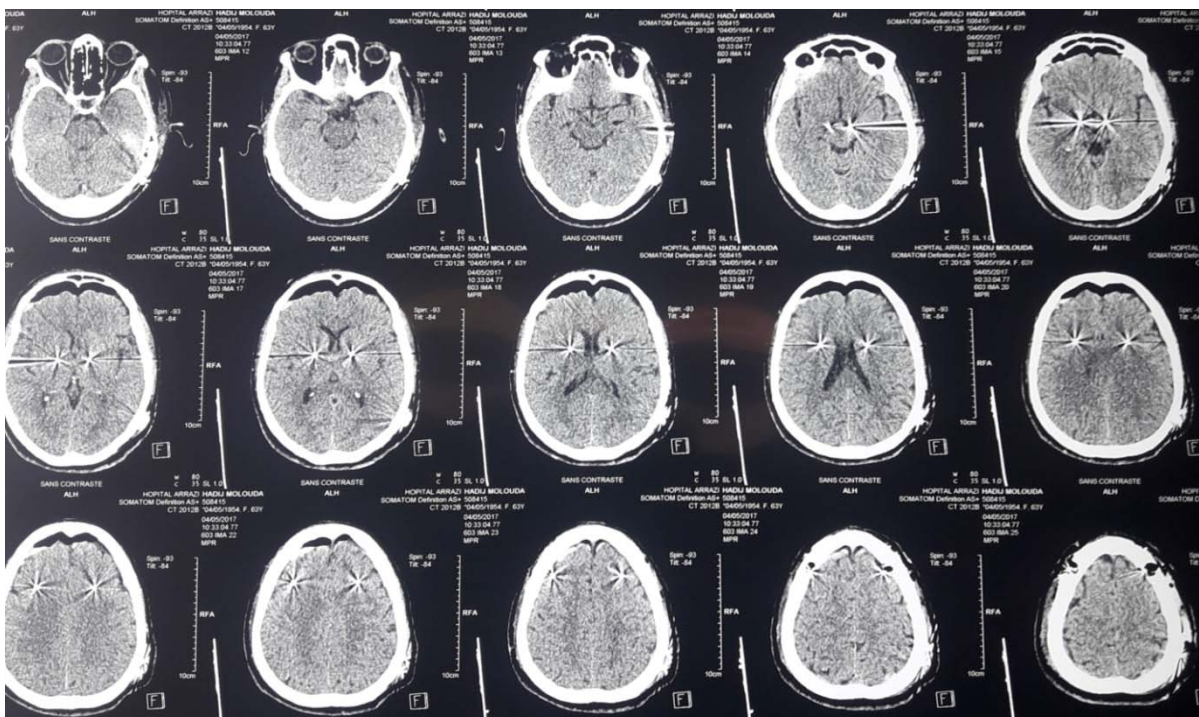
Le mauvais placement des sondes peut entraîner une amélioration insatisfaisante des symptômes, Un effet de stimulation défavorable ou même l'échec du traitement a été considéré comme l'une des complications majeures du traitement par stimulation profonde [62]. Pour éviter cette situation, de nombreux centres utilisent à la fois des techniques d'imagerie détaillées et l'enregistrement peropératoire par microélectrodes (MER) pour cartographier l'emplacement précis de la cible pendant la chirurgie [63-64].

La méthode stéréotactique traditionnelle basée sur cadre pour l'implantation des sondes de stimulation profonde représente souvent un défi considérable tant pour les patients que pour l'équipe chirurgicale. Habituellement, après avoir arrêté les antiparkinsoniens pendant plus de 12 heures, les patients atteints de MP ayant des incapacités graves sont maintenus éveillés pendant les procédures chirurgicales pour obtenir une cartographie physiologique précise[65]. Dans de telles circonstances, de nombreux patients atteints rencontrent des difficultés à tolérer le cadre stéréotaxique contraignant au cours de l'intervention chirurgicale prolongée [66]. En outre, le cadre interdit plus ou moins la communication visuelle ou verbale entre le patient et le personnel médical, et empêche également l'observation appropriée des traits faciaux du patient pendant la chirurgie et les tests de stimulation, car il est important d'éviter les effets secondaires stimulation [67].

Ces dernières années, la neuro navigation a été développée dans le but de réduire l'inconfort du patient et d'améliorer la capacité d'évaluation neurologique pendant la chirurgie tout en obtenant la même précision dans la mise en place des sondes de stimulation profonde [66,68].

Dans une étude C.H. Tai et al [69] ont trouvé que la chirurgie de la maladie de parkinson sous neuro navigation a un résultat similaire par rapport à la stéréotaxie ; Cependant, la neuro navigation peut diminuer la durée de la mise en place des sondes [ $8.0 \pm 1.9$  h pour la stéréotaxie vs.  $6.8 \pm 1.2$  h pour la neuro navigation].

Dans notre série six patients ont été opérés sous stéréotaxie sans cadre la mise en place des sondes de stimulation a été faite avec précision, sans complications, dans une durée moyenne de 8H30 min.



**Figure 12** : TDM cérébrale coupe axiale post opératoire d'un cas des patients chez qui la mise en place des sonde de stimulation profonde a été faite avec succès.

✓ chirurgie de l'épilepsie :

Dans une revue systématique [70] complète des études portant sur l'efficacité dans le contrôle des crises épileptiques et la sécurité de la chirurgie avec neuronavigation. Vingt-huit études sélectionnées pour cette revue ont suggéré de bonnes performances de chirurgie avec neuronavigation dans l'épilepsie. Mais rares ceux dans la littérature concernant l'efficacité dans le contrôle des crises et la sécurité de la chirurgie avec la neuronavigation ont été discutées, et comparées à la neurochirurgie conventionnelle dans l'épilepsie.

En conséquence, des articles ont été trouvés avec de faibles niveaux de preuve ou de niveaux de recommandation pour l'utilisation de la neuronavigation pour la chirurgie de l'épilepsie, selon les niveaux de preuve de l'OCEBM [71].

Par conséquent, l'efficacité clinique exacte dans le contrôle des crises et la sécurité de la neuronavigation pour la chirurgie de l'épilepsie seront assurées lorsque des essais chirurgicaux et cliniques auront été menés avec des modèles de recherche appropriés.

Néanmoins, selon cette revue systématique une chirurgie avec neuronavigation a des performances égales ou légèrement supérieures à la neurochirurgie conventionnelle pour l'épilepsie.

Il y a dix ans, une revue systématique a examiné l'efficacité dans le contrôle des crises de la neurochirurgie conventionnelle pour l'épilepsie dans 32 études impliquant 2250 patients et a trouvé un taux de maîtrise des crises de 65% [72].

