

UNIVERSITE DE LIMOGES
FACULTE DE MEDECINE



ANNEE 1993

THESE N° 144/1



106 019670 3

**LE REPERAGE TELENCEPHALIQUE
PAR LES LIGNES CALLEUSES D'OLIVIER
APPLICATIONS A L'AIRE MOTRICE
ET AU SILLON CENTRAL**

THESE

POUR LE DIPLOME D'ETAT DE DOCTEUR EN MEDECINE

présentée et soutenue publiquement le 24 septembre 1993

par

Patrick VALLY

né le 4 janvier 1964 à Marseille

EXAMINATEURS DE LA THÈSE

M. le Professeur RAVON R.
M. le Professeur LAZORTHES Y.
M. le Professeur MOREAU J. J.
M. le Professeur SALAMON G.
Mme le Docteur PERETTI-VITON P.
M. le Docteur VIDAL J.

Président
Juge
Juge
Juge
Membre invité
Membre invité

Thèse med Limoges 1993 n° 144



Ex 2

Sibl

UNIVERSITE DE LIMOGES
FACULTE DE MEDECINE

ANNEE 1993

THESE N° 444

**LE REPERAGE TELEENCEPHALIQUE
PAR LES LIGNES CALLEUSES D'OLIVIER
APPLICATIONS A L'AIRE MOTRICE
ET AU SILLON CENTRAL**

THESE

POUR LE DIPLOME D'ETAT DE DOCTEUR EN MEDECINE

présentée et soutenue publiquement le 24 septembre 1993

par

Patrick VALLY

né le 4 janvier 1964 à Marseille

EXAMINATEURS DE LA THÈSE

**M. le Professeur RAVON R.
M. le Professeur LAZORTHES Y.
M. le Professeur MOREAU J. J.
M. le Professeur SALAMON G.
Mme le Docteur PERETTI-VITON P.
M. le Docteur VIDAL J.**

**Président
Juge
Juge
Juge
Membre invité
Membre invité**

UNIVERSITE DE LIMOGES
FACULTE DE MEDECINE

DOYEN DE LA FACULTE : Monsieur le Professeur BONNAUD
ASSESSEURS : Monsieur le Professeur PIVA
Monsieur le Professeur COLOMBEAU

PERSONNEL ENSEIGNANT

* PROFESSEURS DES UNIVERSITES

ADENIS Jean-Paul	Ophtalmologie
ALAIN Luc	Chirurgie infantile
ALDIGIER Jean-Claude	Néphrologie
ARCHAMBEAUD Françoise	Médecine interne
ARNAUD Jean-Paul	Chirurgie Orthopédique et Traumatologique
BARTHE Dominique	Histologie, Embryologie, Cytogénétique
BAUDET Jean	Clinique obstétricale et Gynécologie
BENSAID Julien	Clinique médicale cardiologique
BONNAUD François	Pneumologie
BONNETBLANC Jean-Marie	Dermatologie
BORDESSOULE Dominique	Hématologie et Transfusion
BOULESTEIX Jean	Pédiatrie
BOQUIER Jean-José	Clinique de Pédiatrie
BOUTROS-TONI Fernand	Biostatistique et informatique médicale
BRETON Jean- Christian	Biochimie et Biologie moléculaire
CAIX Michel	Anatomie
CATANZANO Gilbert	Anatomie pathologique
CHASSAIN Albert	Physiologie
CHRISTIDES Constantin	Chirurgie thoracique et cardio-vasculaire
COLOMBEAU Pierre	Urologie
CUBERTAFOND Pierre	Clinique de chirurgie digestive
DARDE Marie-Laure	Parasitologie
DE LUMLEY WOODYEAR Lionel	Pédiatrie
DENIS François	Bactériologie-Virologie
DESCOTTES Bernard	Anatomie
DESPROGES-GOTTERON Robert	Clinique thérapeutique et rhumatologique
DUDOGNON Pierre	Rééducation fonctionnelle
DUMAS Michel	Neurologie
DUMAS Jean-Philippe	Urologie
DUMONT Daniel	Médecine du Travail
DUPUY Jean-Paul	Radiologie et Imagerie Médicale
FEISS Pierre	Anesthésiologie et Réanimation chirurgicale
GAINANT Alain	Chirurgie digestive
GAROUX Roger	Pédopsychiatrie
GASTINNE Hervé	Réanimation médicale
GAY Roger	Réanimation médicale
GERMOUTY Jean	Pathologie médicale et respiratoire
HUGON Jacques	Histologie, Embryologie, Cytogénétique

LABADIE Michel
LABROUSSE Claude
LASKAR Marc
LAUBIE Bernard
LEGER Jean-Marie
LEROUX-ROBERT Claude
LIOZON Frédéric
LOUBET René
MALINVAUD Gilbert
MENIER Robert
MERLE Louis
MOREAU Jean-Jacques
MOULIES Dominique
OLIVIER Jean-Pierre
OUTREQUIN Gérard
PECOUT Claude
PERDRISOT Rémy
PESTRE-ALEXANDRE Madeleine
PILLEGAND Bernard
PIVA Claude
PRALORAN Vincent
RAVON Robert
RIGAUD Michel
ROUSSEAU Jacques
SAUTEREAU Denis
SAUVAGE Jean-Pierre
TABASTE Jean-Louis
TREVES Richard
VALLAT Jean-Michel
VALLEIX Denis
VANDROUX Jean-Claude
WEINBRECK Pierre

Biochimie et Biologie moléculaire
Rééducation fonctionnelle
Chirurgie Thoracique et Cardio-vasculaire
Endocrinologie et Maladies métaboliques
Psychiatrie d'adultes
Néphrologie
Clinique Médicale A
Anatomie pathologique
Hématologie et Transfusion
Physiologie
Pharmacologie
Neurochirurgie
Chirurgie infantile
Radiothérapie et Cancérologie
Anatomie
Chirurgie orthopédique et Traumatologique
Biophysique et traitement de l'image
Parasitologie
Hépto-Gastro-Entérologie
Médecine légale
Hématologie et tranfusion
Neurochirurgie
Biochimie et Biologie moléculaire
Radiologie et Imagerie Médicale
Hépto-Gastro-Entérologie
Oto-Rhino-Laryngologie
Gynécologie-Obstétrique
Thérapeutique
Neurologie
Anatomie
Biophysique et Traitement de l'image
Maladies infectieuses

SECRETARE GENERAL DE LA FACULTE - CHEF DES SERVICES ADMINISTRATIFS

POMMARET Maryse

A Monsieur le Professeur Robert RAVON,

Vous nous avez accueilli dans votre service avec une rare gentillesse. Tout autant que vos qualités chirurgicales, vos qualités humaines sont connues de tous. Nous ne les oublierons jamais. Nous espérons rester digne de la confiance que vous nous avez accordée.

Vous nous avez fait l'honneur de présider cette Thèse.

A Monsieur le Professeure Yves LAZORTHES,

En attendant le privilège de travailler dans votre service, nous vous sommes reconnaissant de la qualité d'enseignement que vous nous avez offerte. C'est avec une grande fierté et un honneur que nous vous proposons de juger cette Thèse.

Soyez en remercié.

A Monsieur le Professeur Georges SALAMON,

Nous avons eu l'honneur d'être votre élève pendant près d'un semestre au cours duquel nous avons réalisé ce travail. Votre charisme, vos compétences et votre culture nous ont beaucoup impressionné. Vous nous faites l'honneur de juger cette Thèse, que celle-ci soit digne de vos critiques.

A Monsieur le Professeur Jean-Jacques MOREAU,

Vous nous faites l'honneur de juger ce travail dont vous êtes à l'origine. Vos connaissances anatomiques, vos qualités chirurgicales et votre engouement pédagogique resteront toujours dans notre mémoire.

Vous nous avez fait l'honneur de diriger cette Thèse.

Au Docteur Jacky VIDAL,

Ta franchise et ta verve sont à la hauteur de tes qualités chirurgicales. Plus que le Neurochirurgien, c'est à l'ami que je confie le soin de juger ce travail. Merci pour tout ce que tu m'as appris. Tu es et resteras pour moi une référence en Neurochirurgie.

A Madame le Docteur Paule PERETTI-VITON,

Tu me connais depuis la fin de mon externat et c'est avec beaucoup de plaisir que tu as accepté de juger ce travail. Ta disponibilité m'a beaucoup touché et tes qualités de Neuroradiologue m'ont été très utiles pour réaliser cette Thèse. Je t'en remercie avec toute mon amitié.

A Monsieur le Professeur Robert SEDAN,

Avec toute l'admiration que nous avons à votre égard, vous resterez toujours pour nous l'exemple à suivre. Merci pour ce que vous avez fait de nous.

A nos Maîtres d'Internat,

dont nous avons eu l'honneur d'être l'élève

Monsieur le Professeur R. SEDAN.

Monsieur le Professeur J.C. PERAGUT.

Monsieur le Professeur P. CUBERTAFOND.

Monsieur le Professeur A. GAINANT.

Monsieur le Professeur R. RAVON.

Monsieur le Professeur M. DUMAS.

Monsieur le Professeur J.J. MOREAU.

Monsieur le Professeur J.P. ADENIS.

Monsieur le Professeur G. SALAMON.

et ceux dont nous le serons prochainement,

Monsieur le Professeur A. OLIVIER.

Monsieur le Professeur Y. LAZORTHES.

Monsieur le Professeur J. LAGARRIGUE.

A mes chefs d'écurie,

Jean REGIS, Eric SENBEL,
Patrick MORTEMART DE BOISSE
et notre Maître François VINCENNELLI.

A Corinne,

je te dédie cette Thèse pour toutes les années de bonheur intense passées à tes côtés...et surtout celles à venir. Pour tous les sacrifices que tu as fait, reçois aussi ce jour la récompense que tu mérites.
Que notre Amour se conjugue toujours au superlatif.
Si je suis là aujourd'hui, c'est aussi grâce à toi.

A Mathieu et Loïc,

pour lesquels il m'est impossible d'exprimer en une phrase tout l'amour que j'éprouve pour eux.

A mon père,

que ce jour t'apporte la même fierté que je peux avoir de toi.

A ma mère,

pour notre complicité de toujours, son amour et sa bonté.

A mes beaux-parents.

A Laurence et Gérard, et ma nièce Manon.

A Lionel et Frédérique, Nicolas et mon filleul Alexandre.

A Bernie, pour savoir cocher les bonnes cases!

A Franck, en souvenir de cette année de concours d'internat, et Christine.

A Hervé, Pascale, et leur petite Camille. A "Chef", Isabelle et leurs filles.

A Fredo, Ber et Véro...au Revest.

A Daniel et Laurence.

A Martine, ma soeur que je n'oublierai jamais...

A mes amis de Limoges.

A Aziz MOUFID,

pour notre complicité durant ces années d'internat passées ensemble à apprendre la même spécialité. J'espère qu'elle durera.

A Bruno FRANCK

pour tout ce que tu m'a appris, avec autant de gentillesse et de patience.

A Mustapha ALI BENALI,

je te dois beaucoup, nous le savons tous les deux.

A Jean-François LAGARRIGUE,

je te souhaite d'aller le plus loin possible dans la spécialité, tu en as les moyens.

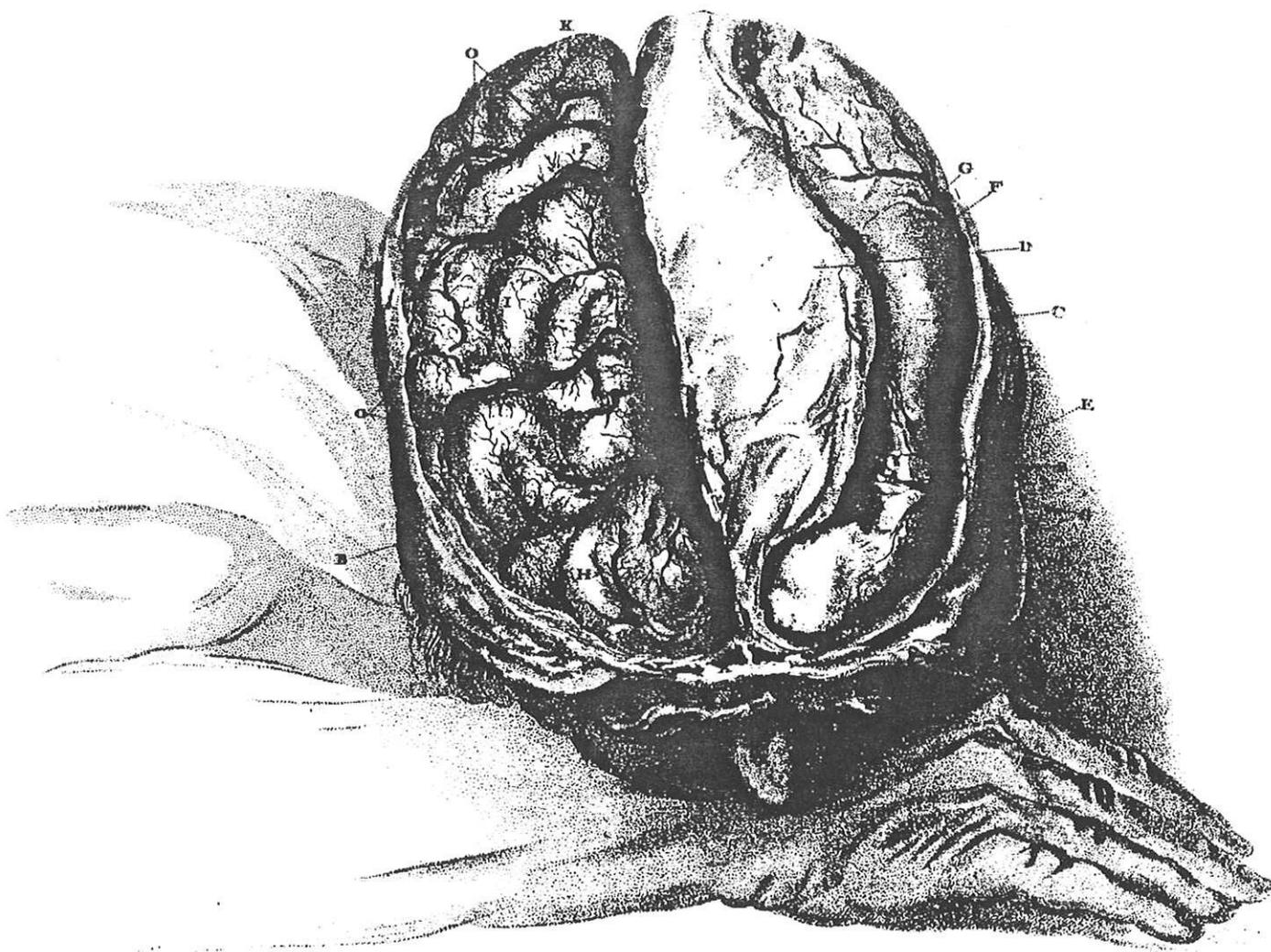
Aux Docteurs J. COGNARD, M. LAJOIX et J.J. TEXIER, anesthésistes du service de Neurochirurgie de Limoges.

A Agnès, Françoise et Ginette, pour m'avoir supporté toutes ces années d'Internat.

A Michel et Sylvie CASTELLARIN, Bruno et Veronique VIGER-PELOUX, Isabelle DAUNAS, Frédéric HEURTEBISE, Phung Mai DANG, Frédéric LACROIX, et mes "poulains" ; Béatrice DUPEROU, Eric FRAY, Didier SIRIEX et Bruno MAITRASSE.

Au Personnel du service de Neuroradiologie de l'Hôpital de La Timone, et tout particulièrement aux Docteurs Noriko MURAYAMA, Paule PERETTI-VITON et Olivier LEVRIER ainsi qu'à Yves D'AGOSTINO pour leurs aides dans la réalisation de ce travail.

Aux inventeurs du Macintosh, pour l'aide précieuse qu'ils m'ont indirectement apportée!



Gyri cérébraux dessinés par Charles Bell (1774-1842)

("Histoire Illustrée de la Fonction Cérébrale", E. Clarke et K. Dewhurst)

“ Le repérage stéréotaxique du télencéphale peut paraître une entreprise sinon hasardeuse du moins extrêmement difficile si l'on veut bien se rappeler la variabilité des sillons dans leur forme comme dans leur profondeur, la limite souvent imprécise des lobes et des circonvolutions ... et pourtant, neurologistes, physiologistes et neurochirurgiens ont pris l'habitude d'utiliser des schémas qu'il est bien difficile d'ajuster à la réalité.”

Jean TALAIRACH.

“ L'image anatomique devrait être le reflet objectif de la réalité des structures du corps vivant qu'elle désire représenter. Elle ne l'est cependant jamais complètement, elle reste œuvre humaine suscitant à la fois, lorsqu'elle est belle, admiration et doute, admiration pour la manière de montrer les structures choisies et doute quant à la validité de ce qui est représenté... C'est la vertu de l'imagerie par résonance magnétique d'être à la fois le reflet de la réalité et de rester conforme à la vérité de la figuration tridimensionnelle des structures représentées. Elle apporte cette maîtrise.”

A. DELMAS

L'important n'est pas de réussir...
mais de réussir à chaque fois.

INTRODUCTION

BASES ANATOMIQUES DU CORPS CALLEUX

REPERAGE STEREOTAXIQUE

LE REFERENTIEL CALLEUX

CONCLUSION

TABLE DES ILLUSTRATIONS

BIBLIOGRAPHIE

INTRODUCTION

INTRODUCTION

Une des grandes qualités chirurgicales est de visualiser par la pensée, au fur et à mesure de sa progression opératoire, les différentes structures anatomiques que le chirurgien va découvrir. De cette anticipation, la Neurochirurgie cérébrale se doit, certainement plus que toutes les autres spécialités, d'être à la fois la moins traumatisante et la plus précise possible.

Ce compromis justifie un repérage pré-opératoire des structures cérébrales.

Or, la nécessité de repérer avec précision une région du cerveau impose l'utilisation d'un référentiel, base de tout repérage.

Si la Neurochirurgie Stéréotaxique doit son essor à la fin des années 50 aux travaux de J. Talairach et de son système proportionnel de repérage des noyaux diencephaliques par la ligne de base Commissure blanche Antérieure-Commissure blanche Postérieure (173), cette discipline est cependant limitée par la variabilité morphologique des sillons et circonvolutions cérébrales (70, 103, 113).

En effet, il est difficile, comme le soulignait Talairach (175), de repérer avec fiabilité une formation télencéphalique à l'aide d'un référentiel diencephalique.

Le corps calleux a été utilisé par le Docteur A. Olivier, neurochirurgien canadien au Montreal Neurological Institute, comme référentiel de repérage pré-opératoire (109, 111, 129).

En circonscrivant, dans le plan sagittal médian, le corps calleux par des lignes de base anatomiques, nous obtenons une transition facile, par un jeu de calque, d'une image en résonance magnétique nucléaire à une image d'angiographie cérébrale de profil, d'un plan sagittal médian à un plan sagittal para-médian.

L'utilisation de ce repérage permet au mieux de définir l'abord direct transparenchymateux sur une lésion sous-corticale, non visible dès la craniotomie, en comparant le treillis vasculaire pie-mèrien à des clichés d'artériographie cérébrale de profil aux temps parenchymateux dans le référentiel calleux.

Cependant, aucun travail statistique, n'a porté sur la relation pouvant exister entre ces lignes de base calleuses et leurs projections orthogonales, dans le plan sagittal, sur les zones anatomo-fonctionnelles du cortex cérébral.

Ainsi, après une description anatomique du corps calleux et une présentation du repérage stéréotaxique, nous nous proposons d'étudier la projection orthogonale de ces lignes calleuses sur le cortex hémisphérique et tout particulièrement sur les limites d'une zone hautement fonctionnelle : l'aire motrice primaire.

Si cette étude, réalisée à partir de 104 hémisphères cérébraux reconstruits en trois dimensions par une méthode manuelle (80 hémisphères) et informatisée (24 hémisphères), a la volonté de définir un référentiel fiable pour le repérage de l'aire motrice primaire, elle n'exclue pas l'intérêt porté aux conséquences de cette relation calloso-corticale.

**BASES ANATOMIQUES
DU CORPS CALLEUX**

BASES ANATOMIQUES DU CORPS CALLEUX

HISTORIQUE

Le grec Galien (131-201 A.D) décrit pour la première fois la présence, entre les deux hémisphères cérébraux, de fibres transversales plus dures et plus résistantes que le reste du cerveau, qu'il appelle "*sôma tylôdes*"(19), origine grecque du futur corps calleux.

A partir de cette description princeps, Vesale isole très nettement dans son "*De Humani Corporis Fabrica*" édité en 1543, la commissure interhémisphérique sous la forme d'un "corps qui siège au milieu du cerveau, à sa partie la plus profonde et allant de la droite vers la gauche". Il confondait toutefois en partie le corps calleux avec le "corps psalloïde", futur trigone cérébral.

En 1886, Hamilton introduit pour la première fois le terme de "commissure interhémisphérique"(19).

A la fin du siècle dernier, l'anatomie du corps calleux est particulièrement bien précisée par Dejerine (41) qui montre que celui-ci est formé du corps, du genou et du bec, et qu'il existe des radiations, véritables voies transversales de communication entre les deux hémisphères.

Pour Levy-Valensi (1910)(95), il représente la plus superficielle mais également la plus importante des trois commissures interhémisphériques ; c'est la seule parmi toutes les commissures qui soit visible sans préparation. Elle se voit en effet en écartant les deux lèvres de la scissure interhémisphérique où elle apparaît au fond de cette dernière d'une "blancheur immaculée".

PHYLOGENESE DU CORPS CALLEUX

Chez l'animal, la taille du corps calleux est parallèle au développement phylogénétique.

Chez les chiroptères, le corps calleux reste très rudimentaire et n'est représenté que par quelques fibres mêlées aux fibres rhinencéphaliques joignant les lobes frontaux.

Jusqu'aux marsupiaux inclus, la commissure ventrale, équivalent de la commissure blanche antérieure, est beaucoup plus développée que la commissure dorsale dont le segment postérieur représente l'ébauche du futur corps calleux.

Chez les rongeurs et les insectivores, le corps calleux devient plus apparent et le splénium apparait. Chez les carnivores, il se développe surtout du côté rostral où se dessinent progressivement le bec et le genou, indiscernables dans les espèces précédentes.

Ainsi en est-il du singe qui présente une morphologie calleuse assez semblable à celle du chat dans sa partie postérieure (lieu de passage de fibres à destinée visuelle et auditive). Par contre, le segment antérieur et plus particulièrement le genou (lieu de passage des fibres à destinée motrice) est beaucoup plus développé chez le singe, probablement en relation avec la possibilité de manipulation bimanuelle, ce qui semble également présumé par l'atrophie relative de cette région chez les mammifères aquatiques (delphinidés)(26).