Plus récemment, des études ont montré que ces taux peuvent varier de 43 à 75% dans différentes séries chirurgicales [73].

La chirurgie avec neuronavigation a réduit le besoin de résection, comme décrit dans les cinq études qui ont abordé ce problème [15, 20-23]. L'étude d'Oertel et al. a montré que le groupe de chirurgie conventionnelle nécessitait 16,5% de résections de plus que la chirurgie de l'épilepsie avec un groupe de neuronavigation [74].

Les déficits neurologiques étaient de 17,39% pour la chirurgie avec neuronavigation et de 18,18% pour la chirurgie conventionnelle dans une étude [74], et 7,90% chirurgie avec neuronavigation contre 17,4% chirurgie conventionnelle dans une autre [75].

En ce qui concerne l'efficacité de la chirurgie avec neuronavigation, une étude comparative a montré que la durée opératoire était légèrement plus importante pour la chirurgie avec neuronavigation que la chirurgie conventionnelle [74].

En moyenne, la durée de la chirurgie avec neuronavigation était de 224,06 min [74,76,77,78,79], comparativement à 208 min pour la chirurgie conventionnelle [74].

En ce qui concerne les paramètres postopératoires, le séjour en réanimation et le séjour à l'hôpital, il n'y avait pas de différence significative entre les techniques avec et sans neuronavigation. Le séjour à l'unité de soins intensifs a duré environ une journée et le séjour à l'hôpital était d'environ 17 jours [74].

Dans notre série aucun patient souffrant d'une épilepsie n'a été opéré sous neuro navigation.

## **6. Chirurgie du rachis :**

Certains traumatismes ou troubles dégénératifs du rachis nécessitent la fixation de deux ou plusieurs vertèbres entre elles par des vis. Lorsque la colonne est abordée par voie postérieure, la neuronavigation aide le praticien à viser les pédicules vertébraux et à suivre le trajet des vis dans l'os, pour éviter l'endommagement de la moelle épinière ou, dans le cas de fixation au niveau du rachis, d'éviter la lésion de l'artère vertébrale, une des quatre vaisseaux nourriciers du cerveau.

La navigation spinale a été introduite en 1995 dans le but d'améliorer la précision de l'insertion des vis pédiculaires et de minimiser ainsi le risque de lésions neurovasculaires, les avantages de l'utilisation de la navigation spinale pour placer avec précision les vis pédiculaires ont été rapportés dans une multitude d'études.45,46,47,48

Dans une étude sur des cadavres Weinstein et al.(49) ont trouvé que les vis pédiculaires ont violé le cortex dans 21% des spécimens lorsqu'elles ont été insérées en utilisant des repères anatomiques.

Un certain nombre d'autres études ont décrit des violations pédiculaires allant de 10% à 50% dans le rachis cervical et thoracique, où la taille, la forme et l'orientation de ces pédicules rend plus difficile l'insertion de vis pédiculaires guidées par anatomie. 50,51,52,49

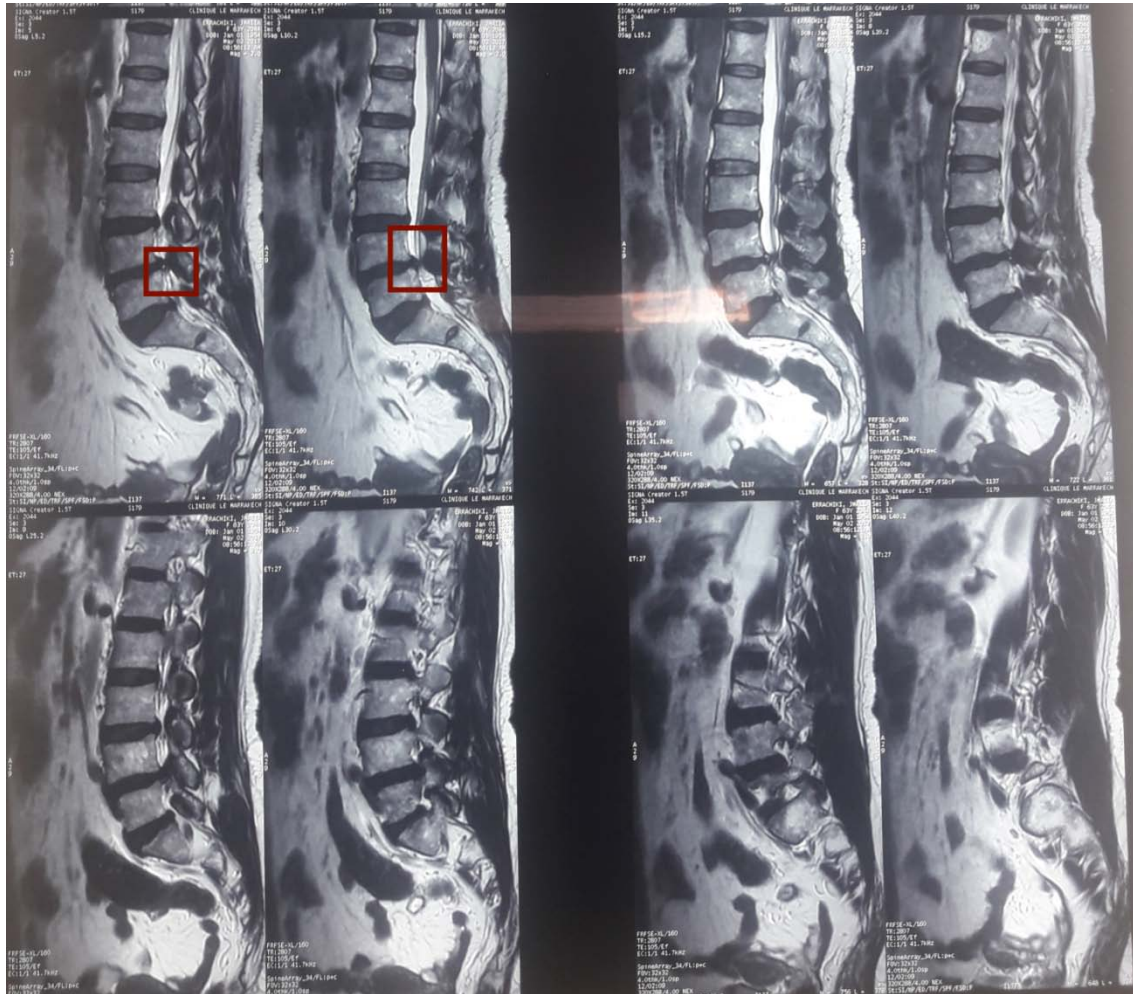
Dans une étude, la neuronavigation spinale guidée par images scanner peut augmenter la précision des procédures d'instrumentation rachidienne, tout en permettant des abords moins invasifs et une mineure exposition chirurgicale de l'arc postérieur. Toutefois, un prolongement du temps opératoire est nécessaire pour obtenir une registration satisfaisant de structures anatomiques. La connaissance précise de l'anatomie reste indispensable pour obtenir de bons résultats avec les techniques d'instrumentation spinale(53).