De même, le nombre des axones calleux semble augmenter en fonction du niveau d'évolution des capacités visuelles et manuelles, passant de 1×10^6 chez le rat à 23×10^6 chez le chat et de 45×10^6 chez le singe rhésus à 800×10^6 chez l'homme adulte. Il prend son développement maximum chez les Primates, dont l'homme (Bauchot)(9).

Le corps calleux apparait donc ainsi comme l'apanage des mammifères et son développement maximal est atteint chez l'homme, ce que soulignait déjà en 1895 Dejerine : "On peut considérer le corps calleux comme l'indice d'une structure cérébrale très élevée. Il ne s'observe que chez les mammifères ; encore n'est-il complet que dans les ordres supérieurs..."

ONTOGENESE DU CORPS CALLEUX.

Le corps calleux dérive de la 1^{ère} vésicule encéphalique primitive, vésicule encéphalique antérieure ou prosencéphale, qui donnera naissance ultérieurement au cerveau antérieur (122).

Après fermeture du tube neural, à la fin de la 4^e semaine de gestation, la partie antérieure distale est appelée lame terminale (*Lamina terminalis*)(179).

Au stade de l'embryon de 6 semaines, le prosencéphale se scinde en télencéphale, segment rostral, et en diencephale, segment caudal, séparés par le sillon inter-hémisphérique. Le télencéphale est composé des deux vésicules cérébrales et de leur connexion médiane, la lame terminale représentant la terminaison céphalique du tube neural primitif, étendue du toit du diencephale au chiasma optique (53, 64).

Les différentes étapes de la formation et du développement du corps calleux ne sont encore actuellement que partiellement connues et ont été l'objet par le passé de plusieurs hypothèses.

Dejerine estime en 1895 que le corps calleux se forme à partir d'expansions symétriques de la face interne des hémisphères qui fusionnent sur la ligne médiane vers le 3^e et le 4^e mois de la vie intra-utérine, au niveau de la zone choroïdienne de His et du pli marginal de Schmidt (la zone choroïdienne de His donnant naissance aux piliers antérieurs du trigone, au septum lucidum ainsi qu'au genou et bec du corps calleux). La suture des zones choroïdiennes forme alors une cloison médiane, le septum lucidum, qui sépare les têtes des deux noyaux caudés. Les bords supérieurs et antérieurs du septum lucidum s'épaississent considérablement et forment progressivement le corps calleux en commençant par la partie antérieure ou genou.

Les fibres du corps calleux naissent de toute la surface du cortex cérébral, à l'exception des lobes olfactifs et de l'extrémité antérieure des lobes temporaux (liés par la commissure blanche antérieure), et convergent vers la paroi interne de l'hémisphère en formant les radiations calleuses tandis que la suture de la partie moyenne et postérieure (ou corps) du corps calleux fait suite à celle du genou et s'étend en arrière du genou, depuis le trou de Monro jusqu'à la glande pinéale. A ce niveau, le corps se

termine en pointe et forme un bec postérieur effilé qui donne insertion au fornix transverse avant de s'enrouler et de s'appliquer à la face inférieure du corps qu'il épaissit pour donner le bourrelet (ou splenium).

Le développement du corps calleux apparaît donc tardif d'après lui, notamment postérieur à celui des fibres du trigone et de la corona radiata.

Hochester, cité par Gilles (64), s'oppose en 1929 à cette théorie et souligne l'importance de la lame terminale dont l'épaississement forme la plaque commissurale. La partie postéro-supérieure de cette plaque serait le siège de l'ébauche du corps calleux, différente de celle de la commissure blanche antérieure développée plus précocement, d'origine strictement diencéphalique.

Les premières fibres calleuses provenant du néocortex apparaîtraient au 3^e mois et la taille du corps calleux augmenterait progressivement d'avant en arrière dans la partie supérieure de la plaque commissurale qui s'étend elle aussi d'avant en arrière.

Un certain nombre d'auteurs rejoignent cette hypothèse dont Bremer (1956), cité par Bull (22), qui insistent sur la prolifération des cellules de la plaque commissurale, celle-ci fournissant la trame conductrice dans laquelle pénètrent les fibres nerveuses d'origine néocorticale, le nombre de ces fibres étant proportionnel à l'accroissement des hémisphères cérébraux.

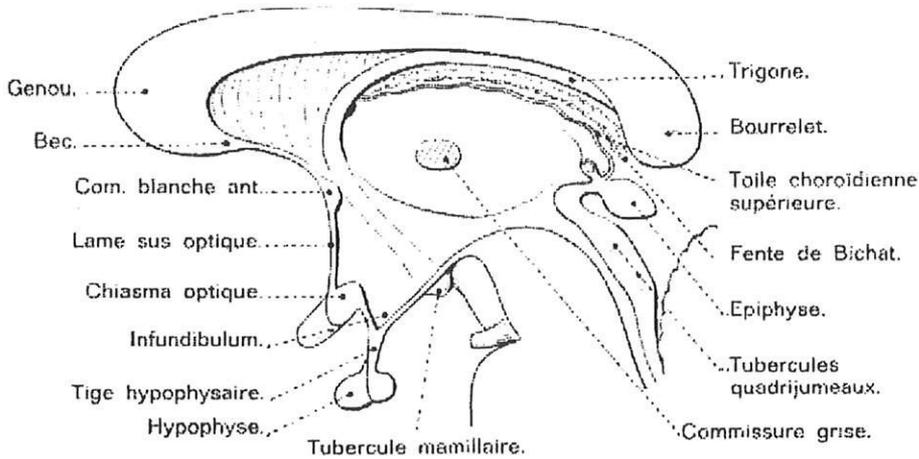
Plus récemment, Rakic et Yakovlev (1968)(132) considèrent que les parois internes des hémisphères ne sont pas impliquées dans le développement du corps calleux mais que celui-ci provient bien d'une partie de la lame terminale, le segment dorsal. La lame terminale serait de plus à l'origine, dans sa partie ventrale, de la commissure blanche antérieure qui se développe plus précocement que le corps calleux et connecte le bulbe olfactif et certaines régions temporales à leurs homologues contralatérales.

Ces mêmes auteurs ainsi que d'autres dont Carpenter (1983)(26), estiment que la croissance du corps calleux reflète celle des hémisphères et serait sous la dépendance de la formation normale du cortex, débutant par sa partie antérieure (connexion des lobes frontaux) avant de s'étendre à son segment postérieur de façon concomitante au développement des lobes pariétaux et occipitaux. Cette croissance se poursuivrait après la naissance (la myélinisation définitive du corps calleux ne serait terminée qu'à la fin

de la première décade), intéressant principalement l'épaisseur, plus que la longueur, et la partie postérieure (spléniale).

Actuellement, la théorie de Barkovich (6), admise par la plupart des auteurs, individualise le corps calleux, vers la 12^e ou 13^e semaine de gestation, comme une "masse commissurale" qui deviendra la portion postérieure du genou du corps calleux. L'accroissement longitudinal, dans le sens crânio-caudal, se poursuit pendant 5 à 7 semaines avec la formation du corps et du splenium. Le corps calleux s'allonge également en avant, jusqu'au rostrum, à partir de l'endroit précis où se situaient initialement les premières fibres commissurales.

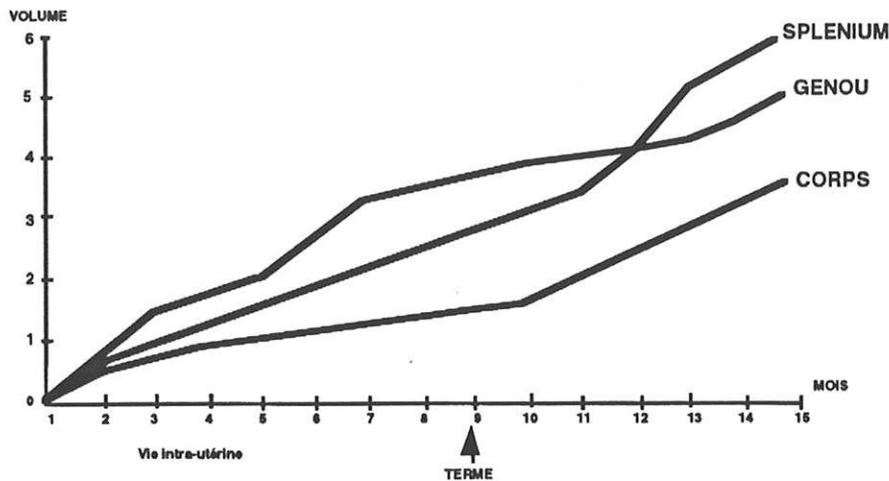
Du fait de la croissance postérieure plus rapide que l'antérieure (reflétant la croissance secondaire des lobes frontaux), le rostrum est la dernière partie du corps calleux à s'individualiser, après le genou, le corps et le splenium. L'originalité de cette croissance explique, dans les cas d'agénésie partielle, l'absence des parties tardivement individualisées comme la partie postérieure du corps, le splenium ou le rostrum (8).



Les formations interhémisphériques (coupe médiane).

Croissance et configuration finale.

La croissance et la modification de la configuration du corps calleux reflètent la croissance caudale rapide et les modifications du cortex hémisphérique. La croissance différentielle des genou, corps et splenium est liée à la vitesse de dissémination radiale du manteau isocortical (43)(cf. schéma).



Courbes de croissance des différentes portions du corps calleux

Le genou ; sa croissance est plus rapide avant la naissance et suit fidèlement la dissémination rapide du manteau isocortical vers les pôles frontaux.

Le corps ; il croît de façon continue et régulière en épaisseur et en surface entre la fin de la période de développement et la maturité.

Le splenium ; alors qu'il glisse vers l'arrière en suivant l'expansion hémisphérique, sa croissance s'accélère après la naissance. Elle est liée au développement accéléré et à la différenciation de l'isocortex temporopariétal et occipital.

En conclusion, le corps calleux se développe entre la 13^{ème} et la 14^{ème} semaine de la vie embryonnaire, suivant de 2 semaines celui de la commissure blanche antérieure (53, 132).

MORPHOLOGIE DU CORPS CALLEUX

1.- Données générales.

Sur une vue supérieure de l'encéphale, la scissure inter-hémisphérique ayant été écartée, le corps calleux se présente sous la forme d'une vaste commissure (large cloison blanche quadrilatère) reliant les deux hémisphères. Par ses parties latérales, le corps calleux envoie dans chaque hémisphère des fibres blanches dirigées transversalement appelées radiations calleuses. La ligne d'intersection des radiations calleuses et des fibres de la corona radiata forme la limite externe des ventricules latéraux. Les contours généraux du corps calleux sont sujets à de nombreuses variations de forme (convexité variable jusqu'à la quasi rectitude), d'épaisseur (amincissement) localisés aux jonctions entre corps et bourrelet (i.e. l'isthme), et/ou entre corps et genou).

Ainsi, sa disposition est plutôt transversale selon le grand axe de ses fibres constitutives. Un millimètre de surface du corps calleux contient 338000 fibres ce qui correspond, pour une surface moyenne de $622 \text{ mm}^2 (\pm 35)$ sur une coupe sagittale médiane, à 250 millions de fibres commissurales pour l'ensemble. A raison de 20 impulsions/seconde/fibre, 5 milliards d'impulsions transitent chaque seconde d'un hémisphère à l'autre (124).

2.- Situation et divisions.

Le corps calleux apparaît sous la forme d'une lame blanche transversale épaisse, arciforme, à convexité dorsale. Il est encadré en totalité par la circonvolution du corps calleux, depuis le pli de passage cuneo-limbique jusqu'au pli de passage fronto-limbique. Il encadre à son tour les corps opto-striés, le III^e ventricule et la corne frontale du ventricule latéral avec laquelle il présente des rapports importants puisqu'il contribue à la formation de sa voûte.

Le corps calleux est le plus souvent décrit sur une coupe sagittale médiane de l'encéphale. Sur celle-ci, séparant les deux hémisphères, il affecte la forme d'une voûte, plus recourbée à sa partie postérieure, plus rapprochée de l'extrémité antérieure du cerveau, dont il est séparé par une distance moyenne de 3 centimètres, que de son extrémité postérieure dont il s'éloigne de cinq centimètres.

On peut diviser anatomiquement le corps calleux en 4 parties :

Une partie postérieure, la plus volumineuse, de forme arrondie : le bourrelet du corps calleux (*Splenium corporis callosi*).

Une partie moyenne, formant la voûte du III^e ventricule : le corps (ou tronc) du corps calleux.

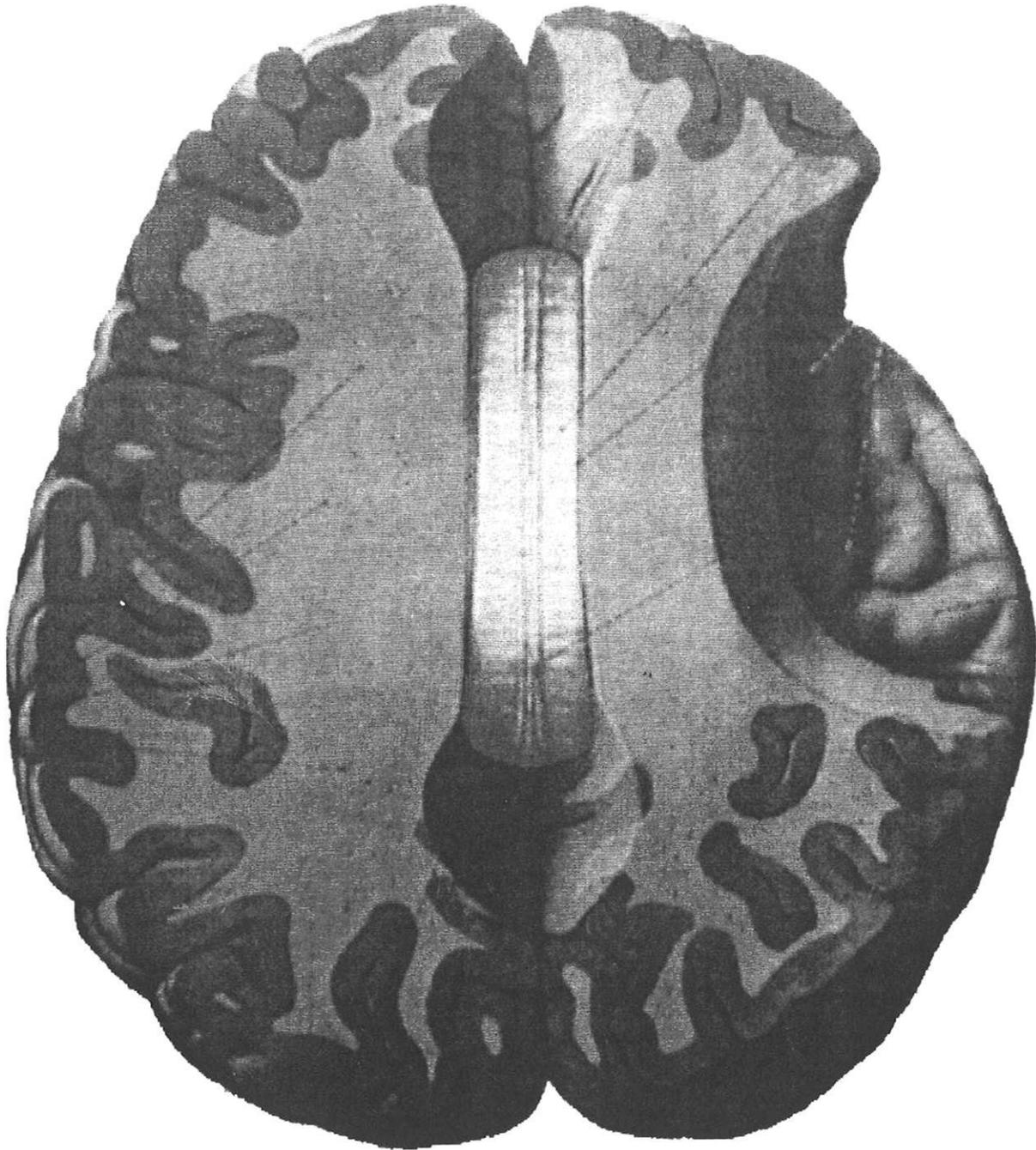
Une partie antérieure, convexe vers l'avant : le genou du corps calleux (*Genu corporis callosi*).

Une portion rostrale, mince et effilée, dirigée en bas et en arrière au dessous du genou : le bec du corps calleux (*Rostrum corporis callosi*).

Sur une coupe frontale, il est intermédiaire entre le sillon du corps calleux et la scissure inter-hémisphérique en haut, les ventricules latéraux et moyen en bas. Latéralement, il se prolonge dans le centre ovale par les radiations calleuses. La limite entre le corps calleux, partie visible et libre, et les radiations calleuses est purement conventionnelle car il n'existe pas de différence structurale. Celle-ci se situe au fond du sillon du corps calleux, en haut, et l'angle externe du ventricule latéral en bas.

3.- Configuration extérieure.

Le corps calleux mesure en moyenne de 70 à 80 mm sur sa face supérieure, 50 à 60 mm seulement sur sa face inférieure. Ses deux faces ne sont pas parallèles du fait de sa constitution fasciculée : les faisceaux de fibres nerveuses, en se groupant à certains endroits, le rendent plus épais qu'à d'autres. Ainsi son épaisseur est variable suivant les régions : très épais à son extrémité postérieure où il s'enroule sur lui même pour constituer le bourrelet de Reil qui peut mesurer jusqu'à 1,8 cm, il atteint à peine 1 cm d'épaisseur dans sa partie moyenne. Il s'épaissit de nouveau dans sa partie antérieure pour constituer le genou, fermant en avant les ventricules latéraux et maintenant dans la concavité de sa courbure l'extrémité antérieure du corps strié. Il se dirige ensuite en arrière et en bas, sur 2 cm environ en diminuant d'épaisseur, présentant sur une coupe sagittale médiane l'aspect d'un triangle, dont le sommet, ou bec, ou rostrum, est réduit à un mince lamelle qui se continue au niveau de la commissure blanche antérieure avec la lame sous-optique (Dejerine, 1895 et Paturet, 1964)(41, 122).



**Coupe horizontale à travers les hémisphères.
Mise en évidence de la face supérieure du corps calleux.**

La face supérieure du corps calleux mesure de 15 à 20 mm et forme le fond de la fente interhémisphérique. Elle est en rapport, par l'intermédiaire de la pie mère et de l'arachnoïde avec la faux du cerveau, les artères calleuses et la première circonvolution limbique.

La face inférieure, concave d'avant en arrière et convexe transversalement, forme la paroi supérieure des ventricules latéraux et donne insertion sur la ligne médiane, en avant au septum lucidum, en arrière au trigone. L'espace triangulaire compris entre le corps, le genou et le bec d'une part, le pilier antérieur du trigone d'autre part, est occupé par le septum lucidum.

L'extrémité postérieure ou bourrelet ou splenium, épaisse et arrondie, est située au dessus des tubercules quadrijumeaux et de la glande pinéale dont elle est séparée par la partie moyenne de la fente de Bichat. Dejerine (41) lui distingue trois parties : une partie supérieure représentant l'extrémité postérieure du corps, une partie inférieure constituant le splenium proprement dit et qui se termine en avant par un bord mince et effilé (bec postérieur) et une partie postérieure, véritable genou postérieur analogue au genou de l'extrémité antérieure. Cette distinction aurait son importance du fait d'une origine distincte des fibres intéressant ces différentes parties.

4.- Rapports anatomiques des différentes parties du corps calleux

4.1. Le corps

4.1.1. Face supérieure ou dorsale.

Elle est concave dans le sens transversal par suite de la présence sur celle-ci de deux bourrelets parallèles et sagittaux : les bourrelets paramédians dorsaux du corps calleux. Ils sont situés dans le centre ovale au point où commencent les radiations calleuses. Ils sont la conséquence du refoulement vers le haut du corps calleux par le noyau caudé à travers l'angle externe du ventricule latéral. Ces bourrelets sont plus marqués dans la moitié antérieure que dans la moitié postérieure du corps calleux.

Cette face supérieure est convexe dans le plan sagittal, mais cette courbure est peu marquée. Elle présente un étroit sillon longitudinal médian appelé sillon dorsal médian du corps calleux.

De chaque côté de ce sillon, la face dorsale entre en rapport avec les tractus de Lancisi qui recouvrent cette face.

* Deux sont médians, disposés de chaque côté du sillon dorsal médian, et représentés par deux cordons blanchâtres longitudinaux : les stries médianes blanches ou tractus blancs.

* Deux autres sont latéraux, situés dans la partie la plus externe du sillon du corps calleux, de coloration grisâtre : les taenia tectae ou tractus latéraux ou tractus gris.

La plupart du temps, ces rubans gris ne dépassent pas la moitié postérieure du corps calleux et adhèrent à l'écorce voisine. Ils peuvent cependant, chez quelques sujets, se prolonger au niveau du genou. Le long de leur bord interne, les tractus latéraux sont reliés aux tractus médians par un voile mince de substance grise : l'indusium gris. Enfin, les stries latérales s'unissent en arrière au corps godronné et en avant aux stries médianes au niveau du genou.

La face supérieure du corps calleux entre également en rapport avec les deux sillons du corps calleux ou sinus calleux. A ce niveau, il est recouvert d'une mince couche de substance grise, l'insidium gris, vestige embryonnaire d'une circonvolution rudimentaire de l'archicortex ayant subi une atrophie lors du développement du corps calleux. Chacun de ces sillons est comblé par l'artère péricalleuse, prolongement de l'artère cérébrale antérieure. Par l'intermédiaire de ces derniers, le corps calleux entre en rapport avec la circonvolution du corps calleux ou gyrus cingulaire, et la scissure interhémisphérique dans laquelle se situent sagittalement la faux du cerveau et le sinus longitudinal inférieur. Il est à noter que le corps calleux, bien qu'ayant des rapports très étroits avec la faux du cerveau, n'arrive jamais à son contact et s'en éloigne de plus en plus en avant.

4.1.2. La face inférieure ou ventrale.

Elle est largement convexe dans le sens transversal et concave dans le sens antéro-postérieur. Plus large que la face supérieure, elle entre en rapport successivement d'avant en arrière et sur la ligne médiane avec le septum lucidum puis le fornix, ce dernier s'accolant au corps calleux par ses fibres transversales formant le psalterium ou lyre de David.

De chaque côté de ces formations, le corps calleux par sa face inférieure, tapissée par une membrane épendymaire, entre en rapport avec les ventricules latéraux et les plexus choroïdes latéraux. C'est à ce niveau que l'on retrouve l'artère choroïdienne

antérieure, sous la face inférieure du corps calleux, dans l'angle externe du ventricule latéral.

4.2. Le bourrelet ou splenium

Le bourrelet du corps calleux, régulièrement arrondi, distant de 6 à 7 centimètres de l'extrémité occipitale de l'hémisphère, forme la lèvre supérieure de la fente cérébrale de Bichat qui le sépare des tubercules quadrijumeaux et de l'épiphyse, ces derniers en constituant la lèvre inférieure.

On peut lui considérer trois segments :

- * Un segment supérieur constituant la face supérieure du corps calleux.
- * Un segment moyen, l'homologue du genou.
- * Un troisième segment réfléchi en avant qui donne attache aux fibres du trigone.

Ces dernières pouvant en être cependant séparées, il existe dès lors entre le splénium et le fornix une fente qui communique sur les cotés avec les ventricules latéraux constituant le ventricule de Verga. Très développé chez certains animaux, comme le cheval ou le mouton, il existe chez le fœtus, mesurant 15 mm de longueur, mais s'oblitére normalement après la naissance.

Les rapports du splenium sont :

- en arrière avec la veine cunéo-lobique, le pli de passage cunéo-lobique et par l'intermédiaire du sillon du corps calleux avec le précunéus.
- en avant avec les piliers du fornix qui sont accolés.
- en bas et sur la ligne médiane avec la fente cérébrale de Bichat au niveau de laquelle pénètre la pie mère reliée aux plexus choroïdes des ventricules. Il entre également en rapport avec la veine de Galien, l'épiphyse, le sac dorsal et les tubercules quadrijumeaux.

4.3. Le genou

Il présente un aspect arrondi à convexité antérieure, situé à 3 cm en arrière de l'extrémité antérieure de l'hémisphère. Au niveau de la face antérieure, le sillon du corps calleux s'élargit pour constituer une dépression entre le gyrus cingulaire et le genou : l'espace sous-calleux de Trolard.

En arrière, il donne insertion sur la ligne médiane au septum lucidum.

4.4. Le bec ou rostrum

Passant en avant de la commissure blanche antérieure, il se continue sans ligne de démarcation par la lame sus-optique (Lamina terminalis). En avant et en bas, le bec est uni à la circonvolution du corps calleux. En arrière et en haut, il entre en rapport avec le septum lucidum et le III^e ventricule où il contribue à la formation de sa paroi antérieure.

ANOMALIES MORPHOLOGIQUES DU CORPS CALLEUX.

Comme tout élément anatomique, le corps calleux connaît une très grande variabilité inter-individuelle, tant par sa taille que par sa forme. Nous rapporterons plus loin nos constatations personnelles comparées à celles de la littérature. Cependant, il est d'ores et déjà important de signaler l'existence d'anomalies morphologiques, à type d'agénésie, partielle ou totale, congénitale ou acquise (4, 7, 8, 62, 86, 102, 121, 133).

Pour Davidoff et Dyke (38), l'agénésie du corps calleux fut décrite pour la première fois en 1812 par Reil. En 1952, Zellweger (207) rapporte une étude angiographique de 5 cas d'agénésie calleuse, pour lesquels il retrouve dans 4 cas un trajet anormal de l'artère cérébrale antérieure et de ses branches. Larsen, en 1966 (87) décrit l'aspect angiographique d'une agénésie calleuse. Handa et Teraura (1969)(72), en rapportant deux cas personnels, proposent 5 critères angiographiques permettant de formuler le diagnostic d'agénésie calleuse :

- 1- Absence de courbure normale de l'artère cérébrale antérieure autour du genou du corps calleux.
- 2- Ascension verticale de l'artère cérébrale antérieure, inversion de la courbure normale suivie par un déplacement en arrière et en haut, et division radiale en plusieurs branches.
- 3- Augmentation de la pente de l'artère sylvienne.
- 4- Position haute et refoulement vers le haut des veines cérébrales internes et de la partie postérieure de la grande veine de Galien.
- 5- Disposition latérale des veines cérébrales internes de part et d'autre de la ligne médiane sur une incidence de face.

Comme nous l'avons déjà vu, l'embryogenèse du corps calleux débute par la formation de la masse commissurale entre la 10^e et la 12^e semaine de gestation. Cette structure décrite initialement chez l'embryon de rat par Zuckerkandl (1901), et retrouvée chez l'homme par Rakic et Yakolev en 1968 (132), induit la décussation des fibres commissurales calleuses. Ainsi, si cette masse commissurale ne prend pas forme, les fibres calleuses ne peuvent décusser et l'on obtient alors une agénésie primaire, ou initiale, du corps calleux. Cependant, cette induction ne constitue pas une

McLeod (102), sur 450 I.R.M étudiées. en coupe sagittales médianes, pondérées en T1, regroupe les anomalies congénitales en 4 groupes et les distingue des anomalies acquises.

Anomalies congénitales :

- Amincissement focalisé, quand l'épaisseur du corps est inférieure de 50 % par rapport aux valeurs moyennes (0.6 ± 0.2) dont il retrouve 112 cas.
- Kystique (0.67 %).
- Agénésie partielle. 5 cas (2 antérieures, 3 postérieures).
- Agénésie complète. 2 cas.

Déficit acquis dans 14 cas : tumorale (5), leucoangiopathie, sclérose multiple, traumatique, hématome, panencéphalite sclérosante et post-encéphalitique.

VASCULARISATION DU CORPS CALLEUX

Beevor est le premier en 1909 à s'intéresser à la vascularisation du corps calleux et montre que celui-ci est nourri par des vaisseaux corticaux provenant des artères cérébrales antérieures et postérieures. La connaissance de la vascularisation (pédicules artériels et drainage veineux) du corps calleux résulte des études anatomiques par injection d'encre de Chine ou de plastique (Stephens & Stilwell)(163) et microradiographiques (Salamon & Huang)(144).

1.- EMBRYOLOGIE ARTÉRIELLE.

Au cours des premières étapes marquant la vascularisation du système nerveux central, trois territoires vasculaires distincts se développent progressivement et indépendamment les uns des autres : il s'agit des territoires vasculaires périneural, interneural et intraneural (99).

Chacun est caractérisé par un type particulier de vaisseaux et surtout de compartiment périvasculaire, respectivement : compartiment méningé, compartiment de Virchow-Robin, compartiment de la glie périvasculaire. Les systèmes artériels et veineux dérivent du territoire vasculaire périneural développé dans le compartiment méningé. La plupart des artérioles perforantes et des veinules sont issues du territoire interneural (compartiment de Virchow-Robin). Les capillaires, apparemment les seuls vaisseaux pénétrant le tissu cérébral, se développent dans le territoire intraneural.

Nous n'envisagerons que les étapes du développement, en nous intéressant tout particulièrement à celui des artères cérébrales antérieures et postérieures.

Chronologiquement, Streeter puis Padget (119, 120) distinguent respectivement 5 ou 7 stades. Pour limiter notre exposé, nous débuterons par le stade 4 de la classification de Padget.

STADE 4 (Longueur Vertex-Coccyx, LVC, de 14 mm).

L'artère carotide primitive se divise en :

- a- Segment proximal. 1 ère branche : l'artère choroïdienne antérieure.
2e branche : l'artère cérébrale moyenne.
- b- Segment distal, qui forme le tronc de l'artère cérébrale antérieure.

Cette situation apparaît inversée par rapport à celle de l'adulte où l'artère sylvienne est en continuité directe avec la carotide interne, l'artère cérébrale antérieure pouvant être considérée comme une branche collatérale. A noter que sa branche terminale est toujours l'artère olfactive primitive.

Celle-ci possède désormais deux branches :

- une branche nasale.
- une branche "olfactive", future artère cérébrale antérieure bientôt réunie à son homologue par un lacis artériel (future artère communicante antérieure).

STADE 5 (LVC de 16 à 18 mm).

Développement des branches de la carotide externe. L'artère cérébrale antérieure poursuit son développement médial interhémisphérique. L'artère choroïdienne postérieure contourne la région pinéale primitive.

STADE 6 (LVC de 20 à 24 mm).

Padget note la fermeture du cercle de Willis. L'artère cérébrale antérieure vascularise les faces médiales des hémisphères.

L'attention est attirée, à ce stade, par une branche de l'artère cérébrale antérieure vascularisant le plexus choroïde du foramen interventriculaire bien avant le développement du corps calleux de la plaque commissurale (à partir du stade LVC de 50 à 60 mm).

Cette artère est retrouvée par Shellshear (citée par Mrs Padget (120) chez le chimpanzé *Anthropopithecus troglodytes*). Elle contourne le corps calleux et le splénium pour gagner le toit du III^e ventricule. Cette course est due au développement secondaire du corps calleux qui repousse vers le haut et caudalement les branches artérielles déjà constituées quelle que soit leur terminaison.

L'artère communicante antérieure n'est pas encore formée mais les canaux initiaux fournissent un rameau pour la masse commissurale (future artère du corps calleux). Sa course se fait caudalement autour du futur corps calleux (De Vriese).

STADE 7 (LVC de 40 mm, soit 2 mois 1/2).

Au stade final, les artères ont leur conformation adulte.

C'est le stade de la massa commissuralis de Rakic et Yakovlev (132).

L'artère médiane du corps calleux est bien développée et constituera parfois une artère accessoire ou un tronc commun (5).

Après la naissance, la densité de vascularisation du corps calleux varie en fonction de la myélinisation (118).

2. -VASCULARISATION ARTERIELLE

La vascularisation artérielle du corps calleux a été particulièrement étudiée par Lazorthes (1956)(89) qui a précisé qu'elle est en quasi-totalité sous la dépendance de l'artère cérébrale antérieure.

2.1. L'artère cérébrale antérieure

Née de la face antéro-interne de l'artère carotide interne, elle se dirige en avant et en dedans jusqu'à l'entrée de la scissure interhémisphérique en passant au-dessus du nerf optique. Dans cette scissure, elle se place contre la face interne de l'hémisphère, puis se redresse pour contourner le genou du corps calleux, s'engage dans le sillon du corps calleux, au dessus de l'insidium gris, et le suit d'avant en arrière, ce qui lui vaut pour Lazorthes la qualification d'artère péricalleuse alors que Farnarier (52) préfère parler de segment péricalleux de l'artère cérébrale antérieure.

Dans sa première portion horizontale (portion basale), elle passe au-dessus du nerf optique qu'elle croise immédiatement en avant du chiasma optique, croisant successivement la bandelette diagonale de Foville de l'espace perforé antérieur et la racine interne de la bandelette olfactive. A son entrée dans la scissure interhémisphérique, elle se situe à moins de 5 mm de son homologue controlatérale. Elle envoie à cette dernière une branche transversale de 2 à 3 mm de longueur, l'artère communicante antérieure, unique anastomose entre les artères droites et gauches. Celle-ci ne donne qu'une seule collatérale destinée au bec du corps calleux et au septum lucidum.

Dans le sillon du corps calleux, l'artère cérébrale antérieure a des rapports très étroits avec le corps calleux et répond :

- en bas : au corps calleux, où elle est amarrée par de très nombreuses branches perforantes qui le traversent, à l'insidium gris et au tractus de Lancisi.
- en dedans : à la face inférieure du lobe du corps calleux, ou gyrus cingulaire.
- en haut : au bord inférieur, concave, de la faux du cerveau, pour laquelle il existe de façon constante un branche destinée au bord libre, dans lequel est logé le sinus longitudinal inférieur.

Son calibre moyen à l'origine varie de 2 à 3 mm. Dans son ensemble elle décrit un trajet curviligne qui circonscrit le corps calleux et se termine par l'artère péricalleuse postérieure qui contourne le splénium et s'anastomose avec une branche dorsale

provenant de l'artère cingulo-thalamique issue de l'artère cérébrale postérieure par l'artère occipitale (ou calcarine).

Selon les auteurs, elle est artificiellement segmentée :

- en 2 portions, proximale et distale (Perlemutter & Rhoton (127), Dunker (47), Stephens & Stilwell (163), Lin & Kircheff (96), Baptista (5)) ou,
- en trois portions d'après Foix et Hillemand : basale, coudée et hémisphérique (Lazorthes (89), Salamon (141, 142), Gabrielle (61) Paturet (122), ou,
- en 5 portions pour Fischer (55), séparant l'artère cérébrale antérieure distale en quatre segments de A2 à A5. A2 s'étend jusqu'à la jonction bec-genou du corps calleux. A3 correspond au segment autour du genou. A4 et A5 poursuivent le trajet au-dessus du corps calleux.

L'attribution de l'artère péricalleuse postérieure à l'artère cérébrale antérieure, représentant ainsi son mode de terminaison, reste discuté. Son territoire peut être préférentiellement vascularisé par l'artère cérébrale postérieure ; il existe en effet une balance à ce niveau. En angiographie, elle n'est presque jamais visible par l'injection de l'artère cérébrale antérieure. En revanche, elle est pratiquement toujours visible après injection de l'artère cérébrale postérieure.

2.1.1 Les branches corticales.

L'artère péricalleuse donne naissance aux branches corticales à partir de la convexité de l'artère.

Les auteurs (5, 20, 61, 89, 96, 122, 127, 141, 163) s'accordent pour distinguer huit branches (les segments d'origine sont donnés entre parenthèses) : orbito-frontale (A2), fronto-polaire (A2), frontales médiales antérieure, moyenne et postérieure (A3), paracentrale (A4), pariétales médiales supérieure et inférieure (A4).

Perlemutter et Rhoton (127) ont décrit les variations d'origine, de fréquence, de calibre et de territoire de ces branches.

Seul Paturet (122) considère l'artère du lobule paracentral comme une branche terminale.

Lorsqu'elle est indépendante, elle naît du segment A4 ou de la branche callosomarginale à mi-chemin entre le genou et le splenium du corps calleux, immédiatement en arrière de l'artère frontale interne postérieure.

Elle se dirige obliquement vers le haut et l'arrière de la face médiale de l'hémisphère et se divise lorsqu'elle aborde l'angle antéro-inférieur du lobule paracentral en :

- un rameau antérieur pour le lobule paracentral qui se termine à la face corticale externe de part et d'autre de la scissure de Rolando (90, 122, 127).
- un rameau postérieur, plus volumineux, qui chemine dans le sillon calloso-marginal et marque la limite inférieure du lobule paracentral (122).

Son territoire comprend les portions supérieures et internes des circonvolutions frontale et pariétale ascendantes en association avec les artères frontales internes.

2.1.2. Les branches calleuses.

Le corps calleux reçoit sa vascularisation de façon différente sur la ligne médiane et latéralement au niveau de ses radiations.

L'artère péricalleuse est l'axe nourricier essentiel du corps calleux et de la circonvolution cingulaire par l'intermédiaire des nombreuses branches perforantes.

La citerne péricalleuse est marquée, aux phases artériolaire et veineuse précoce normale, par l'opacification d'un fin plexus pial moulant le corps calleux. Celui-ci est alimenté par les artères péricalleuses antérieure et postérieure, la branche spléniale de l'artère cérébrale postérieure et par les artères choroïdiennes postérieures (77).

L'artère péricalleuse antérieure envoie de très nombreux rameaux perforants vers les différentes portions du corps calleux.

Rameaux pour le rostrum.

La vascularisation du bec calleux est assurée par le groupe antéro-médial des artères diencephaliques courtes (89, 90). Ces fins rameaux naissent individuellement du segment précommunicant (A1) de l'artère cérébrale antérieure et de l'artère communicante antérieure (47). Ils sont rectilignes, relativement longs (5 mm), de fin calibre, non anastomosés entre eux, disposés en avant de la lame sus-optique. Leur territoire comprend : la paroi antérieure du III^e ventricule, la commissure blanche antérieure et les noyaux antérieurs de l'hypothalamus. Dunker (47)

souligne l'importance des branches de l'artère communicante antérieure dans la vascularisation du bec et du genou du corps calleux et du cingulum antérieur.

Rameaux pour le genou et le corps.

L'artère péricalleuse poursuit son trajet vers l'arrière et contourne le splenium ; on distingue les branches perforantes longues (supérieures à 5 mm) et courtes. Les rameaux calleux, nés de la convexité de l'artère, perforent la face supérieure du corps calleux. Ils sont présents dans 98 % des cerveaux étudiés dans la littérature et sont au nombre de 10 ± 7 par hémisphère (127). Ils vascularisent également le septum lucidum, les piliers antérieurs du trigone et la commissure blanche antérieure (5).

2.1.3. Les variations du segment distal de l'artère cérébrale antérieure.

Il faut distinguer deux groupes de variations : d'une part, la persistance de l'artère médiane du corps calleux ; et d'autre part, les artères cérébrale antérieure unique (sur tout ou partie de son trajet), et cérébrale antérieure "bi-hémisphérique" (cf schéma des principales variations des artères péricalleuses).

2.1.3.1. L'artère médiane du corps calleux.

Exclusivement issue de l'artère communicante antérieure, elle apparaît chez l'embryon de 20-24 mm (Stade 6 de Padget). Encore appelée artère cérébrale antérieure médiane (90) ou calleuse supérieure (61, 127), elle paraît fréquente (de 9 à 20 % selon les auteurs). L'étude de 2010 cerveaux adultes publiée dans la littérature (5) permet de noter cette artère 177 fois (8,8%). Cette fréquence est diversement appréciée selon les auteurs, mais ceci peut être dû aux critères retenus pour son identification. En effet, sa taille est très variable (5), et Lazorthes en distingue trois formes :

la première courte, chemine entre les deux artères péricalleuses et se termine, soit dans le bec et la moitié inférieure du genou du corps calleux (artère précalleuse)(127, 144), soit au tiers ou à la moitié antérieure du corps calleux.

la variété moyenne, de calibre presque égal à celui de l'artère péricalleuse, se divise en Y à la moitié du corps calleux, chaque branche vascularisant le cortex pariétal médial et la partie postérieure du gyrus cingulaire (5).

Enfin, elle peut être volumineuse, plus importante que les artères cérébrales antérieures, dont le territoire est alors réduit au groupe frontopolaire.

En fait, tous les intermédiaires existent. Lorsqu'elle est très volumineuse, elle peut être assimilée à une artère cérébrale antérieure unique. Elle peut être aussi très réduite, comme l'a montré Baptista sur 331 cerveaux ; il retrouve une petite artère médiane du corps calleux dans 279 cas, vascularisant la lame sus-optique et la partie postérieure du chiasma. Busse a d'ailleurs démontré l'existence de toutes les formes anatomiques entre l'artère, le renflement et l'anévrisme.

L'artère péricalleuse achève son trajet autour du splénium et s'anastomose à plein canal avec l'artère péricalleuse postérieure. Perlemutter (127) note, dans 38 % des cas, un trajet sous-calleux (artère calleuse inférieure), qui parfois rejoint le foramen interventriculaire en vascularisant les plexus choroïdes du III^e ventricule. Cette configuration vient illustrer chez l'homme adulte un aspect embryonnaire humain (Stade 20-24 mm) et une observation chez le chimpanzé (voir chapitre : Embryologie vasculaire).

En angiographie, cette artère est moins souvent notée, ceci s'explique par le caractère généralement unilatéral de l'injection ; il est rare de voir, sur un cliché de face, à la fois les deux artères cérébrales antérieures dans leur segment A2 et l'artère médiane du corps calleux. Par ailleurs, certaines angiographies montrent, par une injection unilatérale, les deux artères cérébrales antérieures avec une artère communicante antérieure très courte ; il est vraisemblable qu'il s'agisse, en fait, d'une artère cérébrale antérieure et d'une artère médiane du corps calleux (90).

2.1.3.2. “Tronc commun court” des artères cérébrales antérieures.

Sa fréquence est diversement appréciée : de 1,7 % pour Alpers (2) à 4 % pour Windle (195). Ce tronc commun peut être plus ou moins long (de 0,3 à 3,9 cm pour Alpers). De façon arbitraire, on en fixe la limite distale au genou du corps calleux, les formes plus longues sont alors assimilées à des artères cérébrales antérieures azygos.

2.1.3.3. Artère cérébrale antérieure unique ou azygos.

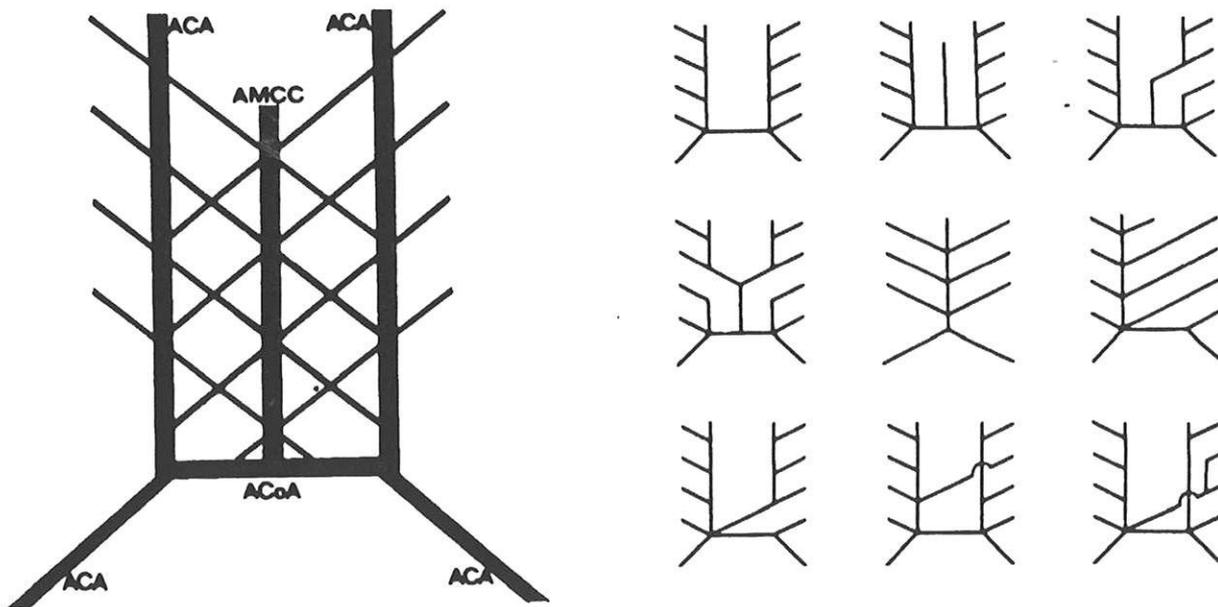
Elle se définit comme une artère cérébrale antérieure distale unique sur tout son trajet, assurant la vascularisation normale du territoire des deux artères cérébrales antérieures. Cette disposition n'est pas exceptionnelle : sur 2053 cerveaux relevés dans la littérature par Baptista (5), elle est notée 18 fois soit 0,9 %. En fait, la plupart des auteurs ne séparent pas les artères azygos des dispositions où existent une artère cérébrale antérieure bi-hémisphérique associée à une artère plus rudimentaire de l'autre côté, ce qui semble être le plus souvent le cas.

2.1.3.4. Artère "bi-hémisphérique"

Cette artère correspond à la participation variable d'une cérébrale antérieure à la vascularisation de l'autre hémisphère, allant d'une simple branche à destinée controlatérale jusqu'à un équivalent d'artère azygos. Une volumineuse artère cérébrale antérieure assure ainsi la vascularisation quasi complète des faces médiales des deux hémisphères, l'autre artère ne donnant qu'une ou deux branches.