La chirurgie endoscopique est devenue la référence dans de nombreux domaines médicaux en raison des avantages peropératoires et postopératoires (54). La chirurgie mini-invasive du rachis est considérablement moins destructive et moins traumatisante, il est devenu très utilisée au cours de ces dernières décennies (55)

Ainsi, la discectomie lombaire endoscopique postérolatérale (PELD) a été préconisée comme une stratégie chirurgicale utile pour le traitement de la hernie discale lombaire symptomatique. (56)

Dans une étude F. Guoxin et al ont évalué l'apport de la neuronavigation dans la pris en charge de la hernie discale lombaire par discectomie lombaire endoscopique posterolatérale. Ainsi ils ont trouvé que la neuronavigation peut être un moyen important pour facilite cette acte chirurgical difficile .La durée de l acte chirurgicale était comprise entre 58 min et 75 min (57)

Dans notre série une patiente avec hernie discale lombaire (figure:13) a été opéré sous neuronavigation dans une durée de 160 min sans complication ni per ni post opératoire .Pas de cas de fixation sous neuronavigation n a été trouvé dans notre série.



**Figure 13:** IRM lombaire sequence T1 coupe sagittal objectivant une hernie discale paramédiane et foramenale gauche conflictuelles avec la racine de L5.

## **VI. les intérêts et les avantages de la neuro navigation:**

Traditionnellement, le chirurgien a simplement à sa disposition les données d'imagerie médicale et son expérience pour réaliser un acte chirurgical. Les images préopératoires aident à localiser et visualiser la lésion. Cependant, la forme dans laquelle l'information est présentée (négatoscope, coupes 2D de tomodensitographies, ...) n'est pas souvent la plus optimale pour guider le neurochirurgien. Devant des images 2D, il doit mentalement reconstruire la situation réelle dans l'espace et déterminer la meilleure approche pour minimiser les risques. D'où l'intérêt de développer des systèmes de navigation 3D (la neuro navigation).

Ces systèmes de neurochirurgie guidée par l'image développés à l'heure actuelle présentent divers avantages.

## **1. Une meilleure préparation de l'intervention:**

La simulation préopératoire de l'acte chirurgical sur station de travail permettra au neurochirurgien de repérer les contours de la lésion et d'identifier les zones du cerveau à éviter afin de réaliser les meilleurs gestes opératoires. Cette augmentation de la sûreté du geste est de nature à raccourcir la durée de l'opération.

A ce stade de planification opératoire, il s'agit d'optimiser la stratégie neurochirurgicale : localisation d'une lésion, définition de ses limites, voie d'approche, évitement des zones éloquentes, protection de structures telles que les artères nourricières ou les veines, le tout dans un environnement 3D.

Elle sert ensuite à définir avec précision les limites d'une craniotomie ce qui permet d'en réduire la taille (cicatrice de la peau, volet osseux).

## **2. Une aide à la navigation peropératoire:**

Le guidage en temps réel tout au long de l'opération du travail du neurochirurgien lui permet de visualiser la position précise des instruments chirurgicaux sur le modèle en 3D. L'extrémité et l'axe des instruments chirurgicaux manipulés pendant l'intervention se connectent au système de neuronavigation. Le chirurgien visualise ainsi en temps réel leur progression à l'intérieur du cerveau du patient. L'évolution des neuronavigateurs permet d'y associer un endoscope, une échographie et de cumuler les avantages de ces différentes méthodes.

Une fois le crâne ouvert, elle oriente le neurochirurgien dans ses déplacements : elle l'avertit de la proximité d'une zone éloquente ou d'une structure à protéger. Les fautes d'orientation du neurochirurgien sont corrigées.

En même temps, l'opérateur peut contrôler si les informations qui lui sont fournies par le système correspondent à la réalité chirurgicale.

### **3. Un bénéfice pour le patient:**

Pour résumer, cette neurochirurgie pilotée évite un rasage complet du crâne du patient, minimise la taille de l'incision ou de l'ouverture du crâne au strict minimum, augmente la précision du geste opératoire et permet de recourir à une chirurgie la moins invasive possible. Cela raccourcit la durée de l'intervention et de l'hospitalisation, au plus grand bénéfice du patient qui peut ainsi être opéré avec une plus grande sécurité et au prix de moins de traumatismes et de douleur.

La simulation préopératoire et le guidage peropératoire permettent le traitement chirurgical de lésions qui, par le passé, n'étaient pas opérables ou seulement avec des risques importants. La visualisation de la lésion et des structures adjacentes permet de réduire la mortalité. Certaines études nous montrent que les complications post opératoires sont ainsi diminuées, et que le temps de récupération du patient et la durée d'hospitalisation sont réduits.

De plus, ce type de guidage peropératoire a permis de remplacer l'usage de l'amplificateur de brillance et de diminuer par conséquent la dose reçue par le patient.

## **VII. les limites et les erreurs du système de neuro-navigation:**

Les résultats opératoires ne sont bons que si la technologie est utilisée à bon escient et intelligemment en ayant en tête ses limites. Ainsi toute technologie, aussi performante soit elle, comporte un degré d'erreur.

La principale limite est le déplacement des structures cérébrales «shift cérébral périopératoire». Les images utilisées pour guider l'acte chirurgical sont des images préopératoires. Elles ne prennent donc pas en compte les changements dus aux mouvements des tissus pendant la phase opératoire.

Ces derniers dépendent de la perte de liquide céphalorachidien, de la durée de l'opération, de la position de la tête, du type de lésion, de sa taille et de sa localisation, de l'administration de certains produits [82,83]. De nombreuses études sur le déplacement de la surface du cerveau ont été réalisées. Ainsi, nous pouvons dire que le déplacement moyen de la surface corticale est d'environ 1 cm, et cela dès l'ouverture du crâne [84]. La direction et l'amplitude du mouvement sont associées à la gravité plutôt qu'à la taille ou à l'orientation de la craniotomie.