Cette disposition est fréquente. Baptista (5) sur 381 cerveaux relève 45 artères bi-hémisphériques, sans prédominance de côté. En angiographie, l'opacification de la convexité médiale controlatérale n'est pas rare, et bien visible de face.

En tout état de cause, l'aspect morphologique de la partie antérieure du corps calleux sur une angiographie de profil est parfaitement identifiable, quelles que soient les variations anatomiques des artères cérébrales antérieures dans leur portion péricalleuse, à condition d'injecter les artères cérébrales antérieures de façon bilatérale.



A : schéma global : (A1) segment précommunicant : (ACA) a. cérébrale antérieure : (ACoA) a. communicante antérieure : (AMCC) a. médiane du corps calleux.
 B : principales variations des artères pericalluses.

2.2. L'artère cérébrale postérieure

Par ses branches proximales, l'artère cérébrale postérieure participe essentiellement à la vascularisation du splenium. Elle le fait par ses branches calleuses mais également par des rameaux issus des artères choroïdiennes postérieures.

2.2.1. Les branches calleuses

Les branches calleuses de l'artère cérébrale postérieure vascularisent le bourrelet du corps calleux par l'intermédiaire de l'artère spléniale.

Cette artère, ou artère péricalleuse postérieure (88, 191), assure sa fonction grâce à un tronc bien constitué ou par l'intermédiaire d'un plexus. Celle-ci est décrite dans les séries anatomiques avec une fréquence variant de 35,5 % (98), 62,8 % (203) à 100% (206).

Origines.

L'artère péricalleuse postérieure naît de façon variable :

- de la branche pariéto-occipitale de l'artère cérébrale postérieure dans 62 % (206), 4 % (203) ou 20 % (98).
- de l'artère calcarine dans 17,2 % (203), 12 % (206) ou 10 % (98).
- de l'artère choroïdienne postérieure dans 10 % (98), 8,6 % (203) ou 4 % (206).
- de l'artère temporale dans 6 % (206), 5 % (98) ou 2,8 % (203).
- des segments P2 ou P3 de l'artère cérébrale postérieure dans 4 % (206).

D'autres auteurs la considèrent comme une branche de l'artère péricalleuse antérieure (201) dont elle constitue la branche terminale (90, 144).

Trajet.

Née de l'artère cérébrale antérieure, l'artère spléniale contourne le bourrelet dans un trajet concave vers l'avant et s'anastomose, dans la citerne calleuse au sommet du splenium, avec l'artère péricalleuse postérieure (98, 203, 206).

Tout au long de son trajet, elle s'épuise en donnant naissance à de nombreux rameaux perforant la surface externe du bourrelet.

Branches distales de l'artère péricalleuse, les artères choroïdiennes postérieures et supérieures naissent de l'artère péricalleuse lorsque celle-ci contourne le splenium. Ces vaisseaux, de 300 à 400 microns de calibre, épousent la convexité postérieure du bourrelet ce qui les mène au-dessus de la glande pinéale et des veines cérébrales internes.

2.2.2. Les artères choroïdiennes.

Les artères choroïdiennes sont destinées à la vascularisation des plexus choroïdes et des noyaux gris postérieurs. Pour Margolis (98), elles participent à l'alimentation des malformations artério-veineuses du corps calleux ; c'est l'intérêt de leur description.

2.2.2.1. Les artères choroïdiennes postéro-latérales.

Origines. L'artère choroïdienné postéro-latérale, quand elle est unique, naît des segments P2-P3 de l'artère cérébrale postérieure dans 77 % des cas, de la pariéto-occipitale dans 10 % des cas et des artères spléniales dans 1 % des cas (98, 206).

Trajet. Elles décrivent une courbe à concavité antérieure autour du pulvinar et sous les piliers du fornix pour gagner le carrefour des ventricules latéraux par la fissure choroïdienne. Cette dernière permet de distinguer un segment cisternal et un segment plexuel.

Le segment cisternal est long de 25 mm en moyenne. Tout le long, elles envoient des branches perforantes pour :

- le thalamus et les corps genouillés
- le fornix et la glande pinéale
- le pédoncule cérébral et le cortex temporal et occipital
- le splenium du corps calleux (98, 163, 206).

Le segment plexuel de l'artère fournit des rameaux destinés aux plexus choroïdes et aux surfaces ventriculaires du thalamus et du fornix.

Cette artère est fréquemment anastomosée avec les autres artères choroïdiennes.

2.2.2.2. Les artères choroïdiennes postéro-médiales.

Origines. Branche constante et parfois multiple (2 à 4) de l'artère cérébrale postérieure (86 %) ou de sa branche pariéto-occipitale (13%).

Trajet. Les artères choroïdiennes postéro-médiales présentent un trajet en deux segments :

- mésencéphalique, où elles contournent le mésencéphale dans un trajet circumpédonculaire horizontal puis sagittal arciforme à concavité antérieure et supérieure. Elles gagnent ainsi la partie postérieure de la toile choroïdienne du III^e ventricule.

- plexuel, horizontal et sagittal sur la toile du III^e ventricule (201).

Les artères choroïdiennes postéro-médiales se divisent au voisinage du foramen inter-ventriculaire en se terminant dans les plexus choroïdes du ventricule latéral (anastomose avec les autres artères choroïdiennes) et du III^e ventricule.

Ses branches collatérales pour la face inférieure du fornix et du splenium se détachent de la face supérieure de l'artère choroïdienne postéro-médiale. Elles s'anastomosent largement avec les rameaux profonds de l'artère spléniale ou de l'artère choroïdienne postéro-latérale.

3. -EMBRYOLOGIE VEINEUSE.

Au cours de ce chapitre, nous n'envisagerons que l'embryologie des systèmes veineux de drainage de la ligne médiane.

Durant le développement embryonnaire, les cellules primitives neuroectodermiques bordant les vésicules télencéphaliques migrent de leur situation sous-épendymaire primitive vers la surface pour constituer le cortex cérébral primitif (41, 53).

Les plexus veineux sous-épendymaires constituent la voie principale de drainage de la substance blanche.

Avec l'apparition du thalamus, du corps calleux et du trigone, il ne persiste sur le site original des neuroblastes qu'une bande de substance grise sous-épendymaire vers laquelle convergent les veines médullaires. Ces veines, drainant la substance blanche, se concentrent à cet endroit avec une prédominance pour les régions frontales postérieures et pariétales (77).

Au stade de 40 mm, stade final du développement des artères, la veine cérébrale interne est rudimentaire puisque ses afférences à l'âge adulte sont liées à la prédominance du néopallium (Padget)(119, 120).

La veine cérébrale interne et la veine de Galien sont des vaisseaux d'origine piale (extra-cérébrale) à la différence de la plupart des veines superficielles nées des vaisseaux durs.

La veine cérébrale interne est initialement une veine choroïdienne antérieure et supérieure issue des plexus choroïdes des ventricules latéraux. Elle est rejointe par la veine thalamique (future veine thalamostriée) et se jette dans la veine de Galien.

La veine de Galien présente une direction crânio-caudale, contourne le splenium et se jette dans le sinus droit à angle aigu.

Le sinus sagittal inférieur dérive tardivement d'un diverticule du sinus droit dont il prolonge la direction. Son rôle est modeste.

Ces trois structures (Veine cérébrale interne+veine de Galien+ sinus droit) forment une voie de drainage extra-cérébrale dans le toit du diencéphale (tela choroïdea du III^e ventricule (157). Ce chenal veineux est ultérieurement enfoui dans l'encéphale par la croissance postérieure des hémisphères et du corps calleux. On distingue topographiquement deux groupes de veines du système veineux médian, le groupe latéral, et le groupe médial.

4. -DRAINAGE VEINEUX

Le drainage veineux du corps calleux se fait par l'intermédiaire des veines de la face interne des hémisphères (Stein et Rosenbaum, 1974)(157). Il est sous la dépendance de deux systèmes distincts :

Le système des veines cérébrales profondes. Ce système comprend les deux veines cérébrales internes, les veines basales et leurs afférences : les veines sous-épendymaires, choroïdiennes, et médullaires profondes (substance blanche) de la substance grise (noyaux)(77).

Le système des veines cérébrales corticales. Le corps calleux et les circonvolutions cingulaires se drainent dans les veines corticales médiales interhémisphériques puis vers les sinus sagittaux supérieur ou inférieur.

On peut également distinguer :

- le drainage supérieur, par les veines calleuses
- le drainage inférieur, par le système veineux profond.

4.1. Les veines calleuses.

Les veines calleuses sont toutes des veines disposées dans les citernes sous-arachnoïdiennes péricalleuses. Elles sont prédominantes en arrière au voisinage du splenium (144).

Le drainage veineux de la tranche supérieure du corps calleux est assuré par de nombreuses veinules émergeant à angle droit et peut être subdivisé en trois compartiments :

- a- la portion antérieure du corps calleux avec les veines péricalleuses antérieures (veines cérébrales antérieures).
- b- la portion moyenne avec le sinus sagittal inférieur, la veine péricalleuse antérieure et le sinus sagittal supérieur (veines corticales médiales).
- c- la portion postérieure avec la veine péricalleuse postérieure (veine cérébrale postérieure).

Pour certains auteurs, les veines péricalleuses antérieure et postérieure s'anastomosent entre elles, réalisant une circulation veineuse continue (114).

4.1.1. La veine péri calleuse antérieure (veine cérébrale antérieure).

La veine péri calleuse ou cérébrale antérieure présente un trajet analogue à celui de l'artère homonyme (144, 163). Sa fréquence, élevée, est de 90 % avec un diamètre de 0,4 à 1,5 mm (114).

Origines.

Les veinules issues du toit de la partie antérieure du corps calleux, du gyrus cingulaire et d'une faible surface des faces médiales et antérieures des hémisphères, forment la veine péri calleuse antérieure (114) et vont alimenter :

- soit directement le sinus sagittal inférieur (77) ou le sinus sagittal supérieur par une veine corticale médiale (144)
- soit la veine cérébrale antérieure (114, 163) puis la veine basilaire.

Trajet.

La veine cérébrale antérieure court d'arrière en avant (11, 13, 114, 144, 163) sur la face supérieure du corps calleux (segment supracalleux), autour du genou (segment genouillé) et dans la citerne de la lame terminale, le long de la face interne du gyrus sous-calleux (segment terminal) pour finalement se jeter dans la veine basale au niveau de l'espace perforé antérieur.

4.1.2. La veine péri calleuse postérieure (veine cérébrale postérieure).

Origines.

La veine péri calleuse postérieure ou veine spléniale (144), veine cérébrale postérieure ou postérieure du corps calleux (12), veine calleuse dorsale (157), naît au niveau de la face supérieure du tiers postérieur du corps calleux (163).

Trajet.

Elle se dispose dans la citerne péri calleuse ou dans le gyrus cingulaire (segment supracalleux) dans 80 % des cas. Elle reçoit à angle droit, dans sa course vers l'arrière, de nombreuses et fines veinules courtes issues du corps calleux, du splenium ou des lobes quadrilatère et cingulaire (12, 13, 114, 122). La veine péri calleuse postérieure contourne le splenium (segment splénial) et rejoint :

- la veine cérébrale interne (48,8 %)
 - la veine de Galien (41,5 %)
 - la veine basale (7,3 %)
-

- la veine occipitale interne (2,4 %)
- la veine atriale médiale
- le sinus droit (114, 144, 203).

La veine péricalleuse postérieure est le plus souvent double (62,5 %), chacune en situation paramédiane. Elle est unique et en situation médiane dans 33,3 % des cas et très rarement triple (4,2 %) (203).

4.2. Le système veineux profond.

Le système profond assure le drainage veineux inférieur de la région cingulo-calleuse grâce aux veines sous-épendymaires. De nombreuses veines courent à la face inférieure du corps calleux. On distingue, ici encore, trois groupes (163) :

- a - antérieur, avec la veine septale (144)
- b - moyen, avec la veine septale postérieure ou médiale directe (144) ou du toit ventriculaire (163)
- c - postérieur, avec la veine médiale postérieure (12, 163).

4.2.1. Les veines sous-épendymaires ventriculaires.

4.2.1.1. La veine septale antérieure.

Le septum lucidum est parcouru par deux courants veineux : les veinules profondes drainant le septum lui-même, et la veine septale antérieure (ou veine du septum lucidum ou veine de la corne frontale)(163).

La veine septale antérieure naît de la réunion de nombreuses veines médullaires frontales et de quelques veines calleuses antérieures. Elle se dirige médialement et vers l'arrière, le long de la face postérieure du genou du corps calleux (segment calleux), jusqu'au bord antérieur du septum lucidum dans lequel elle pénètre (segment septal)(157).

Sa course s'infléchit (segment colonnaire) autour du pilier antérieur du trigone (point septal) et devient alors franchement sagittale pour s'achever (voisinage du foramen inter-ventriculaire) dans la veine cérébrale interne avec la veine thalamo-striée et la veine choroïdienne supérieure.

De nombreuses variations de naissance, de trajet et de terminaison ont été décrites (157).

Son territoire de drainage intéresse donc les couches inférieures du genou du corps calleux.

4.2.1.2. Les veines du corps ventriculaire.

Au niveau du corps ventriculaire, le drainage veineux médian est assuré par la veine septale postérieure. Nous attirerons l'attention sur une variante plus fréquente du drainage regroupant les deux veines septales.

4.2.1.2.1. Les veines septales postérieures (veines médiales directes ou du toit du ventricule latéral).

Les veines médullaires des régions inférieures des lobes pariétaux et frontaux postérieurs convergent vers l'angle supéro-latéral du ventricule latéral et se résument en deux ou trois veinules ; elles se dirigent vers le bas et médialement en suivant l'obliquité de la face inférieure du corps calleux (toit du ventricule) dont elles captent les veines courtes qui s'en échappent.

Elles forment les veines médiales directes ou septales postérieures (12), courant sur le toit du ventricule latéral (163).

Ces troncs veineux traversent le septum pellucidum, pénètrent le velum interpositum pour rejoindre la veine cérébrale interne.

Les veines les plus antérieures peuvent se drainer dans la veine septale antérieure, les plus postérieures dans la veine cérébrale interne (114).

4.2.1.2.2. La veine septale longue.

La veine septale longue, variante anatomique soulignée par Huang, combine les deux fonctions des veines septales précédemment décrites, en un seul tronc unique (concavité du genou du corps calleux).

Elle reçoit les mêmes veinules et se jette dans la veine cérébrale interne en un point variable plus ou moins postérieur.

Elle peut même annexer le territoire de la veine atriale médiane (veine atrio-septale) (Poirier cité par Huang)(144).

4.2.1.2.3. Les veines latérales.

- La veine thalamo-striée, cheminant dans le sillon homonyme, constitue le contingent le plus volumineux de la veine cérébrale interne. Elle est la plus connue des veines sous-épendymaires intra-ventriculaires car elle est souvent facilement identifiable au cours des angiographies. Sa constance est de 90 %. Elle naît par la convergence d'affluences latérales, réparties sur la face ventriculaire du corps du noyau caudé, au niveau du sillon thalamo-strié entre noyau caudé et thalamus.

Elle chemine dans ce sillon vers l'avant jusqu'au niveau du bord postéro-interne du trou de Monro et de la portion adjacente de la fissure choroïdienne, elle fait alors demi-tour avec un angle très aigu à sommet antérieur, et pénètre la toile choroïdienne pour se drainer dans la veine cérébrale interne.

Il se forme, au niveau du tubercule thalamique antérieur, un angle formé par la jonction entre la veine thalamo-striée et la veine cérébrale interne. Cet angle veineux facilement repérable sur un angiogramme cérébral de profil marque approximativement la projection du trou de Monro, c'est à dire l'orifice externe du canal interventriculaire.

Elle draine par les veines médullaires la substance blanche fronto-pariétale et le noyau caudé. Un consensus général ne lui attribuait aucun drainage thalamique, fait contredit par Stephens et Stilwell (163).

- La veine thalamo-caudée constitue la voie de suppléance de la précédente pour le drainage des mêmes territoires (114).

4.2.1.3. La veine atriale médiane.

Elle se dispose sur la face médiale du carrefour où elle reçoit plusieurs affluents, antérieur (supérieur), moyen et postérieur (inférieur)(114).

- le groupe antérieur (supérieur) draine la partie postérieure du toit ventriculaire, perfore le sillon séparant le trigone du splenium et, dans une direction oblique vers le bas et l'arrière, se jette dans la veine cérébrale interne
- le groupe moyen au trajet vertical, assure le drainage du territoire frontière avec
- le groupe postérieur (inférieur) qui assure celui du toit de l'ostium de la corne occipitale dans un trajet ascendant et antérieur.

Ces trois troncs se jettent, soit isolément, soit deux à deux, soit par l'intermédiaire de la veine atriale médiane, dans la veine cérébrale interne au niveau du velum interpositum ou de la citerne ambiante.

Ils présentent en angiographie de face et de profil, un aspect très reconnaissable (12).

4.2.2. La veine basale de Rosenthal.

La veine basale n'intervient que modestement dans le drainage veineux de la région calleuse. Elle le fait par l'intermédiaire de la veine cérébrale antérieure qui s'unit avec la veine cérébrale moyenne pour la former au niveau de l'espace perforé antérieur (11, 13, 114).

4.2.3. La veine cérébrale interne.

Les deux veines cérébrales internes, constamment présentes, constituent l'axe veineux central de l'encéphale.

Elles naissent au niveau du toit du foramen interventriculaire, de la région des veines septales, choroïdiennes supérieures et thalamo-striées (11, 114, 163).

Au cours de leur trajet rectiligne et para-médian dans la citerne du velum interpositum, elles reçoivent successivement les veines sous-épendymaires, thalamiques, striées et choroïdiennes.

Arrivées au-dessous du splenium du corps calleux et au-dessus de la lame tectale, les deux veines cérébrales internes se réunissent en un tronc unique, la grande veine cérébrale ou veine de Galien.

Ce mode de terminaison est loin d'être la règle (77), les deux veines cérébrales internes pouvant se jeter isolément dans le sinus droit (201).

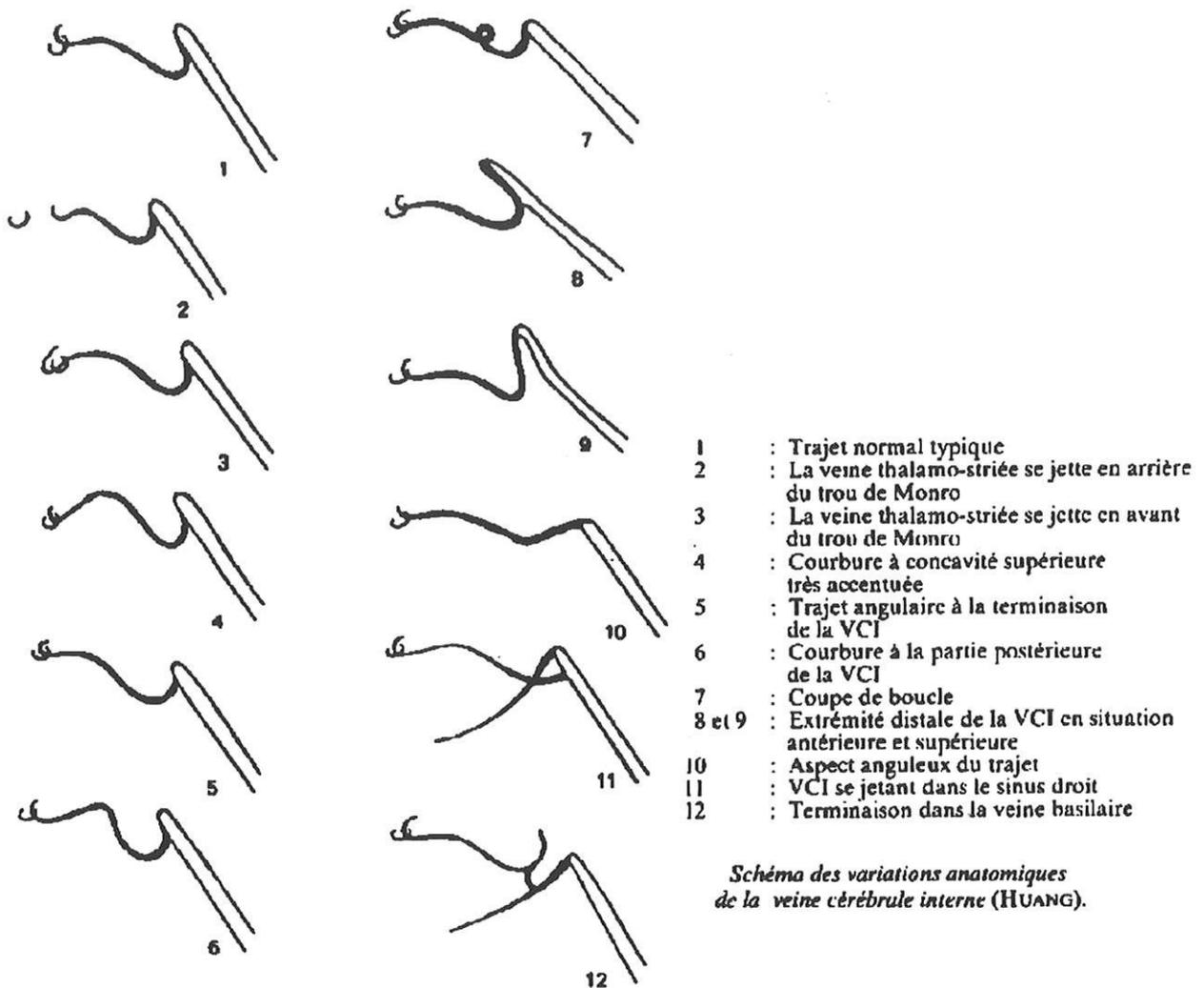


Schéma des variations anatomiques de la veine cérébrale interne (HUANG).

4.2.4. La veine de Galien.

La grande veine constitue un collecteur veineux drainant de très nombreuses régions sus et sous-tentorielles.

Elle résulte de l'union des deux veines cérébrales internes.

Courte (12 mm en moyenne), impaire et médiane, elle se dispose autour de la convexité inférieure du splénium du corps calleux où elle reçoit les veines basales et les veines cérébrales internes de chaque côté, les veines occipitales internes, péricalleuses postérieures, mésencéphaliques postérieures et latérales, cérébelleuses précentrales et vermiennes supérieures (77, 191).

Elle s'incurve vers le haut et l'arrière jusqu'à l'union de la tente et de la faux du cerveau où elle rejoint le sinus sagittal inférieur pour former le sinus droit qu'elle aborde avec un angle droit voire aigu.

4.3. Les sinus duresériens.

4.3.1. Le sinus droit.

Le sinus droit constitue la poursuite de la voie de drainage veineux central vers la veine jugulaire.

Il s'agit d'une structure constante (100 %), mesurant 50 mm de longueur moyenne (147).

Il naît de la réunion du sinus sagittal inférieur et de la grande veine cérébrale en regard de l'extrémité postérieure du splenium (147, 203). Il peut être double et drainer individuellement ses deux afférences.

Son trajet est oblique vers l'arrière et le bas dans un plan médian pour se terminer dans les sinus latéraux soit en se divisant (55 %), soit en se jetant dans l'un ou l'autre (36 %).

4.3.2. Le sinus sagittal inférieur.

Le sinus sagittal inférieur, bourgeon secondaire du sinus droit (119), est inconstant et sa valeur hémodynamique faible. Il est appendu au bord libre de la faux du cerveau. Ses afférences ont été détaillées avec la veine cérébrale interne.

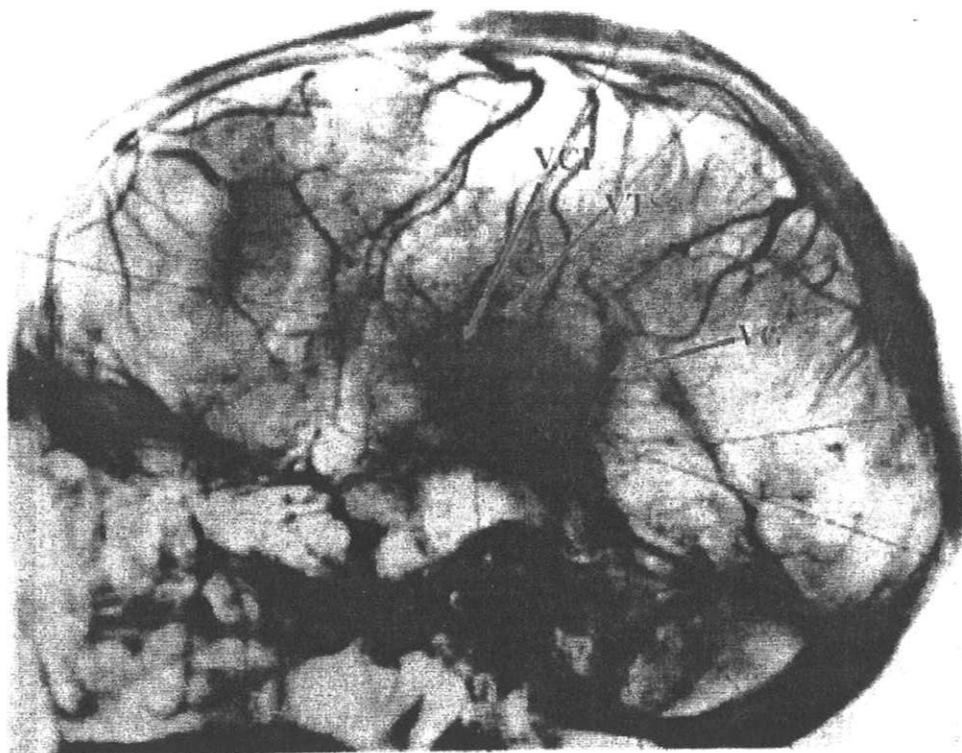


Image du haut : artériographie cérébrale de profil de l'artère carotide interne visualisant l'artère pericallosale (PC) et l'artère callosomarginale (CM).

Image du bas : angiographie cérébrale de profil au temps veineux, visualisant la veine thalamostriée (VTS), la veine cérébrale interne (VCI) et la veine de Galien (VG).

4. 4. Aspect angiographique.

4.4.1. Temps artériel

L'artère péricalleuse et ses branches, sur une angiographie de profil, sont analysables sur l'ensemble de leur trajet. Elle est d'abord oblique en haut et en avant, décrivant souvent une courbe à concavité antéro-inférieure plus prononcée. Elle présente une courbe marquée en regard du bec du corps calleux pour se diriger horizontalement en arrière selon un trajet souvent concave en bas, parfois sinueux. Dans certains cas, l'artère callosomarginale, branche de l'artère péricalleuse dans le sillon callosomarginal, a un calibre plus important que celui de l'artère péricalleuse (28).

4.4.2. Temps veineux

L'étude phlébographique, toujours sur une angiographie de profil, permet difficilement d'analyser le drainage veineux du corps calleux mais par contre, il autorise, par les veines cérébrales internes se drainant dans la grande veine de Galien, une visualisation indirecte et surtout constante (à défaut de celle proposée par l'angiographie avec l'artère péricalleuse postérieure) de la partie postérieure du corps calleux en imprimant bien le splenium, malgré l'existence de nombreuses variations anatomiques de trajet décrites par Salamon et Huang (144).

Ainsi, la superposition des temps artériel et veineux permet toujours de visualiser indirectement, sur une angiographie de profil, les limites antérieure et postérieure du corps calleux.

MORPHOMETRIE DU CORPS CALLEUX

1. Variations de surface.

Des études sur les mesures de surface du corps calleux en coupe sagittale ont été rapportées depuis des dizaines d'années. Toutes attestent d'une variation de taille. Les plus anciennes, comme celle de Bean (1906)(10), indiquaient déjà une corrélation entre la taille du corps calleux et celle du cerveau dans son axe longitudinal mais également une variation liée au sexe.

Depuis l'avènement de l'Imagerie par Résonance Magnétique, de nombreuses études sur de grandes séries in vivo ont été publiées concernant les variations morphologiques interindividuelles. Le corps calleux humain concède de grandes variations de surface avec une moyenne de $681,4 \pm 93,6 \text{ mm}^2$ (108)(min/max en surface sagittale $450/906 \text{ mm}^2$ pour Witelson (198) $439/905 \text{ mm}^2$ pour Demeters (43) ou $563/902 \text{ mm}^2$ pour Okamoto (108)).

Ces variations de surface ne sont pas toujours corrélées avec la taille du cerveau puisque Witelson retrouvait, sur 50 cas ($p < 0,001$), un rapport de 0,48 entre la longueur maximale du corps calleux et le plus grand axe antéro-postérieur du cerveau (198) alors qu'il est pour Okamoto, sur 27 sujets, de $43,9 \pm 2,3$ (108).

En 1982, De Lacoste-Utamsing et Holloway (40) retrouvaient une différence de taille et de forme du splénium liée au sexe, le splénium chez la femme étant plus globuleux et plus large que chez l'homme. Depuis, d'autres études ont confirmé ce dimorphisme sexuel (31, 71, 84, 97, 162, 199, 205).

Toujours d'un point de vue morphométrique, Witelson (197) constate sur ces 50 patients, exclusivement droitiers, une influence de la latéralisation manuelle. Pour elle, les ambidextres ont une superficie calleuse supérieure aux droitiers exclusifs, essentiellement au niveau de l'isthme (jonction entre le corps et le splénium), mais cette variation n'est retrouvée que chez l'homme et non chez la femme. Pour Steinmetz (162), qui confirme le dimorphisme sexuel, il n'existe pas de relation entre la morphométrie calleuse et la latéralisation manuelle.

Laissy et al (84), sur un groupe témoin de 124 sujets, trouvent une surface calleuse moyenne (sur une coupe sagittale médiane) de 636 mm^2 , avec une différence significative entre l'homme et la femme ($654 \pm 12,6 \text{ mm}^2$ chez l'homme, $617 \pm 10,7 \text{ mm}^2$ chez la femme avec $0,01 < p < 0,05$) alors que le rapport entre la longueur du corps

calleux et la longueur du cerveau dans le plan calleux est identique dans les deux sexes, ce qui confirme l'influence du sexe sur la taille moyenne du cerveau.

2. Variations de longueur.

Au cours de notre travail, nous avons au préalable étudié la longueur du corps calleux (dans son plus grand axe) et sa hauteur afin de comparer les valeurs obtenues à celle de la littérature. Nos mesures ont été effectuées sur des I.R.M. en coupes sagittales médianes pondérées en T1 chez 40 sujets masculins de 21 à 24 ans (cf Matériel et Méthodes p. 54)

Les résultats obtenus sont regroupés sous la forme des tableaux ci-joints. La longueur moyenne du corps calleux est de 76,7 mm avec un écart-type de 5,2. Olivier (93), sur l'étude de 50 corps calleux, trouve une longueur moyenne de 74,4 mm.

La plus grande étude morphométrique sur le corps calleux est, à notre connaissance, celle de MacLeod (102) qui, entre 1984 et 1986, collige 450 corps calleux étudiés en imagerie par résonance magnétique nucléaire en coupe sagittale médiane.

Elle retrouve une longueur totale de $69 \text{ mm} \pm 5$, répartie comme suit :

Longueur du genou : $11 \text{ mm} \pm 2$

Longueur du corps : $6 \text{ mm} \pm 2$

Longueur du splenium : $11 \text{ mm} \pm 2$.

Les variations morphométriques du corps calleux, maintes fois décrites dans la littérature (39, 43, 205), ont été constatées dans notre série. Bien qu'il concède, dans ses mensurations, des variations communes à toute structure anatomique (comme, par exemple, la distance commissure blanche antérieure - commissure blanche postérieure), le rapport entre la longueur du corps calleux et la longueur totale du parenchyme cérébral dans le plan calleux est sensiblement constant, une variation de ce rapport permettant à Laissy (84) d'évoquer, sur ce seul argument, le diagnostic d'agénésie calleuse.

Toutefois, malgré ses variations morphométriques, le corps calleux possède un rapport relativement constant avec les structures télencéphaliques, ces dernières imprimant la longueur définitive et exacte du cerveau.

L'intérêt de notre étude est de vérifier la fiabilité de ces rapports pour valider le corps calleux comme référentiel de repérage tridimensionnel des structures télencéphaliques.

REPERAGE STEREOTAXIQUE

REPERAGE STEREOTAXIQUE

HISTORIQUE

La neurochirurgie stéréotaxique imposa à l'anatomie du cerveau une dimension nouvelle. De descriptive, elle dut devenir topographique et topographique par rapport à des formations "repères" pouvant être rendues visibles par des moyens radiographiques (152).

On savait, après la publication de Horsley et Clarke en 1908 (75), qu'il était possible d'établir les coordonnées d'une structure intracérébrale chez le chat en se rapportant à trois plans de référence : frontal, horizontal et sagittal. Grâce à un appareil convenablement fixé sur la tête de l'animal, il devint possible d'introduire dans le cerveau, en un point voulu, une aiguille permettant d'enregistrer, de détruire, ou de stimuler une structure donnée. Dès 1920, Clarke et Henderson rédigent un atlas chiffré pour le macaque, et Johnson et Krieg pour le rat (194). Le développement de la Neurochirurgie et son rayonnement sont alors tels qu'il n'est plus chimérique de penser que le principe découvert par Horsley et Clarke puisse être appliqué à l'homme.

Après la découverte fondamentale de la ventriculographie gazeuse par Dandy en 1918, il faut attendre 1927 pour franchir un nouveau pas, également capital : la découverte de l'artériographie cérébrale par le portugais Egas Moniz qui publie ses premiers travaux sur "l'encéphalographie artérielle". Ce fut la naissance officielle de la Neuroradiologie, permettant de visualiser *in vivo* des structures cérébrales (194).

C'est à partir des années 50 que de nombreux auteurs publièrent différents travaux ayant pour but le repérage anatomique des structures intra-cérébrales (18, 24, 36, 65, 113, 149, 150, 154-156, 170, 172-176, 183, 192).

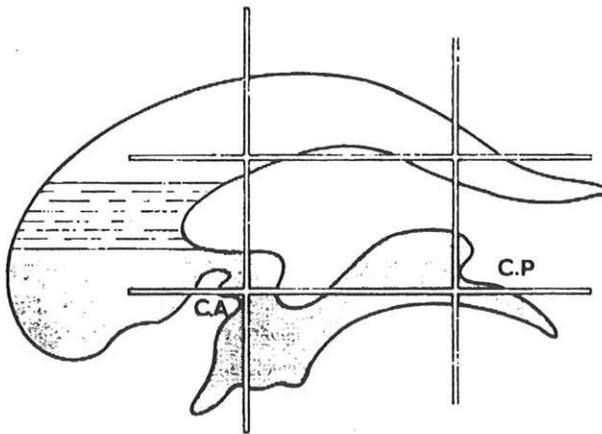
Les premiers repères utilisés furent osseux : ligne de Francfort unissant le bord inférieur de l'orbite au bord supérieur du conduit auditif interne, ligne de Schliedt (1952) unissant nasion au dorsum sellae. Il apparut rapidement que ces repères étaient insuffisamment précis, tant à cause de leur variabilité que de leur distance trop grande des cibles éventuelles. En 1952, A. Delmas et B. Pertuiset (42) publient une étude sur la topométrie crânio-encéphalique. Cette même année paraît, à New York, le premier atlas chiffré, sous la signature de E.A. Spiegel et H.P. Wycis (156). Comportant des coupes horizontales, frontales et sagittales du cerveau, leur atlas apporte les coordonnées moyennes des structures et leurs positions extrêmes. Ainsi, au cours de ces années, en utilisant des méthodes personnelles, anatomistes et neurochirurgiens ont essayé de

donner une réponse à un problème pratique : le repérage dans l'espace d'une structure intra-cérébrale. Les difficultés essentielles qu'ils ont rencontrées viennent de la variation de taille des structures anatomiques quand on passe d'un sujet à l'autre ; celle-ci n'est pas considérable en valeur absolue, mais peut atteindre, pour une petite structure, la valeur de ses dimensions ; elle est donc relativement très importante. Le problème est encore plus complexe si l'on considère que les variations ne se font pas toujours dans le même sens pour toutes les structures (42).

LE REPÉRAGE STÉRÉOTAXIQUE DE JEAN TALAIRACH.

En 1952, J. Talairach, J. De Ajuriaguerra et M. David (174) publient une topographie des noyaux gris centraux par rapport au système ventriculaire. Cette étude ne fait pas état de mensurations, mais d'un procédé stéréotaxique proportionnel.

Le génie de Talairach ne s'arrête pas là puisqu'il va constituer un atlas sur des bases statistiques (173). La première version de cet atlas, élaborée à partir de 1956 (publié en 1957), était principalement destinée à la chirurgie en condition stéréotaxique. L'étude a donc été particulièrement fine sur la localisation des noyaux gris centraux, car on utilisait cette méthodologie pour le traitement chirurgical de la maladie de Parkinson. Afin de comparer des cerveaux différents, deux étapes de repérage ont alors été proposées. Dans un premier temps, ils ont recherché un plan de repérage identique d'un cerveau à l'autre et facilement identifiable par rapport à des structures anatomiques constantes. Deux points anatomiques, supposés constants au niveau diencéphalique, ont été choisis, à savoir la commissure blanche antérieure (CA) en avant et la commissure blanche postérieure (CP) en arrière. En déterminant, grâce à la ventriculographie, le bord supérieur de CA et le bord inférieur de CP, il est alors aisé d'effectuer le tracé d'une ligne de base horizontale facilement reproductible...



La ligne de base CA-CP de J. TALAIRACH (bord supérieur commissure antérieure-bord inférieur commissure postérieure) et le quadrilatère proportionnel de projection du thalamus. Schéma d'une radiographie après injection de lipiodol (qui dessine le plancher de la corne frontale, le trou de Monro et le III^e ventricule) et d'air (qui dessine la voûte du ventricule latéral).

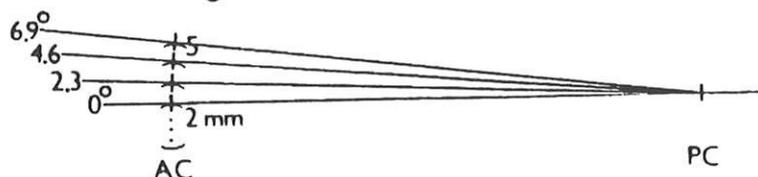
La deuxième opération, destinée à permettre la comparaison de cerveaux de taille différentes, est une opération proportionnelle. Il s'agit de mesurer les dimensions extrêmes du cerveau dans les trois directions de l'espace et de segmenter le volume dans lequel s'inscrivent les contours du cerveau. Le volume est divisé suivant un nombre de lignes constant à intervalles réguliers par rapport aux limites externes du volume et par rapport au plan fixe, commissure blanche antérieure-commissure blanche

postérieure (ligne CA-CP). Le volume ainsi divisé en petits volumes élémentaires peut d'une part être comparé d'un cerveau à un autre quelles que soient leurs tailles, et d'autre part être affecté de coordonnées tridimensionnelles appelées coordonnées stéréotaxiques.

Si ce système proportionnel de repérage est admis et utilisé par la plupart, certains auteurs ont de nouveau étudié, depuis les travaux de Szikla (1977)(168, 169), un repérage externe, cherchant alors une corrélation avec la ligne bi-commissurale. Ainsi Szikla retrouve un parallélisme planaire entre la Ligne Orbito-Méatale (OML) et la ligne CA-CP. D'autres observations firent état d'un parallélisme approximatif entre la Ligne Glabella-Inion (GIL), la Ligne Fronto-Occipitale (POL) et la ligne bicommissurale (Tokunaga, 1977 (180) ; Salamon, 1988 (15)).

Par l'Imagerie en Résonance Magnétique, la visualisation anatomique des structures intra-cérébrales, en coupe sagittale médiane, est d'une facilité déconcertante (16, 54, 66, 110, 140, 145, 146). En coupe d'acquisition rapide (écho de gradient T1), on visualise aisément les deux commissures blanches, antérieure et postérieure, permettant de tracer la ligne CA-CP. Grâce à cet examen, cette ligne peut désormais être tracée du centre d'une commissure à l'autre, éliminant ainsi les erreurs liées aux variations d'épaisseur de la commissure blanche antérieure. C'est pourquoi il est préférable actuellement d'utiliser le "centre à centre" (Tokunaga et coll.)(180) plutôt que l'axe préconisé par Talairach, du bord supérieur de CA au bord inférieur de CP, seul réellement possible à l'époque de la ventriculographie par repérage indirect.

En effet, pour Tokunaga, la commissure blanche antérieure est directement identifiable en I.R.M. en coupe sagittale, dans presque tous les cas, le centre étant plus facile à définir que les bords, variants selon la résolution de la séquence utilisée. Dans son expérience, la commissure blanche postérieure n'est pas directement identifiable dans le même plan de coupe, mais sa situation (jonction entre la partie postérieure du III^e ventricule et l'aqueduc de Sylvius) limite les variations d'erreurs. Par ailleurs, la commissure blanche antérieure n'a pas une taille constante (de 2 à 5 mm de diamètre pour Tokunaga). Etant donné le faible écart entre CA et CP, tout en considérant CP fixe, la variation retrouvée entraînerait entre la ligne originale de Talairach et le "centre à centre", une variation d'angle de 7°.



Variations d'inclinaison de la ligne CA-CP en fonction du diamètre de CA, la position de CP étant supposée fixe (d'après Tokunaga).

REPERAGES EXTERNES

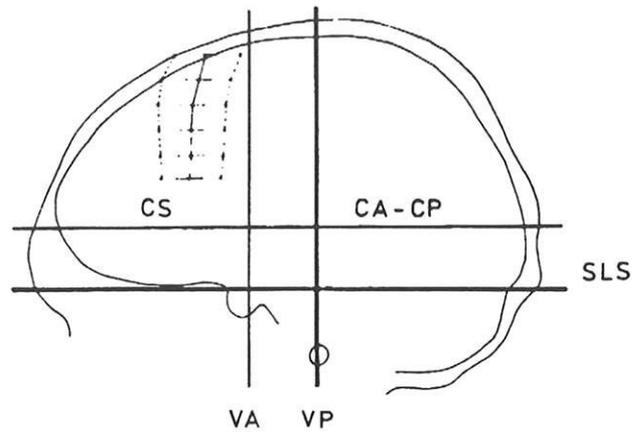
En 1892, Sebileau exprimait déjà que *"contrairement à ce que pensait Gall et Spurzheim, il n'est aucune saillie, aucune dépression, rien enfin qui traduise au dehors l'existence de ces différents centres (psychomoteurs) ; mais le chirurgien, grâce aux renseignements fournis par l'anatomie topographique, peut, à point nommé, appliquer sur l'un ou l'autre sa couronne de trépan."* (151)

Ainsi, le repérage topographique cortical définissait à l'époque, par exemple, l'extrémité supérieure de la scissure de Rolando à *"5 cm et demi chez l'homme, à 5 cm chez la femme, en arrière du Bregma."*

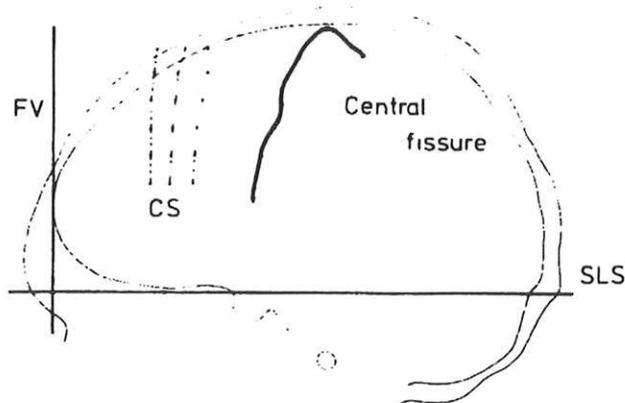
"Tendez, aussi droit que possible, un fil entre les deux conduits auditifs : sur le sommet du vertex, ce fil passe sur le Bregma. L'extrémité inférieure de la scissure se détermine ainsi : de l'apophyse orbitaire externe, tirez une ligne bien horizontale, qui chemine d'avant en arrière, et s'arrête à 7 cm chez l'homme, à 6 cm et demi chez la femme, de son point d'origine. Sur la partie postérieure de cette ligne, faites tomber une perpendiculaire haute de 3 cm ; là s'arrête la scissure. Réunissez les deux points par une droite ; cette droite, c'est la ligne rolandique."(151)

Un siècle plus tard, l'étude topographique de la suture coronale (138) par rapport au sillon central, repérés tous deux sur une artériographie de profil sans soustraction, donne lieu, pour Ebeling (49), à des variations de plus ou moins 4 millimètres dans le sens antéro-postérieur chez plus de 70 % des sujets, avec des extrêmes entre les valeurs minimales et maximales de 16 à 21 millimètres (schémas). Kido (82) retrouve sur un repérage du sillon central, par scanner en coupes axiales, la même imprécision.

De toutes les lignes pouvant définir un repère en topométrie crânienne, deux sont traditionnellement utilisées (152) : la ligne de base anthropologique et la ligne orbito-méatale, toutes deux identifiées en 1961 par la Commission de Neuroradiologie de la Fédération Mondiale de Neurologie. En plus de celles-ci, deux autres peuvent également être proposées : la ligne Glabella-Inion (LGI) et la ligne fronto-occipitale (LFO)(15).