Ce déplacement est également en corrélation avec le facteur temps, puisqu'il augmente avec ce dernier (perte de liquide céphalorachidien). Cela suggère que les décisions per opératoires doivent être prises le plus rapidement possible. Le déplacement est également dépendant de la localisation de la lésion et de la position du patient [83]. Le déplacement en surface est important. Toutefois, il paraît évident qu'il est plus faible en profondeur. On a pu ainsi montrer en utilisant l'imagerie par résonance magnétique per opératoire que l'on avait pour un déplacement en surface d'environ 2 cm, un déplacement au niveau de la fissure interhémisphérique et des ventricules latéraux d'environ 6 mm [83].

La seule solution pour pallier au déplacement cérébral reste donc d'intégrer au système des données d'imagerie per opératoires [84,85,86,87]. Pour cela, nous avons à notre disposition plusieurs techniques d'imagerie telles que l'imagerie par résonance magnétique per opératoire, la tomographie (le scanner mobile) et l'échographie.

Pour le système de neuronavigation dont nous disposons, l'incertitude dans le positionnement résulte de la méthode de détection des marqueurs, de la caméra infrarouge et de la résolution du scanner ou de l'IRM, Cette marge d'erreur est inférieure au millimètre.

A decorative rectangular frame with ornate, symmetrical scrollwork at each corner. The word "CONCLUSION" is centered within the frame in a bold, italicized, serif font.

***CONCLUSION***

Considérés comme l'aboutissement logique des progrès réalisés dans le domaine de l'imagerie médicale, les systèmes de neuronavigation sont des outils qui permettent au chirurgien de planifier et de guider son geste chirurgical. Il ne faut en aucun cas les considérer comme des instruments pouvant remplacer la compétence et l'habileté de l'opérateur ; ainsi, les informations fournies lors du planning préchirurgical doivent être prises avec réserve puisqu'elles ne constituent que des données théoriques devant être intégrées dans une prise en charge globale et contextualisées.

Aujourd'hui, cette technique présente encore certaines limites ; notamment les moyens nécessaires pour intégrer les données préopératoires et le repérage des nouvelles coordonnées, qui se voient coûteuses et encore au stade de développement des techniques utilisées. Toutefois cette technique présente de nombreux avantages, en dehors de l'intérêt pédagogique l'aide au repérage fournie au chirurgien est précieuse et la simulation du geste chirurgicale sur une station du travail permet de mieux préparer l'intervention. Ainsi, les risques sont diminués et les complications préopératoires sont minimisées.

L'intrusion de l'informatique dans les blocs opératoires semble inéluctable et cela dans de nombreuses spécialités, même si les conditions économiques de prise en charge des patients restent à perfectionner, cela constitue vraisemblablement une étape intermédiaire vers la robotisation de différentes tâches en chirurgie.

A decorative rectangular frame with ornate, symmetrical scrollwork at each corner. The word "ANNEXES" is centered within the frame in a bold, italicized, serif font.

***ANNEXES***





A decorative rectangular frame with ornate, symmetrical scrollwork at each corner. The word "RÉSUMÉS" is centered within the frame in a bold, italicized serif font.

***RÉSUMÉS***

## Résumé :

La neuronavigation, encore appelée stéréotaxie sans cadre relève de la chirurgie assistée par ordinateur ou chirurgie guidée par l'image. C'est un système de guidage et de navigation peropératoire, un véritable GPS anatomique pour le neurochirurgien.

L'objectif de notre étude est d'évaluer l'apport de la neuronavigation dans la prise en charge de la pathologie neurochirurgicale sur une série de 12 patients opérés au sein du service de neurochirurgie de l'Hôpital Ar-razi du CHU Mohamed VI de Marrakech durant une période de 1 an allant de 1er aout 2016 au 31 juillet 2017. L'âge de nos patients était compris entre 30 et 78 ans avec une moyenne d'âge de 54 ans, et une prédominance féminine de 58 %. Dans notre série, trois patients avaient une tumeur cérébrale de localisation profonde, six autres étaient suivis pour maladie de Parkinson réfractaire au traitement médical, et des cas isolés d'hydrocéphalie, de brèche ostéo-méningée et d'hernie discale lombaire. L'IRM a été réalisée chez dix patients et la TDM chez deux patients. Le système de neuronavigation utilisé était MEDTRONIC S7 stealthstation. L'anesthésie générale a été réalisée chez tous les patients. Six patients porteurs de maladie de Parkinson réfractaire au traitement antalgique ont bénéficié d'une chirurgie éveillée pour la pose d'électrodes de stimulation profonde. Le marquage par counting a été fait à l'aide d'un système informatique de repérage intégré dans le système de neuronavigation. La durée de l'acte chirurgical variait en fonction de l'indication avec une moyenne de 6 heures [0,33 –11 heures]

Les gestes prévus (biopsie, exérèse, stimulation des NST, dérivation ventriculaire...) ont été effectués avec succès sans incidents per-opératoires. En post-opératoire, un seul patient opéré pour tumeur cérébrale profonde a présenté une hémiparésie transitoire ayant durée cinq jours.

La neuronavigation constitue donc une aide importante pour le neurochirurgien. Ses champs d'utilisation sont multiples avec moins de risque de complications.

## **Abstract:**

Neuronavigation, also called frameless stereotactic surgery, is a computer-assisted surgery or image-guided surgery. It is an intraoperative guidance and navigation system; a real anatomical GPS for the neurosurgeon.

The aim of our study is to evaluate the contribution of neuronavigation in the management of neurosurgical pathology in a 12 patients' serie operated in the department of neurosurgery of the Ar-razi Hospital of Mohamed VI University Hospital of Marrakech during one year from August 1, 2016 to July 31, 2017. The age of our patients was between 30 and 78 with an average age of 54, and a female predominance of 58%. In our serie, three patients had a deep brain tumor, six others were followed for Parkinson's disease refractory to medical treatment, and isolated cases of hydrocephalus, osteomeningeal breccia and lumbar disc herniation. The MRI was performed for 10 patients, and CT for 2 patients. All patients were operated using the MEDTRONIC S7 stealthstation neuronavigation system. They were operated under general anesthesia with six cases of awake surgery for the placement of deep stimulation electrodes. All patients underwent counting markings using a tracking computer system integrated into the neuro navigation system. The duration of the surgical procedure varied according to the indication with an average of 6 hours (0.33-11hours ) The planned interventions (biopsy, excision, NST stimulation, ventricular diversion ...) were successfully performed without intraoperative incidents. Postoperatively, a single patient operated for deep brain tumor presented a transient hemiparesis lasting five days.

Neuronavigation is therefore an important aid for the neurosurgeon. Its fields of use are multiple with less risk of complications

## ملخص:

الملاحة الجراحية العصبية، التي تسمى أيضا جراحة المجسم بدون إطار، هي الجراحة بمساعدة الكمبيوتر أو الجراحة الموجهة بالصورة. تمثل الملاحة العصبية نظام توجيهي حقيقي لجراح الأعصاب .

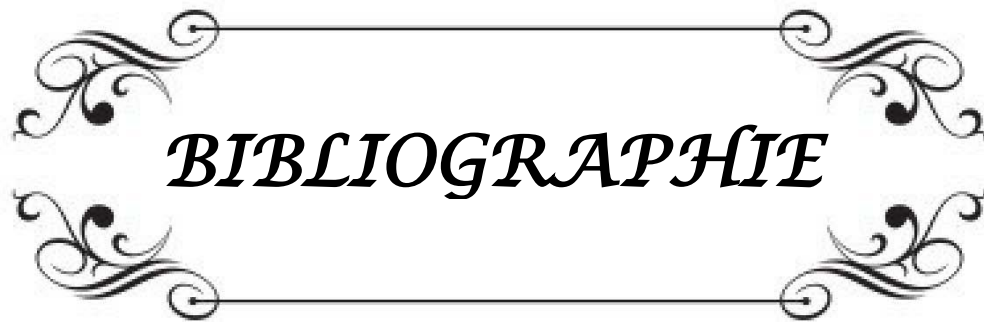
الهدف من دراستنا هو تقييم مساهمة الملاحة العصبية في إدارة أمراض جراحة الأعصاب في سلسلة من 12 مريضا بقسم جراحة الدماغ والأعصاب بالمستشفى الجامعي محمد السادس في مستشفى الرازي بمراكش لمدة سنة من 1 شتمبر 2016 إلى 31 يوليو 2017.

سن مرضانا يتراوح بين 30 و 78 سنة، بمتوسط 54 سنة. أغلبهم إناث (58%). في سلسلتنا، كان ثلاثة مرضى يعانون من ورم دماغي عميق، و ستة آخرين من مرضا الباركنسون، وحالات معزولة من استسقاء الرأس، وخرق لقاعدة الجمجمة وفتق القرص القطني. أجري التصوير بالرنين المغناطيسي عند عشرة مرضى، و الماسح الضوئي في حالتين. تم استعمال نظام الملاحة العصبية ستيلثستاتيون س7 لميدترونيك لدى جميع المرضى.

تمت العمليات تحت التخدير العام في جميع الحالات مع ست حالات من العملية مستيقظا لوضع أقطاب التحفيز وتراوحت مدة العمليات الجراحية بين 0.33 و 11 ساعة مع متوسط 6 ساعات.

تم تنفيذ الإجراءات المخططة بنجاح دون وقوع حوادث أثناء العملية . بعد العمل الجراحي عانى مريض واحد فقط من شلل نصفي مؤقت دام خمسة ايام.

ولذلك فإن الملاحة العصبية هي معونة مهمة لجراح الأعصاب ، ومجالات استخدامها متعددة مع خطر مضاعفات أقل بكثير.

A decorative rectangular frame with ornate, symmetrical scrollwork at each corner. The word "BIBLIOGRAPHIE" is centered within the frame in a bold, italicized, serif font.

***BIBLIOGRAPHIE***

1. **Paul P, roqua J, Lemaire ,Morandi jJ.**  
Neurochirurgie guidée par l'image :visualisation mixte et quantification des déformations cérébrales peropératoiresà l'aide de reconstructions stéréoscopiques de la surface corticale.  
*thèse soutenue le 8 décembre 2006 devant l'Université de Rennes 1.*
2. **Di Donato.P, Bergery . A ,Largillih-e . S,Lemaire. JJ.**  
La neuronavigation : principe et intérêt.  
*Revue general. ITBM-RBM 2000 ; 21 : 70-7.*
3. **O Ganslandt, R Fahlbusch , C Nimsky et al .**  
Functional neuronavigation with magnetoencephalography : outcome in 50 patients with lesions around the motor cortex.  
*J Neurosurg 1999; 91 : 73-79.*
4. **Wirtz CR, Knauth M, Hassfeld S, Tronnier VM, Albert FK, Bonsanto MM, Kunze S.**  
Neuronavigation ± first experiences with three different commercially available systems.  
*Zentralbl Neurochir 1998; 59: 14 - 22*
5. **S Periaswamy , H Farid.**  
Medical image registration with partial data.  
*Med Image Anal, 2006.*
6. **Paleologos TS, Dorward NL, Wadley JP, Thomas DG (2001)**  
Clinical validation of true frameless stereotactic biopsy: analysis of the first 125 consecutive cases. *Neurosurgery 49:830-835, discussion 835-837*
7. **E Watanabe, T Watanabe, S Manaka, Y Mayanagi, and K Takakura.**  
Three- dimensional digitizer (neuronavigator) : new equipment for CT-guided stereotaxic surgery.  
*Surg Neurol, 27 :5437, 1987.*
8. **Advanced Techniques in Image-Guided Brain and Spine Surgery, chapter Sources of Error in Image Registration for Cranial Image-Guided Neurosurgery, pages 1036.**  
New York : Thieme, 2002.)
9. **Lavallée S.**  
Gestes médico-chirurgicaux assistés par ordinateur (GMCAO).  
TBM, Novembre 1999; vol. 20.

10. **C.James , MD. Barrese , M. Jaimie, MD .Henderson .**  
Image-guided surgery.  
*Current Problems in Surgery* 52 (2015) 476-520.
11. **P. Di Donato, A. Bergery ,S.Largillih-e ,J.J.Lemaire.**  
La neuronavigation : principe et intérêt.  
*Revue general. ITBM-RBM* 2000 ; 21 : 70-7
12. **Henderson JM, Smith KR, Bucholz RD.**  
An accurate and ergonomic method of registration for image-guided neurosurgery.  
*Comput Med Imaging Graph.* 1994;18(4):273-277.
13. **Roberts DW, Strohbehn JW, Hatch JF, Murray W, Kettenberger H.**  
A frameless stereotaxic integration of computerized tomographic imaging and the operating microscope.  
*J Neurosurg.* 1986;65(4):545-549.
14. **Bucholz R, McDurmont L.**  
The history, current status, and future of the stealthstation treatment guidance system.  
*extbook of Stereotactic and Functional Neurosurgery.*Berlin, Heidelberg: Springer; 2009; p 543-565.
15. **Bucholz RD, Smith KR, Henderson JM, McDurmont LL, Schulze DW,**  
Intraoperative localization using a three-dimensional optical digitizer.  
*OE/LASE'93: Optics, Electro-Optics, & Laser Applications in Science& Engineering.* 1993.
16. **Smith KR, Frank KJ, Bucholz RD.**  
The NeuroStation-a highly accurate, minimally invasive solution to frameless stereotactic neurosurgery.  
*Comput Med Imaging Graph.* 1994;18(4):247-256.
17. **Peters T, Cleary K.**  
Image-Guided Interventions: Technology and Applications.  
*New York: Springer; 2008:28-31.*
18. **S, Guo-chen et al.**  
Functional neuronavigation-guided transparieto-occipital cortical resection of meningiomas in trigone of lateral ventricle.  
*World Neurosurgery* (2015)
19. **Sipos EP, Tebo SA, Zinreich SJ, Long DM, Brem H.**  
In vivo accuracy testing and clinical experience with the ISG viewing wand.  
*Neurosurgery* 1996; 39: 194 - 204