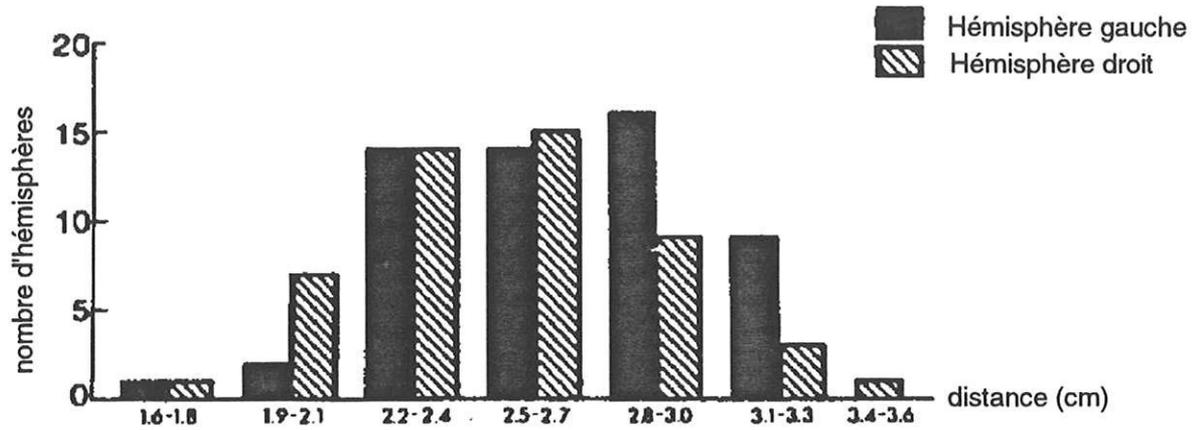


Variations de la suture coronale
par rapport au référentiel de Talairach
(d'après Ebeling).

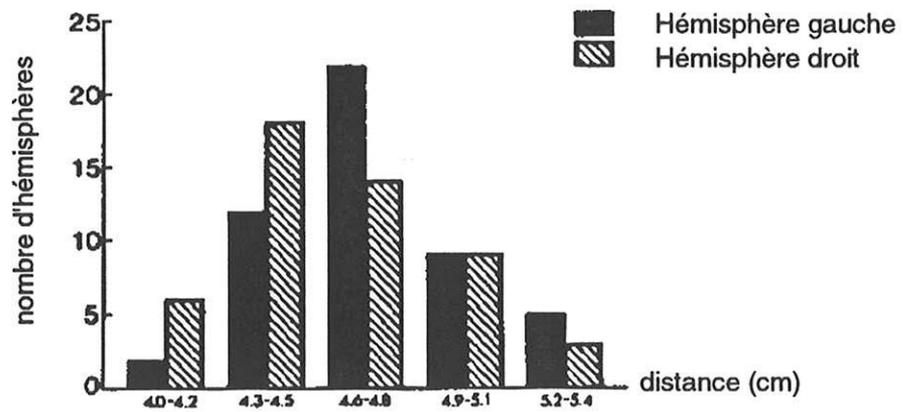


Variations de la suture coronale
par rapport au sillon central
(d'après Ebeling)

**Etude de la projection de la suture coronale sur le cortex cérébral,
d'après Kido.**



Distribution des mesures entre la suture coronale et le sillon precentral

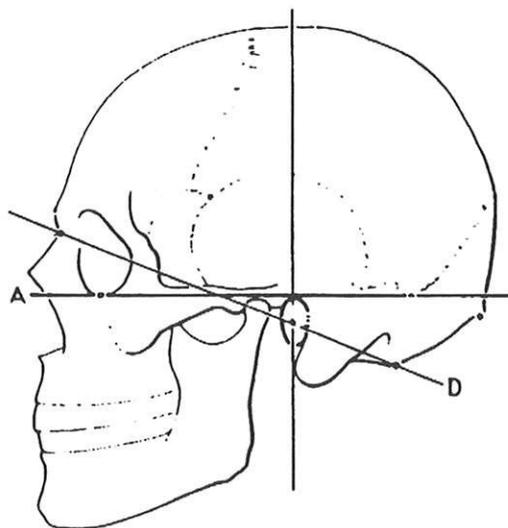


Distribution de la mesure entre la suture coronale et le sillon central

La ligne de base anthropologique. Synonyme de ligne de base de Reid ou ligne de Frankfurt, elle lie le bord infra-orbitaire au point supérieur tangent au méat auditif externe. Cette ligne, aisément repérable sur une radiographie standard du crâne de profil, ne permet pas un repérage fiable des structures cérébrales corticales (Schaltenbrad & Bailey)(149). Tokunaga (180), en 1977, a étudié la variabilité de l'axe fronto-occipital par rapport aux lignes de base anthropologique et cantho-méatale. Il retrouve une telle variation dans les deux cas qu'il conclut à l'absence de fiabilité d'un repère osseux, comme la ligne de base anthropologique, pour localiser avec certitude une formation intra-parenchymateuse. Les rapports de ces différentes lignes, ainsi que leurs variations, sont exprimés dans les schémas page 52.

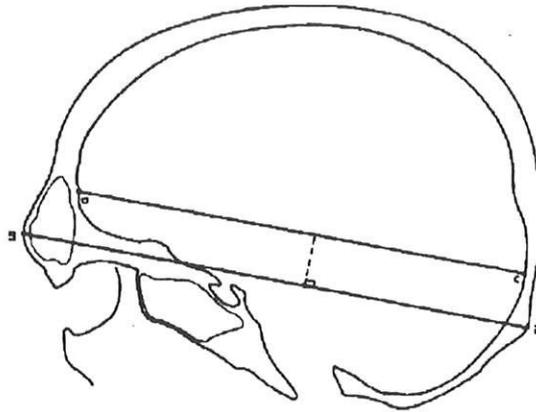
La ligne orbito-méatale (LOM), ou cantho-méatale, joint la projection orthogonale dans le plan frontal du canthus externe au centre du méat auditif externe. L'asymétrie crânienne (42) et la difficulté de construire ce repère sur une seule coupe en I.R.M. rendent ce repérage difficilement exploitable en Neuroradiologie et en Neurochirurgie (15).

Toutefois, le plan défini par cette ligne conduit Szikla et ses collaborateurs, en 1977, à le comparer à la ligne CA-CP chez 50 sujets. Les valeurs obtenues ($1,4^{\circ} \pm 2,7^{\circ}$ avec des extrêmes à -5° et $+9^{\circ}$) sont trop variables pour être utilisées de façon fiable.



A : Ligne de base anthropologique (ou ligne de Reid)
 D : Ligne Orbito-Méatale.
 ("The British Journal of Radiology" cité par Bergval)

La *ligne Glabellle-Inion*, de définition radiologique, retrouve un parallélisme avec la *ligne pôle frontal-pôle occipital (LFO)* (définie comme la plus grande longueur endocrânienne, dans l'axe fronto-occipital, de table interne à table interne, sur une radiographie du crâne de profil).



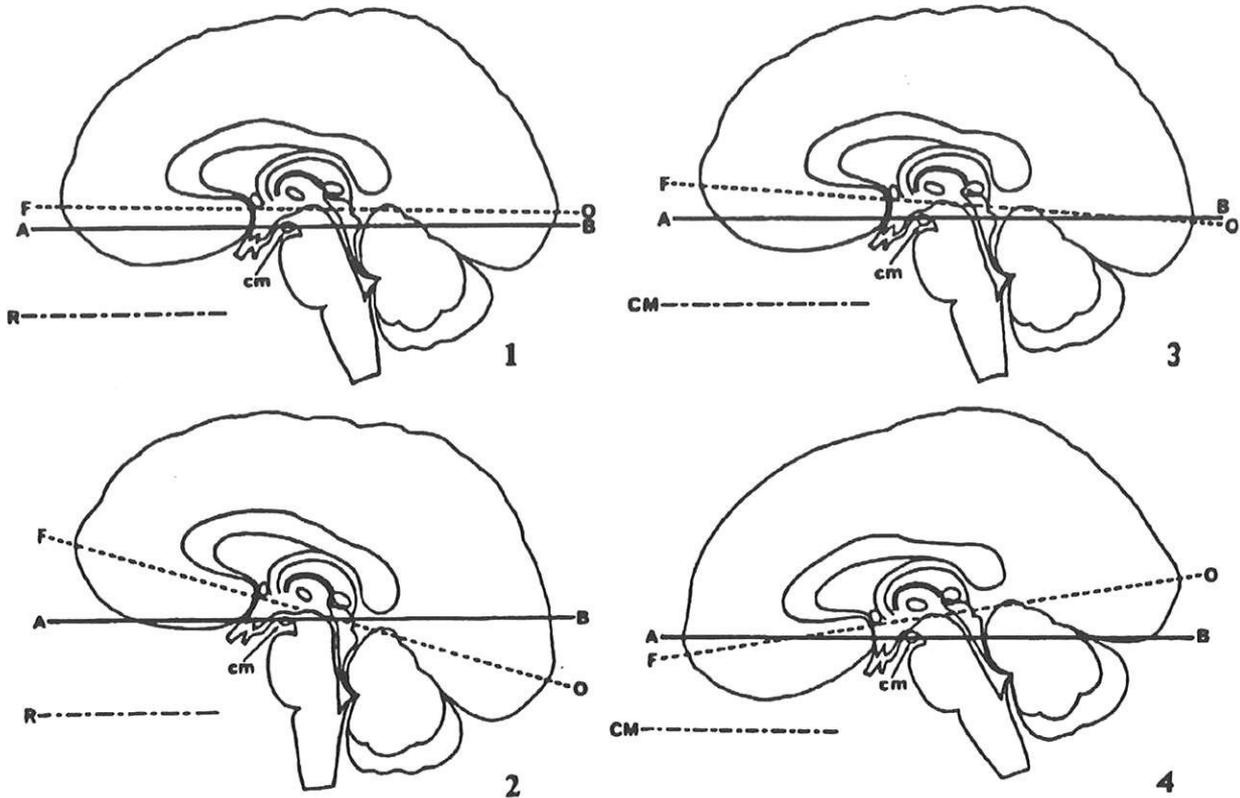
g-i : Ligne glabellle-inion.

f-o : Ligne pôle frontal-pôle occipital.

Tokunage et Takase (170, 180) prouvent qu'il existe un parallélisme entre ces lignes et le repère diencephalique CA-CP de Talairach. Cette étude, reprise par Bergval et Salamon en analysant les données d'imagerie par résonance magnétique en coupes sagittales médianes, confirme la réalité d'un parallélisme entre LOM, LFO et CA-CP. Les auteurs proposent de valider ce repère externe comme l'un des plus fiables (15).

Cependant, si l'on considère l'asymétrie corticale existant entre les hémisphères droit et gauche, liée à la rotation gyrale et la zone du langage dans l'hémisphère dominant (27, 42, 70, 91, 92, 113, 136), il devient caduc, sur un simple repérage externe, de situer avec précision le sillon central et par là-même l'aire motrice.

C'est pourquoi aucun système de repérage externe ne peut être suffisamment précis en Neurochirurgie compte tenu des variations de taille et du potentiel de croissance indépendant qui existent entre la boîte crânienne et le cerveau humain.



Variation de l'axe du cerveau (ligne F.O.) par rapport à la ligne de Reid.

AB : ligne parallèle à la ligne de Reid (R), passant par le corps mamillaire.

Figure 1 : angulation minimale de $1,1^\circ$

Figure 2 : angulation maximale de $16,7^\circ$ (A noter que le cervelet passe sous la ligne AB, contrairement au cas n° 1).

Variation de l'axe du cerveau par rapport à la ligne cantho-méatale.

AB : ligne parallèle à la ligne cantho-méatale (C.M.), passant par le corps mamillaire.

Figure 3 : La ligne F.O. croise la ligne cantho-méatale avec une inclinaison minimale de $175,8^\circ$.

Figure 4 : La ligne F.O. croise la ligne cantho-méatale avec une inclinaison maximale de $189,8^\circ$.

LE REFERENTIEL CALLEUX

LE REFERENTIEL CALLEUX

INTÉRÊT

En 1984, avec l'utilisation croissante de l'Imagerie par Résonance Magnétique, Olivier et ses collaborateurs, cherchant à définir les coordonnées stéréotaxiques du télencéphale plus précisément que ne l'avait fait 30 ans plus tôt Jean Talairach pour les noyaux gris centraux avec la ligne bi-commissurale, proposent d'utiliser le corps calleux comme référentiel de repérage stéréotaxique (112).

Se basant sur le développement embryologique, ils admettent qu'une zone anatomique du cortex cérébral, voire un point, ne peut être qu'au mieux défini par un référentiel de même origine télencéphalique ; ils choisissent le corps calleux.

Le choix de cette structure anatomique, impaire sagittale médiane, trois fois plus longue que la ligne bicommissurale, est moins sujette aux variations interindividuelles.

L'intérêt de ce nouveau référentiel est surtout rehaussé par sa visualisation à la fois directe sur une coupe sagittale médiane d'I.R.M. (110) et indirecte sur une angiographie cérébrale de profil par la superposition des temps artériel et veineux (111, 112, 129).

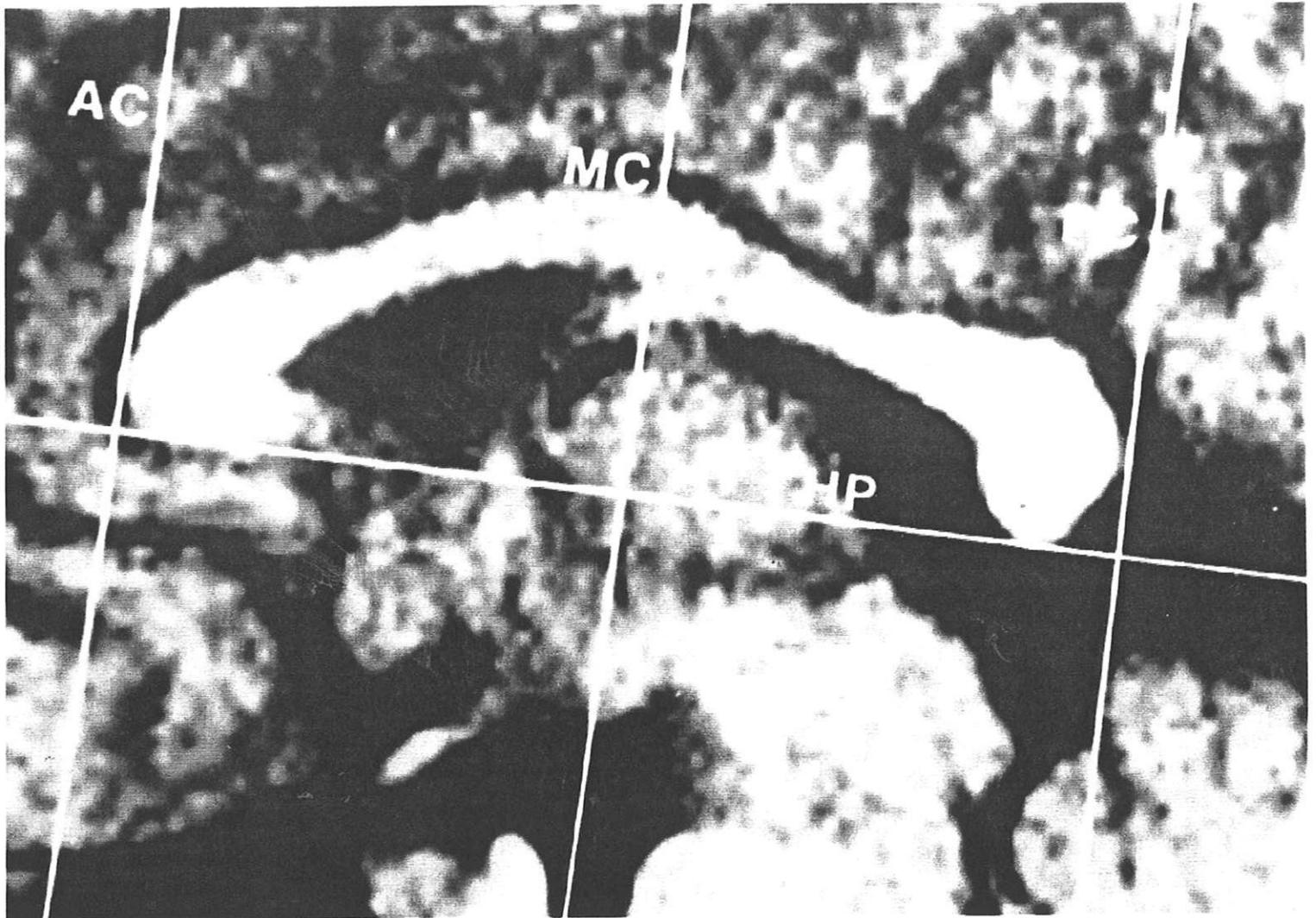
LES LIGNES DE BASE ANATOMIQUES

Sur une coupe anatomique sagittale médiane, le plan horizontal (CCA-CCP) se définit par une ligne passant par les points inférieurs du genou et du splenium du corps calleux. Des lignes, ou plans secondaires, sont établies par des perpendiculaires au plan horizontal. Ainsi, la ligne genou du corps calleux (GC) est une tangente au bord antérieur du genou et la ligne splenium du corps calleux (SC) est une tangente au bord postérieur du splenium.

Ces lignes permettent de mesurer la longueur du corps calleux et de déterminer le plan mi-calleux (MC) situé à mi-distance de GC et SC. L'intersection des plans mi-calleux MC et horizontal CCA-CCP définit un point central O.

Le but de notre travail est de repérer, par la projection orthogonale de ces lignes calleuses (ou grille calleuse) sur l'hémisphère, le sillon central, l'aire motrice primaire et l'opercule rolandique, en recherchant l'existence de rapports constants.

Auparavant, pour valider notre repérage, nous consacrerons le chapitre suivant à l'étude de la projection de la ligne CA-CP de Talairach sur ce nouveau référentiel.



Lignes de base anatomiques calleuses sur une I.R.M. en coupe sagittale médiane.

AC = GC = Verticale antérieure au genou du corps calleux.

MC = médio-calleuse.

PC = SC = Verticale postérieure au splenium du corps calleux.

HP = CCA-CCP = Plan horizontal corps calleux antérieur-corps calleux postérieur.

PROJECTION DU REFERENTIEL DE TALAIRACH SUR LE REFERENTIEL CALLEUX

1. Introduction.

La ligne de base CA-CP de Talairach et ses deux verticales VCA et VCP constituent le référentiel de base de toute étude stéréotaxique sur le cerveau humain. Si nous nous proposons d'étudier le référentiel calleux, sa comparaison avec le système de Talairach nous paraît indispensable pour en valider ses applications.

2. Matériels et méthodes.

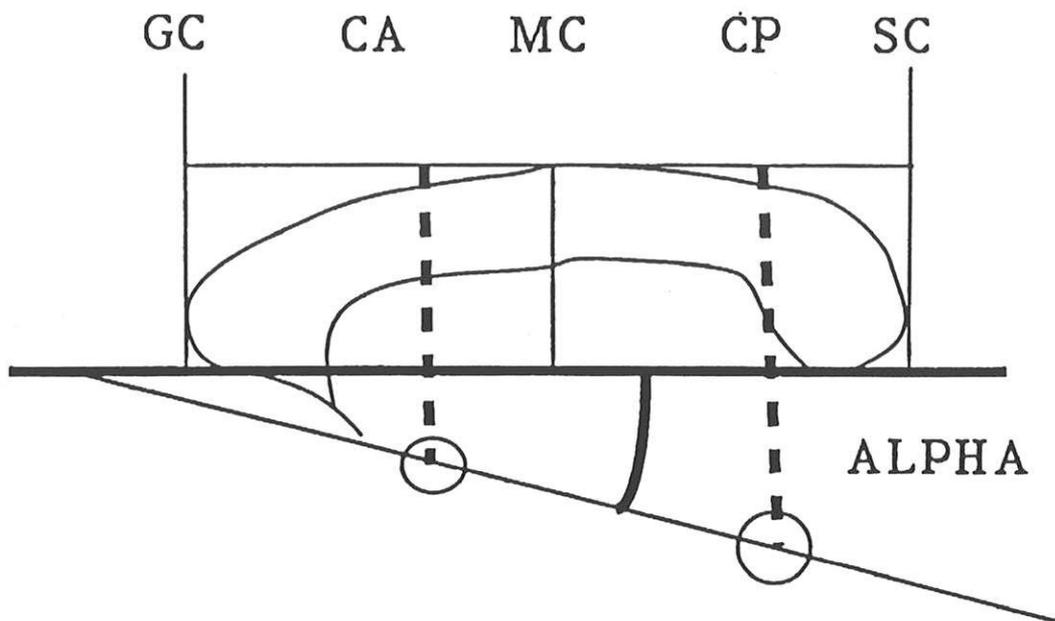
63 sujets masculins, de 21 à 24 ans, tirés au sort dans la population des étudiants en médecine de Paris ont été convoqués par courrier à Orsay (*) pour y subir une I.R.M. cérébrale sans injection de Gadolinium, dans les conditions décrites par la loi sur les essais thérapeutiques.

40 ont répondu aux critères d'inclusion de l'étude : droitiers exclusifs, sans antécédent neurologique, ils ne présentaient, au moment de l'étude, aucune altération physique ou psychique.

Nous avons réalisé, pour chacun d'eux, des coupes axiales et coronales de 2 mm jointives et sagittales de 3 mm jointives, en pondéré T1 en vraie grandeur (I.R.M. Siemens 0,5 T, TR 450 ; TE 60 ; matrice 256 X 256). Seules les coupes sagittales ont été utilisées pour notre étude.

Sur chaque coupe sagittale médiane, à l'aide d'un calque, nous avons tracé les lignes de base anatomiques du référentiel calleux et la ligne CA-CP de centre à centre, puis nous avons projeté orthogonalement sur la ligne de base du corps calleux les points CA et CP. Les différentes distances entre les points projetés sur la ligne de base calleuse ont été mesurées ainsi que l'angle formé par le plan calleux et le plan CA-CP (cf schéma).