20. **Golfinos JG, Fitzpatrick BC, Smith LR, Spetzler RF.**  
Clinical use of a frameless stereotactic arm: results of 325 cases.  
*J Neurosurg* 1995; 83: 197 - 205
21. **Wirtz CR, Knauth M, Hassfeld S, Tronnier VM, Albert FK, Bonsanto MM, Kunze S.**  
Neuronavigation ± first experiences with three different commercially available systems.  
*Zentralbl Neurochir* 1998; 59: 14 - 22
22. **McDermott MW, Wachorst S.**  
Application of the ISG viewing wand in skull base procedures. In: Tamaki N, Ehara K  
Computer-Assisted Neurosurgery.  
*Tokyo: Springer, 1997: 204 - 214*
23. **W. Wagner, M. R. Gaab, H. W. S. Schroeder, W.**  
Tschiltschke. Cranial Neuronavigation in Neurosurgery: Assessment of Usefulness in  
Relation to Type and Site of Pathology in 284.  
*Minim Invas Neurosurg* 2000; 43 124-131
24. **Ganslandt O, Steinmeier R, Kober H, Vieth J, Kassubek J, Rom- stöck J, Strauss C,  
Fahlbusch R.**  
Magnetic source imaging combined with image-guided frameless stereotaxy: A new  
method in surgery around the motor Strip.  
*Neurosurgery* 1997; 41: 621 - 628
25. **Ganslandt O, Fahlbusch R, Nimsky C, Kober H, Möller M, Steinmeier R, Romstöck J, Vieth J.**  
Functional neuronavigation with magnetoencephalography: outcome in 50 patients with  
lesions around the motor cortex.  
*J Neurosurg* 1999; 91: 73 - 79
26. **Hayashi N, Endo S, Kurimoto M, Nishijo H, Ono T, Takaku A.**  
Functional image-guided neurosurgical simulation system using computerized three-  
dimensional graphics and dipole tracing.  
*Neurosurgery* 1995; 37: 694 - 703
27. **Schulder M, Maldjian JA, Liu WC, Holodny AI, Kalnin AT, Mun IK, Carmel PW.**  
Functional image-guided surgery of intracranial tumors located in or near the  
sensorimotor cortex.  
*J Neurosurg* 1998; 89: 412 - 418

28. **Stapleton SR, Kiriakopoulos E, Mikulis D, Drake JM, Hoffmann HJ, Humphreys R, Hwang P, Otsubo H, Holowka S, Logan W, Rutka JT.**  
Combined utility of functional MRI, cortical mapping, and frameless stereotaxy in the resection of lesions in eloquent areas of brain in children.  
*Pediatr Neurosurg* 1997; 26: 68 - 82
  
29. **Wagner W, Tschiltschke W, Niendorf WR, Schroeder HWS, Gaab MR.**  
Infrared-based neuronavigation and cortical motor stimulation in the management of central-region tumors.  
*Stereotact Funct Neurosurg* 1997; 68: 112 ± 116
  
30. **Owen CM, Linskey ME**  
Frame-based stereotaxy in a frameless era: current capabilities, relative role, and the positive- and negative predictive values of blood through the needle.  
*J Neurooncol* 2014 93:139-149
  
31. **Barnett GH, Miller DW, Weisenberger J**  
Frameless stereotaxy with scalp-applied fiducial markers for brain biopsy procedures: experience in 218 cases.  
*J Neurosurg* 1999 91:569-576
  
32. **Dorward NL, Alberti O, Palmer JD, Kitchen ND, Thomas DG**  
Accuracy of true frameless stereotaxy: in vivo measurement and laboratory phantom studies. Technical note.  
*J Neurosurg* 1999;160-168
  
33. **Bouillot P., Hladky J.-P., Broche E., Campello C., Bouly S., Labauge P.**  
Biopsie en condition de neuronavigation : intérêt en pratique neurochirurgicale courante.  
*CONGRÈS SNCLF200652: 485*
  
34. **Dorward NL, Paleologos TS, Alberti O, Thomas DG**  
The advantages of frameless stereotactic biopsy over frame-based biopsy.  
*J Neurosurg* (2002) 16:110-118
  
35. **Germano IM, Queenan JV.**  
Clinical experience with intracranial brain needle biopsy using frameless surgical navigation.  
*Comput Aided Surg* (1998) 3:33-39
  
36. **Hall WA**  
The safety and efficacy of stereotactic biopsy for intracranial lesions.  
*Cancer* (1998) 82:1749-1755

37. **McGirt MJ, Woodworth GF, Coon AL, Frazier JM, Amundson E, Garonzik I, Olivi A, Weingart JD (2005)**  
Independent predictors of morbidity after image-guided stereotactic brain biopsy: a risk
38. **Paleologos TS, Dorward NL, Wadley JP, Thomas DG (2001)**  
Clinical validation of true frameless stereotactic biopsy: analysis of the first 125 consecutive cases. *Neurosurgery* 49:830-835, discussion 835-837
39. **Dammers R, Haitzma IK, Schouten JW, Kros JM, Avezaat CJ, Vincent AJ (2008)**  
Safety and efficacy of frameless and frame-based intracranial biopsy techniques. *Acta Neurochir (Wien)* 150:23-29
40. **Smith JS, Quinones-Hinojosa A, Barbaro NM, McDermott MW (2005)**  
Frame-based stereotactic biopsy remains an important diagnostic tool with distinct advantages over frameless stereotactic biopsy. *J Neurooncol* 73:173-179
41. **J.Gempt, N.Buchmann, Yu-Mi Ryang, S.Krieg, J.Kreutzer, B.Meyer, F.Ringel.**  
Frameless image-guided stereotaxy with real-time visual feedback for brain biopsy. *Acta Neurochir (2012)* 154:1663-1667
42. **A. Coca, N. Entzwerle, H. Cebula, D. Chaussemy, M. Benmekhebi, M. Chenard**  
Strasbourg, France Biopsie des tumeurs infiltrantes du tronc cérébral sous neuronavigation assistée par robot ; expérience sur 8 cas en population pédiatrique Société de Neurochirurgie de Langue Française / *Neurochirurgie* 60 (2014) 321-358
43. **P. Bijlenga, M. Kotowski, B. Schatlo, B. Stimec, T. Gerken, L. Slegers, J. Fasel, K. Schaller.**  
Insertion de cathéter ventriculaire assistée par neuronavigation ou guidance en temps réel. Étude sur cadavre. *Réunion SNCLF / Neurochirurgie* 55 (2009) 510-523.
44. **Schroeder HWS, Gaab MR.**  
Intracranial endoscopy. *Neurosurg Focus* 1999; 6 (4): Article 1.
45. **Ebmeier K, Giest K, Kalff R:**  
Intraoperative computerized tomography for improved accuracy of spinal navigation in pedicle screw placement of the thoracic spine. *Acta Neurochir Suppl* 85:105-113, 2003
46. **Girardi FP, Cammisa FP Jr, Sandhu HS, Alvarez L:**  
The placement of lumbar pedicle screws using computerised stereotactic guidance. *J Bone Joint Surg Br* 81:825-829, 1999