(*) Groupe Imagerie Neurofonctionnelle
Service Hospitalier Frédéric Joliot
CEA
91406 ORSAY, FRANCE

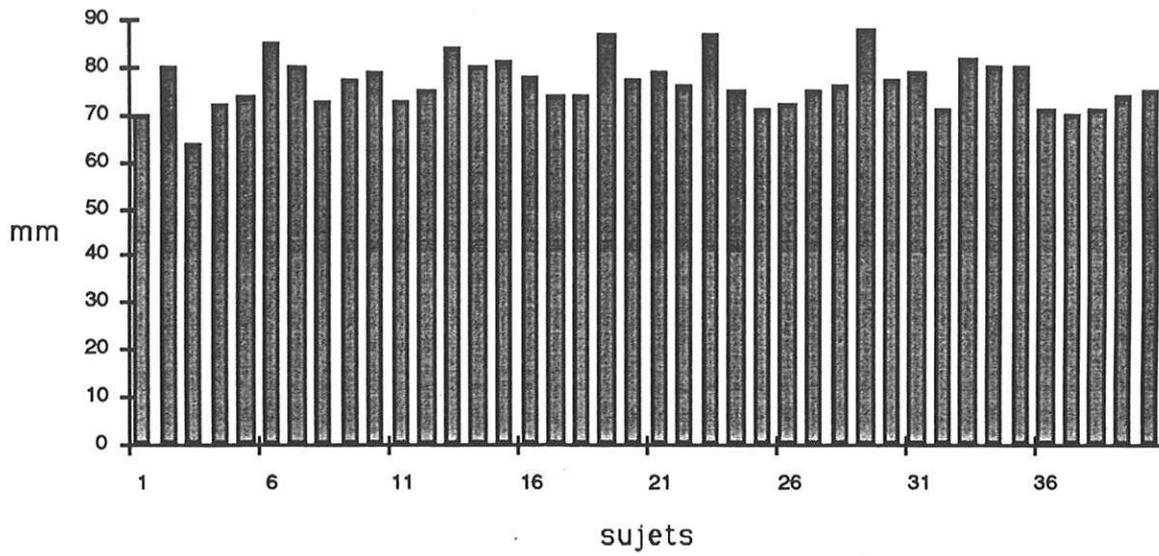


Les critères de jugement retenus pour apprécier les résultats ont été, pour chaque distance, la moyenne, l'écart-type, la variance et l'intervalle.

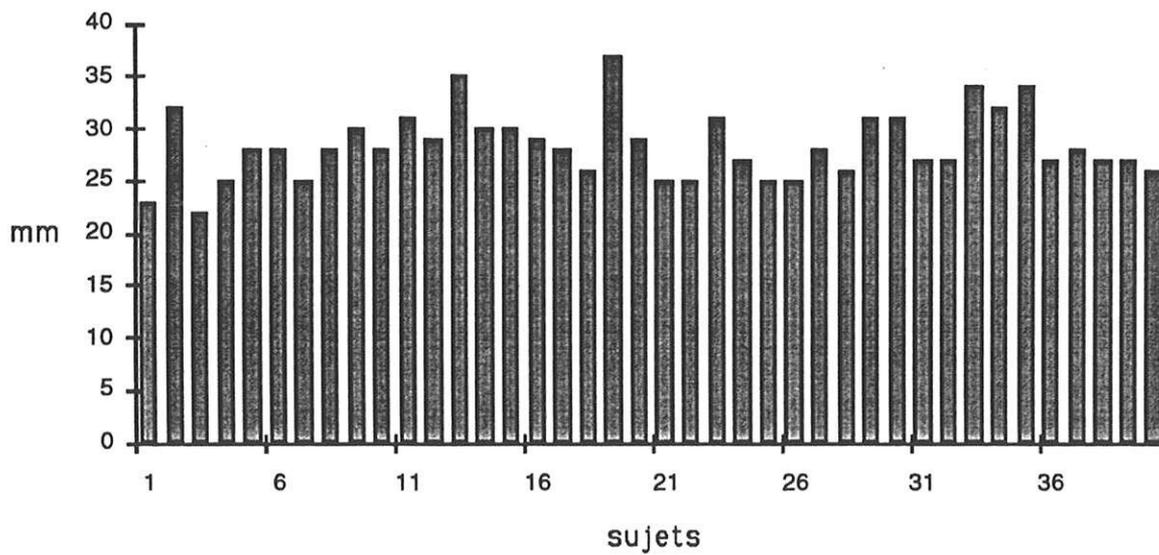
3. Résultats.

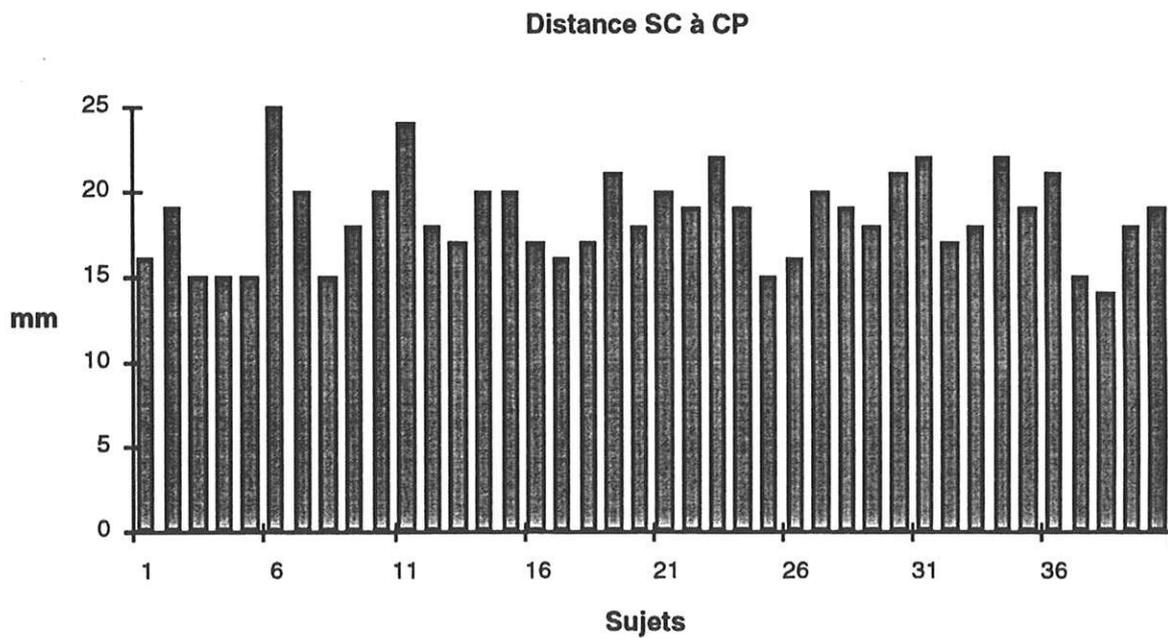
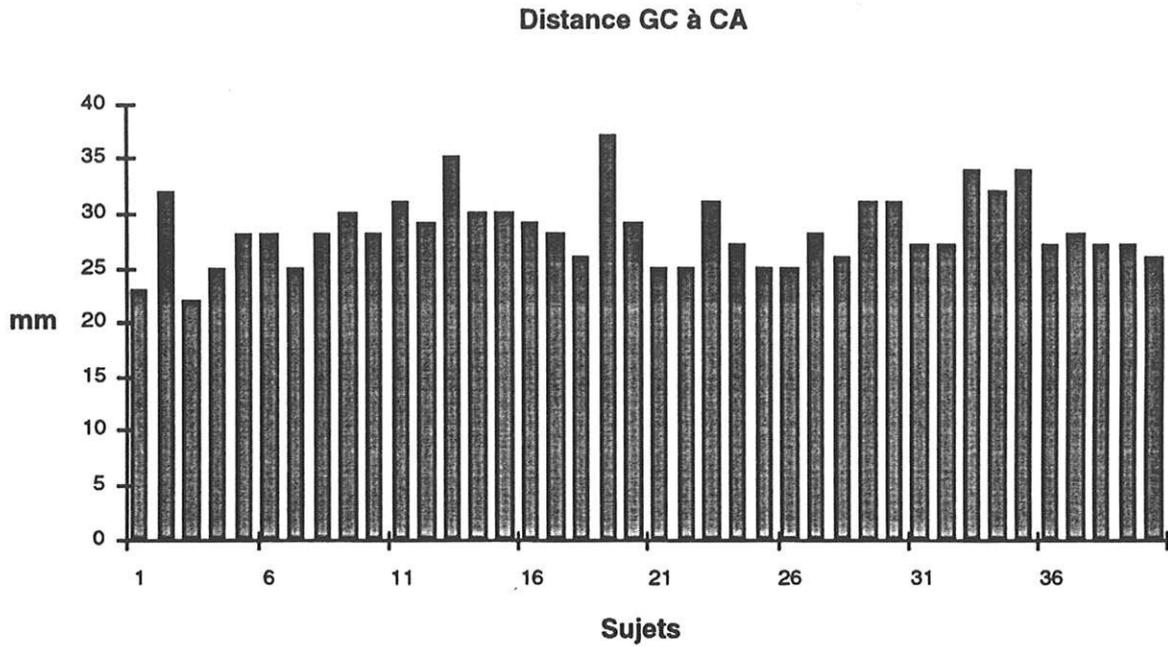
Tous les résultats sont présentés sous la forme du tableau page 60, toutes les distances mesurées étant détaillées individuellement sous forme d'histogramme.

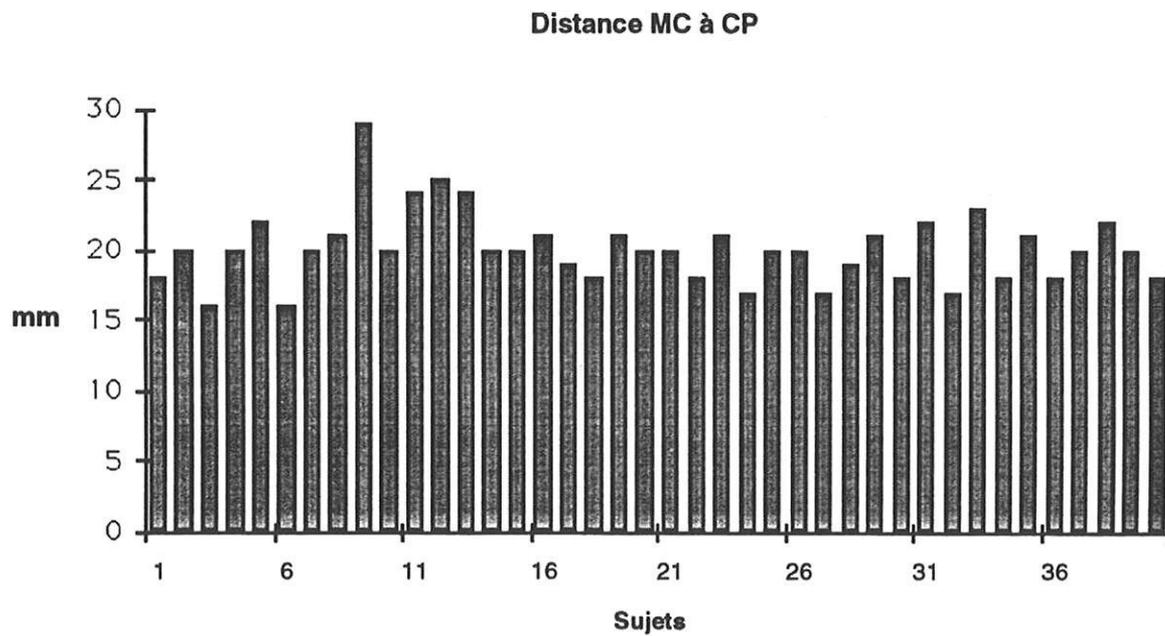
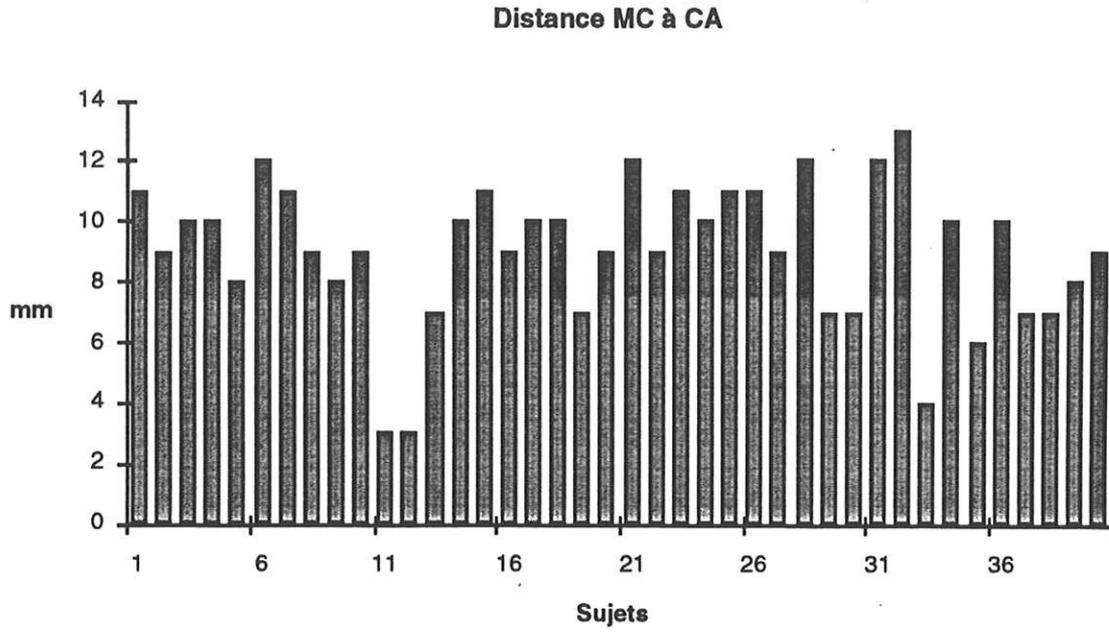
Répartition de la longueur du corps calleux chez 40 adultes

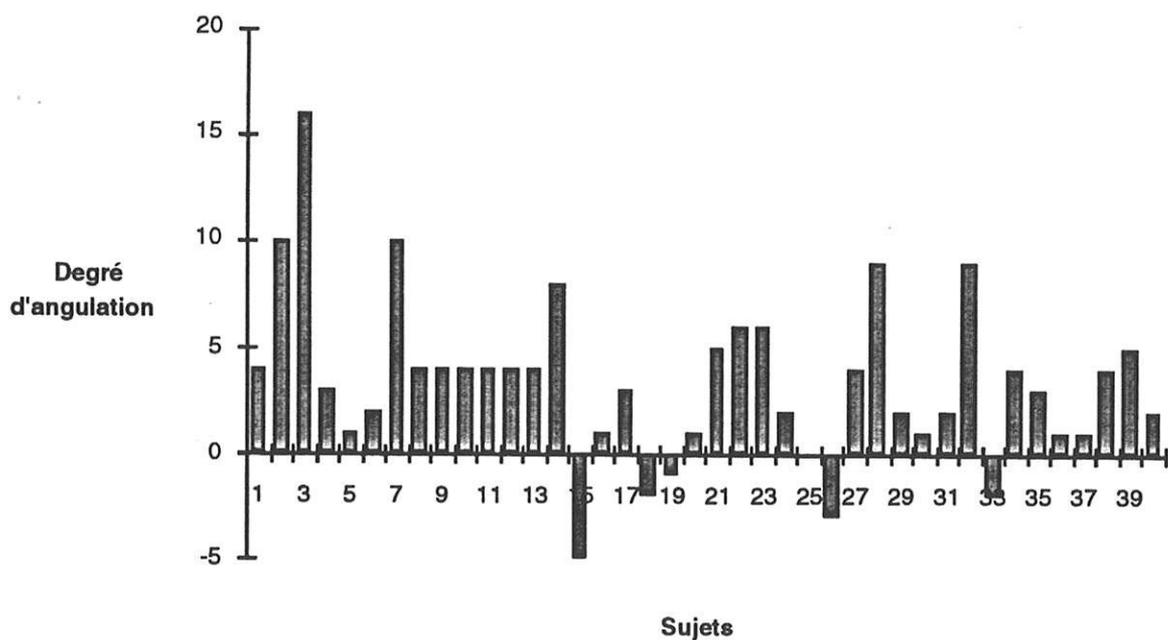
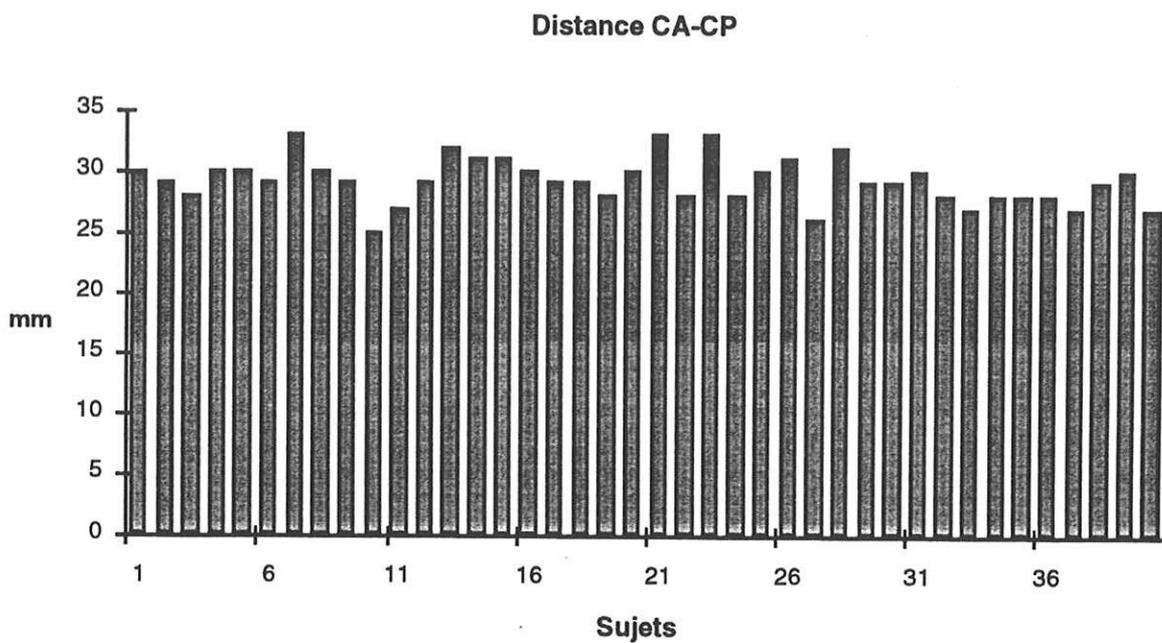


Répartition de la hauteur du corps calleux chez 40 adultes









Angle alpha entre le plan calleux et le plan bicommissural CA-CP.

Résultats exprimés pour chaque sujet

(Les distances sont exprimées en millimètres, les angles en degrés)

Sujet	Longueur	Hauteur	Distance GCC à CA	Distance SCC à CP	Distance MCC à CA	Distance MCC à CP	CA-CP	Angles
1	70	24	23	16	11	18	30	4
2	80	24	32	19	9	20	29	10
3	64	20	22	15	10	16	28	16
4	72	24	25	15	10	20	30	3
5	74	24	28	15	8	22	30	1
6	85	32	28	25	12	16	29	2
7	80	24	25	20	11	20	33	10
8	73	26	28	15	9	21	30	4
9	77	30	30	18	8	29	29	4
10	79	30	28	20	9	20	25	4
11	73	27	31	24	3	24	27	4
12	75	25	29	18	3	25	29	4
13	84	28	35	17	7	24	32	4
14	80	26	30	20	10	20	31	8
15	81	29	30	20	11	20	31	-5
16	78	31	29	17	9	21	30	1
17	74	27	28	16	10	19	29	3
18	74	24	26	17	10	18	29	-2
19	87	34	37	21	7	21	28	-1
20	77	20	29	18	9	20	30	1
21	79	31	25	20	12	20	33	5
22	76	22	25	19	9	18	28	6
23	87	26	31	22	11	21	33	6
24	75	22	27	19	10	17	28	2
25	71	21	25	15	11	20	30	0
26	72	24	25	16	11	20	31	-3
27	75	30	28	20	9	17	26	4
28	76	24	26	19	12	19	32	9
29	88	28	31	18	7	21	29	2
30	77	31	31	21	7	18	29	1
31	79	25	27	22	12	22	30	2
32	71	24	27	17	13	17	28	9
33	82	29	34	18	4	23	27	-2
34	80	26	32	22	10	18	28	4
35	80	29	34	19	6	21	28	3
36	71	27	27	21	10	18	28	1
37	70	26	28	15	7	20	27	1
38	71	27	27	14	7	22	29	4
39	74	26	27	18	8	20	30	5
40	75	27	26	19	9	18	27	2
Moyenne	76,65	26,35	28,40	18,50	9,03	20,10	29,25	3,40
Dév. Stand.	5,25	3,30	3,25	2,61	2,36	2,55	1,85	3,91
Variance	27,57	10,90	10,55	6,82	5,56	6,50	3,42	15,32
Maximum	88	34	37	25	13	29	33	16
Minimum	64	20	22	14	3	16	25	-5
Intervalle	24	14	15	11	10	13	8	21

Mensurations du corps calleux de 40 sujets adultes

	Moyenne	Ecart-type	Variance	Intervalle
Longueur (mm)	76,6	5,2	2,7	24
Hauteur (mm)	26,35	3,3	10,09	14

Rapports des repères commissuraux et calleux de 40 sujets adultes

(Les distances sont exprimées en millimètres,
l'angulation en degrés)

	Moyenne	Ecart-type	Variance	Intervalle
d (GC-CA)	28,40	3,25	10,55	15
d (SC-CP)	18,50	2,61	6,82	11
d (CA-MC)	9,03	2,36	5,56	10
d (CP-MC)	20,10	2,55	6,50	13
d (CA-CP)	29,25	1,85	3,42	8
Alpha	3,40	3,91	15,32	21

Rapport longueur corps calleux/longueur du cerveau dans l'axe bicalleux = 0,458

4. Discussion.

La sélection de notre population a été faite avec une grande rigueur, afin d'éviter un biais statistique. Mais la difficulté de sélection d'une population représentative de la population française dans les conditions décrites précédemment, pour des questions d'éthique et culturelles (contrairement aux pays anglo-saxons), explique la taille de notre échantillon.

La méthodologie utilisée n'a posé aucun problème de réalisation.

Nous avons choisi de projeter CA-CP orthogonalement sur la ligne de base calleuse, et non l'inverse, car l'intérêt de notre travail était de valider un nouveau référentiel, par comparaison à un autre, actuellement le plus utilisé.

L'originalité de ce travail ne permet qu'une critique isolée sur les résultats obtenus, leur analyse n'étant étayée que par des critères de jugement statistiques.

L'étude de la longueur du corps calleux retrouve des valeurs en accord avec celles décrites dans la littérature puisqu'il existe, pour la grande majorité des auteurs, un intervalle de 20 à 30 millimètres.

Par contre, la hauteur du corps calleux telle que nous l'avons définie, sur la base de la ligne calleuse horizontale, n'est pas celle étudiée de façon courante par les auteurs qui décrivent le plus souvent l'épaisseur du corps calleux à sa partie moyenne. Ainsi, notre hauteur dépend de deux paramètres distincts : l'épaisseur du corps calleux mais également sa forme. En effet, nous trouvons une hauteur d'autant plus élevée que le corps calleux est arqué dans l'axe crânio-caudal. Cependant, si les résultats, en valeur absolue, obtenus par notre méthode ne sont pas en accord avec ceux de la littérature (ce qui s'explique aisément) nous retrouvons les mêmes variations, dans les mêmes proportions.