47. **Merloz P, Tonetti J, Cinquin P, Lavallée S, Troccaz J, Pittet L:**  
[Computer-assisted surgery: automated screw placement in the vertebral pedicle.]  
Chirurgie 123:482-490, 1998 (Fr)
48. **Nottmeier EW, Seemer W, Young PM:**  
Placement of thoraco-lumbar pedicle screws using three-dimensional image guidance: experience in a large patient cohort. Clinical article. J Neurosurg Spine 10:33-39, 2009
49. **Weinstein JN, Spratt KF, Spengler D, Brick C, Reid S:**  
Spinal pedicle fixation: reliability and validity of roentgenogram-based assessment and surgical factors on successful screw placement. Spine (Phila Pa 1976) 13:1012-1018, 1988
50. **Kast E, Mohr K, Richter HP, Börm W:**  
Complications of trans-pedicular screw fixation in the cervical spine. Eur Spine J 15:327-334, 2006
51. **Heary RF, Bono CM, Black M:**  
Thoracic pedicle screws: post-operative computerized tomography scanning assessment. J Neurosurg 100 (4 Suppl Spine):325-331, 2004
52. **Liljenqvist UR, Halm HF, Link TM:**  
Pedicle screw instrumentation of the thoracic spine in idiopathic scoliosis. Spine (Phila Pa 1976) 22:2239-2245, 1997
53. **P. Scarone , M. Pluderi , F.A. Raneri , S.M. Gaini .**  
Utilisation d'un système de neuronavigation pour la chirurgie du rachis : expérience préliminaire sur 20 patients. Neurochirurgie 56 (2010) 548-561
54. **Ruetten S, Komp M, Merk H and Godolias G:**  
Use of newly developed instruments and endoscopes: full-endoscopic resection of lumbar disc herniations via the interlaminar and lateral transforaminal approach. J Neurosurg Spine 6: 521-530, 2007
55. **Kim CH, Chung CK and Woo JW:**  
Surgical Outcome of Percutaneous Endoscopic Interlaminar Lumbar Discectomy for Highly Migrated Disk Herniation. Clin Spine Surg 29: E259-266, 2016.
56. **Ahn SS, Kim SH, Kim DW and Lee BH:**  
Comparison of Outcomes of Percutaneous Endoscopic Lumbar Discectomy and Open Lumbar Microdiscectomy for Young Adults: A Retrospective Matched Cohort Study. World Neurosurg 86: 250-258, 2016

57. **F. Guoxin, W. Chuanfeng, G. Xin, Z. Hailong, H. Shisheng.**  
Trajectory planning and guided punctures with isocentric navigation in posterolateral endoscopic lumbar discectomy: technical note. *World Neurosurgery*.(2017).
58. **Benabid AL, Chabardes S, Mitrofanis J, et al.**  
Deep brain stimulation of the subthalamic nucleus for the treatment of Parkinson's disease. *Lancet Neurol* 2009; 8: 67–81.
59. **Benabid AL.**  
What the future holds for deep brain stimulation. *Expert Rev Med Devices* 2007; 4: 895–903.
60. **Benazzouz A, Gross C, Féger J, et al.**  
Reversal of rigidity and improvement in motor performance by subthalamic high-frequency stimulation in MPTP-treated monkeys. *Eur J Neurosci* 1993; 5: 382–389.
61. **Starr PA.**  
Placement of deep brain stimulators into the subthalamic nucleus or Globus pallidus internus: technical approach. *Stereotact Funct Neurosurg* 2002; 79: 118–145.
62. **Lyons KE, Wilkinson SB, Overman J, et al.**  
Surgical and hardware complications of subthalamic stimulation: a series of 160 procedures. *Neurology* 2004; 63: 612–616.
63. **Gross RE, Krack P, Rodriguez-Oroz MC, et al.**  
Electro-physiological mapping for the implantation of deep brain stimulators for Parkinson's disease and tremor. *Mov Disord* 2006; 21(Suppl. 14): S259–S283.
64. **Benazzouz A, Breit S, Koudsie A, et al.**  
Intraoperative microrecordings of the subthalamic nucleus in Parkinson's disease. *Mov Disord* 2002; 17(Suppl. 3): S145–S149.
65. **Malte te D, Navarro S, Welter ML, et al.**  
Subthalamic stimulation in Parkinson disease: with or without anesthesia? *Arch Neurol* 2004; 61: 390–392.
66. **Holloway KL, Gaede SE, Starr PA, et al.**  
Frameless stereotaxy using bone fiducial markers for deep brain stimulation. *J Neurosurg* 2005; 103: 404–413.

67. **Gorgulho AA, Shields DC, Malkasian D, et al.**  
Stereo- tactic coordinates associated with facial musculature contraction during high- frequency stimulation of the subthalamic nucleus. *J Neurosurg* 2009; 110: 1317-1321.
68. **Bjartmarz H, Rehncrona S.**  
Comparison of accuracy and precision between frame-based and frameless stereotactic navigation for deep brain stimulation electrode implan- tation. *Stereotact Funct Neurosurg* 2007; 85: 235-242.
69. **C.-H. Tai, R.M. Wu, C.H. Lin, M.K. Pan, Y.F. Chen, H.M. Liu, H.H. Lu, C.W. Tsai, S.H. Tseng.**  
Deep brain stimulation therapy for Parkinson's disease using frameless stereotaxy: comparison with frame-based surgery. *European Journal of Neurology* 2010, 17: 1377-1385.
70. **D.K.Sonvenso,E.N.Itikawa,M.Volpon Santos ,L.A.Santos, A.C.Trevisan, M.M.Bianchin,et al.**  
Systematic review of the efficacy in seizure control and safety of neuronavigation in epilepsy surgery: The need for well-designed prospective studies. *Seizure* 31 (2015) 99-107.
71. **OCEBM LoEWG.**  
The Oxford Levels of Evidence 2. Levels of Evidence 2; 2013, <http://www.cebm.net/index.aspx?o=5653>.
72. **Engel Jr J, Wiebe S, French J, Sperling M, Williamson P, Spencer D, et al.**  
Practice parameter: temporal lobe and localized neocortical resections for epilepsy: report of the Quality Standards Subcommittee of the American Academy of Neurology, in association with the American Epilepsy Society and the American Association of Neurological Surgeons. *Neurology* 2003;60:538-47.
73. **Ontario HQ.**  
Epilepsy surgery: an evidence summary.  
*Ont Health Technol Assess Ser* 2012;12:1-28.
74. **OertelJ,GaabMR,RungeU,SchroederHW,WagnerW,PiekJ.**  
Neuronavigation and complication rate in epilepsy surgery.  
*Neurosurg Rev* 2004;27:214-7.
75. **Nimsky C, Ganslandt O, Kober H, Buchfelder M, Fahlbusch R.**  
Intraoperative magnetic resonance imaging combined with neuronavigation: a new concept. *Neurosurgery* 2001;48:1082-9. discussion 1089-91.

76. **Oertel J, Gaab MR, Runge U, Schroeder HW, Piek J.**  
Waterjet dissection versus ultrasonic aspiration in epilepsy surgery. *Neurosurgery* 2005;56:142-6. discussion 142-6.
77. **Sommer B, Kasper BS, Coras R, Blumcke I, Hamer HM, Buchfelder M, et al.**  
Surgical management of epilepsy due to cerebral cavernomas using neuronavigation and intraoperative MR imaging. *Neurol Res* 2013;35: 1076-83.
78. **Chandra SP, Bal CS, Jain S, Joshua SP, Gaikwad S, Garg A, et al.**  
Intra-operative co-registration of MRI, PET and electrocorticographic data for neocortical lesional epilepsies may improve the localization of the epileptogenic focus: a pilot study. *World Neurosurg* 2013;82:110-7.
79. **Sommer B, Grummich P, Coras R, Kasper BS, Blumcke I, Hamer HM, et al.**  
Integration of functional neuronavigation and intraoperative MRI in surgery for drug-resistant extratemporal epilepsy close to eloquent brain areas. *Neurosurg Focus* 2013;34:E4.
80. **P. Grunert , F.W. Mfiller, K. Darabi ,R. Reisch,C.Busert ,N.Hopf,et al.**  
Basic principles and clinical applications of neuronavigation and intraoperative computed tomography. *Computer Aided Surgery* 1998 ; 3 : 166-73.
81. **Roberts DW, Hartov A, Kennedy FE, Miga MI, Paulsen KD.**  
Intraoperative brain shift and deformation: a quantitative analysis of cortical displacement in 28 cases. *Neurosurgery* 1998 ; 43 : 749-60.
82. **D.Hill,C.Maurer,R Maciunas, J.Barwise,JM.Fitzparrick,MY.Wabg.**  
Measurement of intraoperative brain surface deformation under a craniotomy. *Neurosurgery* 1998 ; 43 : 514-28.
83. **Schmieder K, Hardenack M, Harders A.**  
Neuronavigation in daily clinical routine of a neurosurgical department. *Computer Aided Surgery* 1998 ; 3 : 159-61.
84. **Drobnitzky M, Lenz G, Kunze S, Fahlbush R. Intra-operative MR-**  
Imaging during neurosurgery. *Computer Assisted Radiology* 1996 ; 729-32.
85. **Erbe H, Riete A, JSdicke A, Deinsberger W, BGker DK.**  
3DUltrasonography and image matching for detection of brain shift during intracranial surgery. *Computer Assisted Radiology* 1996 ; 225-30.

- 86. WT. Koos, K. Roessler, C. Matula.**  
Image guided neurosurgery with intraoperative CT.  
Medicamundi 1998 ; 42 : 26-32.
- 87. Schmieder K, Hardenack M, Harders A.**  
Neuronavigation in daily clinical routine of a neurosurgical department. Computer Aided  
Surgery 1998 ; 3 : 159-61.

# قسم الطبيب

أقسم بالله العظيم

أن أراقب الله في مهنتي.

وأن أصون حياة الإنسان في كافة أطوارها في كل الظروف

والأحوال باذلاً وسعي في استنقاذها من الهلاك والمرض

والألم والقلق.

وأن أحفظ للناس كرامتهم، وأستر عورتهم، وأكتم سرهم.

وأن أكون على الدوام من وسائل رحمة الله، باذلاً رعايتي الطبية للقريب والبعيد،  
للصالح والطالح، والصديق والعدو.

وأن أثار على طلب العلم، أسخره لنفع الإنسان.. لا لأذاه.

وأن أوقر من علمني، وأعلم من يصغرنني، وأكون أخاً لكل زميل في المهنة الطبية

متعاونين على البر والتقوى.

وأن تكون حياتي مصداق إيماني في سري وعلانيتي، نقيّة مما يشينها تجاه

الله ورسوله والمؤمنين.

والله على ما أقول شهيدا

**أهمية الملاحظة الجراحية العصبية :  
تجربة مصلحة جراحة الدماغ و الأعصاب  
بالمستشفى الجامعي محمد السادس في مستشفى الرازي**

**الأطروحة**

قدمت ونوقشت علانية يوم 2018/03/14

من طرف

**السيد عصام أكريش**

المزداد في 14 يناير 1992 بمراكش

**طبيب داخلي بالمستشفى الجامعي محمد السادس بمراكش**

**لنيل شهادة الدكتوراه في الطب**

**الكلمات الأساسية:**

الملاحظة الجراحية - الأهمية - استعمالات

**اللجنة**

الرئيس

**س. ايت بن علي**

السيد

أستاذ في جراحة الدماغ و الأعصاب

المشرف

**م. لغماري**

السيد

أستاذ مبرز في جراحة الدماغ و الأعصاب

**ن. المنصوري**

السيدة

أستاذة في جراحة الوجه والفكين والتجميل

**ع. زيادي**

السيدة

الحكام

أستاذة مبرز في الإنعاش و التخدير