De toutes les distances calculées, deux sont particulièrement intéressantes, de par leur existence et leurs résultats :

- 1) la distance entre la projection de la commissure antérieure blanche (CA) sur la ligne de base calleuse et la ligne médio-calleuse (MC) où l'on note, pour une distance moyenne aussi courte (9 mm), des variations pouvant atteindre plus de 100 % de cette distance moyenne

2) La distance CA-CP qui, retrouvant des valeurs moyennes supérieures à celles décrites par Talairach car mesurées "in vivo" en I.R.M. et non pas sur pièces anatomiques soumises à une rétraction post mortem sensible, confirme les données de variabilité trouvées par Talairach sur cette distance. Si nous retrouvons des variations de 6 mm pour la distance CA-CP, Talairach a décrit des variations de 8 mm sur les 90 cerveaux qu'il avait étudiés pour son travail sur le repérage proportionnel. Nos résultats sont donc en accord avec les siens, ce qui renforce d'autant plus la véracité de notre étude.

Enfin, un point est particulièrement à souligner dans la comparaison de ces deux référentiels : **il ne semble exister aucun rapport entre le plan CA-CP et le plan calleux comme le prouve l'extrême variabilité angulaire retrouvée entre ces deux plans.**

5. Conclusion.

En considérant le corps calleux et ses lignes de bases anatomiques comme référentiel, ce qui justifie que l'on projette orthogonalement sur la ligne calleuse horizontale les points CA et CP, nous avons étudié les différentes distances mettant en relation les points calleux et les points commissuraux de Talairach.

De cette étude, nous pouvons conclure qu'il n'existe pas de différence significative entre nos résultats obtenus sur les distances projetées et celles trouvées dans la littérature (15, 173, 174), la distance CA-CP étant conforme à celle constatée par Talairach, la longueur calleuse en accord avec les différentes données de la littérature (31, 39, 43, 54).

Cependant, en comparant les deux plans de base (le plan CA-CP et le plan calleux), nous constatons une grande variabilité d'angulation. Cette différence nous semble compatible avec l'évolution embryologique puisque la croissance du corps calleux vers l'arrière, puis vers l'avant, se poursuit bien après le modelage définitif du diencephale et des commissures blanches antérieure et postérieure (7, 53, 64, 100, 181).

Ainsi, le repérage du télencéphale par la ligne CA-CP étant, pour Talairach lui-même, une entreprise sinon hasardeuse, du moins extrêmement difficile (175), il nous semble licite de proposer l'étude du plan calleux comme référentiel de repérage du télencéphale puisque ce plan se distingue du plan CA-CP comme nous l'avons vu dans cette étude.

C'est l'objet de notre prochain chapitre.

PROJECTION DES LIGNES CALLEUSES SUR LE CORTEX HEMISPHERIQUE

1. Introduction

Après la description du référentiel calleux et sa comparaison au système de Talairach, nous nous proposons d'étudier la projection orthogonale, dans le plan sagittal, des lignes calleuses sur le cortex hémisphérique.

Par cette méthode, nous étudierons les relations existant entre les lignes de base anatomiques calleuses et le sillon central (de Rolando), ce dernier limitant en arrière l'aire motrice primaire.

2. Matériel et méthodes

2.2.1. Méthodologie de reconstruction manuelle

Nous avons utilisé la même population (soit 40 sujets adultes) que celle précédemment décrite lors de la comparaison des deux systèmes référentiels.

Pour chaque sujet, nous avons réalisé des coupes sagittales de 3 mm jointives en pondération T1, à l'échelle 1:1. Sur chaque coupe sagittale médiane ont été tracées les lignes de base calleuses. Nous avons tracé, pour chaque hémisphère, en partant de la coupe sagittale médiane, le calque de toutes les coupes paramédianes. En superposant de proche en proche les coupes sagittales, nous avons effacé, au fur et à mesure, les éléments cachés par la superposition de la coupe contiguë la plus externe.

Cette méthodologie, exclusivement manuelle, réalisée à partir de coupes d'I.R.M., a permis l'obtention d'une image finale, d'aspect tridimensionnel, de la face externe de 80 hémisphères cérébraux.

Dans un deuxième temps, nous avons appliqué sur celle-ci la projection des lignes calleuses.

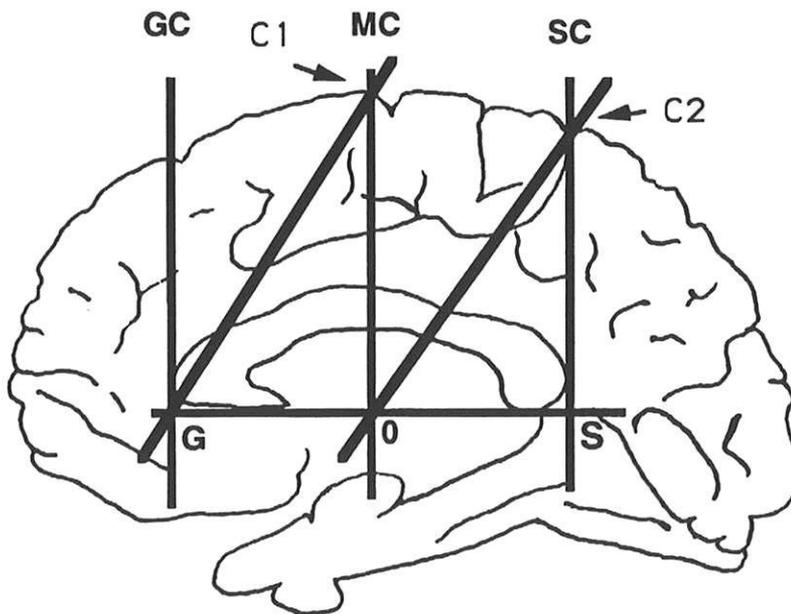
Sur l'aspect tridimensionnel de la face externe d'un hémisphère, il est aisé de repérer l'aire motrice primaire (frontale ascendante), limitée en avant par le sillon précentral, en arrière par le sillon central, ou sillon de Rolando.

Pour affiner la précision du repérage de l'aire motrice, nous avons rajouté au schéma des lignes calleuses, 2 lignes obliques :

Une première ligne oblique est définie entre le point G (intersection entre la ligne horizontale calleuse et la ligne verticale antérieure du corps calleux (GC)) et le point C₁ (Cortex 1), situé sur la ligne médio-calleuse à l'endroit le plus haut de la projection corticale.

Une deuxième ligne oblique entre le point O (intersection entre la ligne horizontale calleuse et la ligne verticale médio-calleuse MC) et le point C₂ (Cortex 2), situé sur la ligne verticale postérieure du corps calleux (SC) à l'endroit le plus haut de la projection corticale.

**Schéma des lignes calleuses
comprenant les deux lignes obliques G- C₁ et O-C₂**



Nous avons étudié, pour chaque hémisphère :

- a - La projection de l'aire motrice primaire (FA) par rapport aux deux lignes obliques décrites ci-dessus
- b - La partie supérieure du sillon central par rapport au point C₂
- c - La projection de la ligne médio-calleuse sur la zone operculaire sensori-motrice (zone de passage entre l'aire motrice primaire, frontale ascendante, et l'aire sensitive, pariétale ascendante)
- d - L'angulation entre MC et la ligne oblique 0-C₂.

2.2.2. Méthodologie de reconstruction tridimensionnelle par logiciel informatique

Nous avons étudié une population de 12 sujets, volontaires sains, âgés de 20 à 25 ans, droitiers exclusifs et de sexe masculin.

Pour chaque sujet, nous avons réalisé un examen en imagerie par résonance magnétique nucléaire comme suit :

Une 1^{ère} acquisition de repérage, en coupes sagittales pondérées en T1.

Une 2^{ème} acquisition, pondérée T1, de 124 coupes de 1,3 à 2,5 mm d'épaisseur axiale transverse couvrant tout l'encéphale.

Traitement des données.

Sur une station Sun Spark 10^R (Sun Microsystem), après transfert des données, une reconstruction tridimensionnelle (3D) des piles de 124 coupes utilisant un logiciel adapté est obtenue.

Etapas de la reconstruction.

Visualisation de la tête du sujet en 3D sur le moniteur.

Visualisation du cerveau par seuillage (élévation des pixels dont la valeur concerne la graisse du scalp et le liquide céphalo-rachidien), puis érosion (élimination itérative des pixels périphériques de la tête reconstruite en 3D jusqu'à l'obtention du cerveau isolé), et dilatation conditionnelle utilisant comme masque la tête avant érosion et reconstruction du cerveau "ad integrum".

Traçage des lignes calleuses.

A l'aide d'un logiciel graphique, dans le plan strictement sagittal médian, nous avons tracé les lignes de base anatomiques calleuses et nos deux lignes obliques. Instantanément, les lignes tracées sur la coupe sagittale médiane se retrouvaient projetées, parallèlement au plan sagittal, sur la face externe du cerveau.

3. Résultats

Reconstruction manuelle

Sur les 80 hémisphères étudiés en reconstruction manuelle (issus des 40 cerveaux archivés en imagerie par résonance magnétique), la projection orthogonale dans le plan sagittal de la grille calleuse nous a permis de localiser l'aire motrice primaire (FA), sur la face externe de l'hémisphère, 78 fois entre les deux lignes obliques G-C₁ en avant et 0-C₂ en arrière, soit dans 98,75 % des cas. Dans les deux cas où ce ne fut pas constaté, respectivement l'hémisphère droit et gauche d'un même sujet (n°3), il existait une angulation entre le plan calleux et le plan CA-CP de 16°.

Dans 43 cas (53,75 %), l'origine supérieure du sillon central, visible sur la face externe de l'hémisphère, se projetait sur le point C₂. Dans 31 cas (38,75 %), cette origine se situait à moins de 5 mm en avant de C₂. Enfin, seuls 6 cas (7,5 %) avaient une projection de l'origine de leur sillon central à une distance supérieure à 5 mm en avant de C₂ ou en arrière de la projection de C₂.

Au total, le point C₂, défini sur la grille calleuse, permet dans 92,5 % des cas de notre série de situer l'origine supérieure du sillon central, sur une vue latérale de l'hémisphère (droit ou gauche), à moins de 5 mm.

La projection de la ligne médio-calleuse (MC) sur la zone operculaire permet sur 55 hémisphères (68,75 %) de séparer l'opercule pariétal en arrière de l'opercule rolandique en avant.

Enfin, nous avons trouvé, sur les 40 grilles calleuses utilisées, que l'angle formé entre la ligne médio-calleuse (MC) et la ligne oblique 0-C₁ était quasiment constant puisqu'il a été mesuré à 30 ± 2 degrés.

Dans tous les cas, la projection orthogonale du genou et du splenium du corps calleux, dans le plan sagittal sur l'hémisphère gauche, correspondait aux zones de Broca (langage) pour le genou et au carrefour temporo-pariéto-occipital pour le splenium.

Si nous distinguons l'hémisphère droit de l'hémisphère gauche, nous avons constaté qu'il existait une différence significative entre la projection de l'aire motrice primaire de l'hémisphère droit et celle de l'hémisphère gauche. En superposant sur le même plan la projection des deux circonvolutions frontales ascendantes d'un même sujet, dans 29 cas (29 cerveaux sur 40 soit 72,5 %) celle de l'hémisphère gauche se situait en arrière de celle de l'hémisphère droit, c'est à dire qu'il n'existait pas un

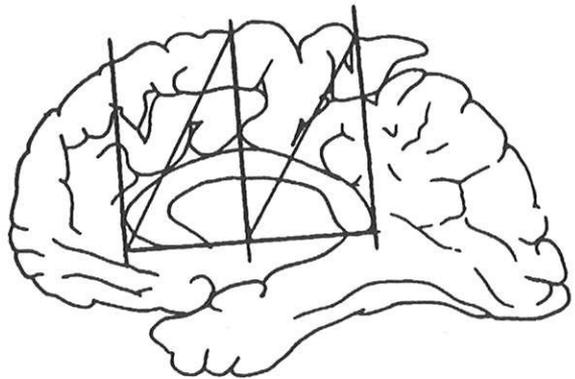
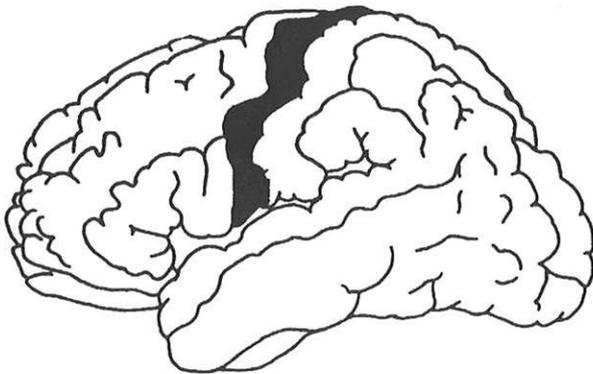
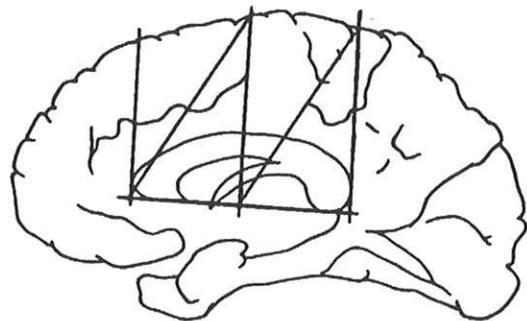
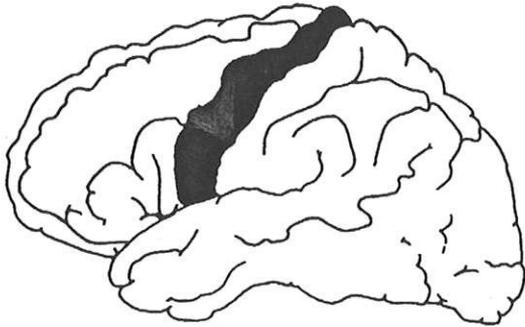
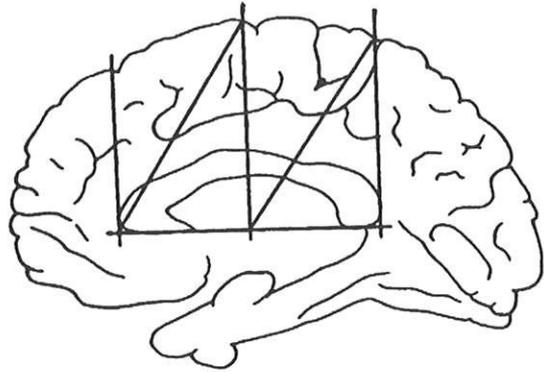
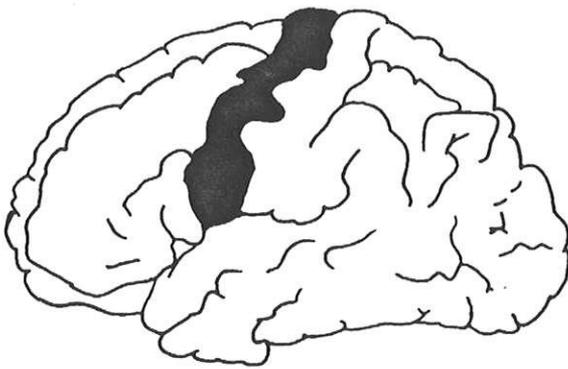
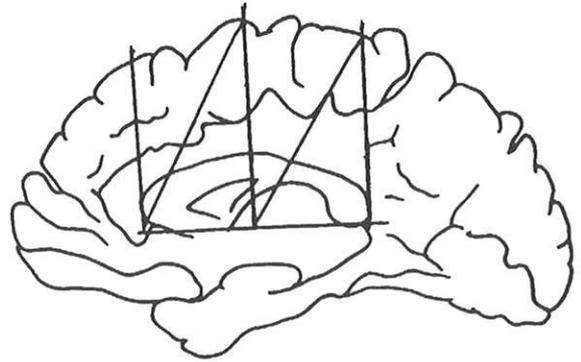
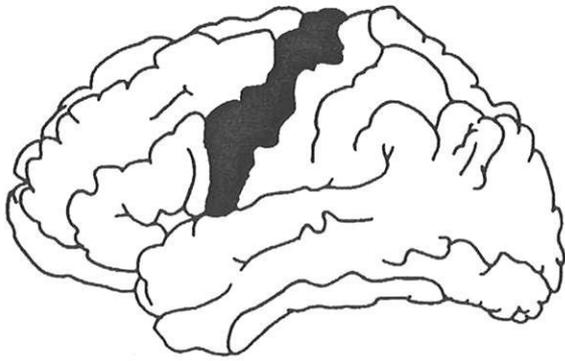
recouvrement sensiblement égal mais un décalage postérieur en faveur de la circonvolution frontale ascendante gauche, autrement dit de l'aire motrice primaire gauche. Cependant, ce décalage existait dans la plupart des cas en dessous du genou supérieur du sillon central et n'affectait que partiellement la partie supérieure de ce sillon, expliquant la faible variation de distance entre ce dernier et le point C2.

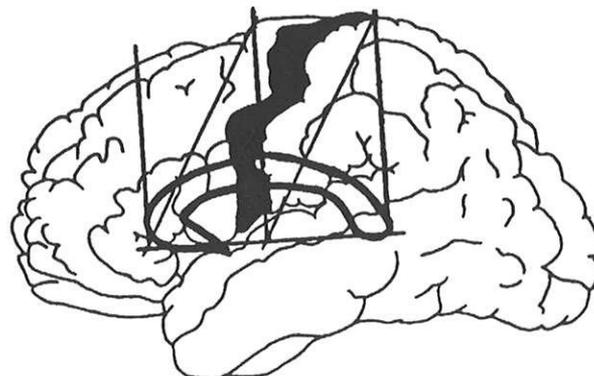
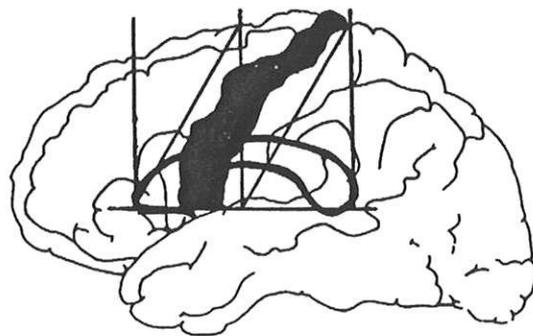
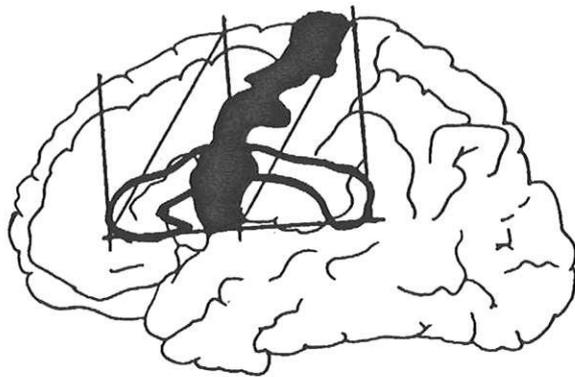
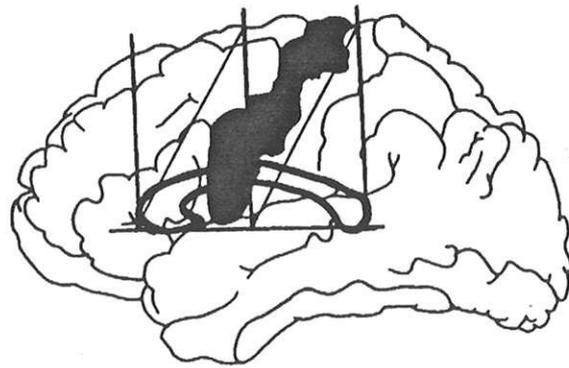
A titre d'exemple, 4 vues latérales d'hémisphères gauches sont reproduites, après reconstruction manuelle et réduction proportionnelle, sur les deux pages suivantes.

La circonvolution frontale ascendante (aire motrice primaire) est coloriée en noir sur la face externe de l'hémisphère (1ère colonne).

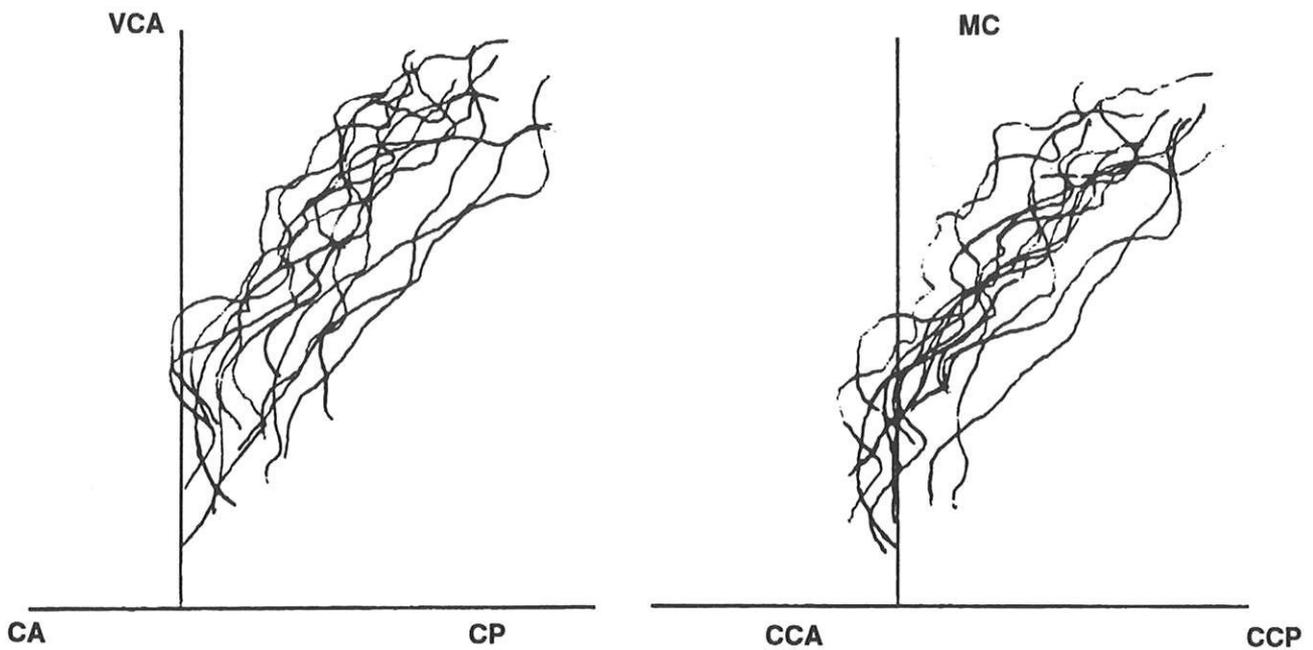
Sur la deuxième colonne, nous avons tracé les lignes calleuses sur la reconstruction de la face médiale.

La troisième colonne permet de visualiser l'aire motrice primaire par rapport à la projection des lignes calleuses.

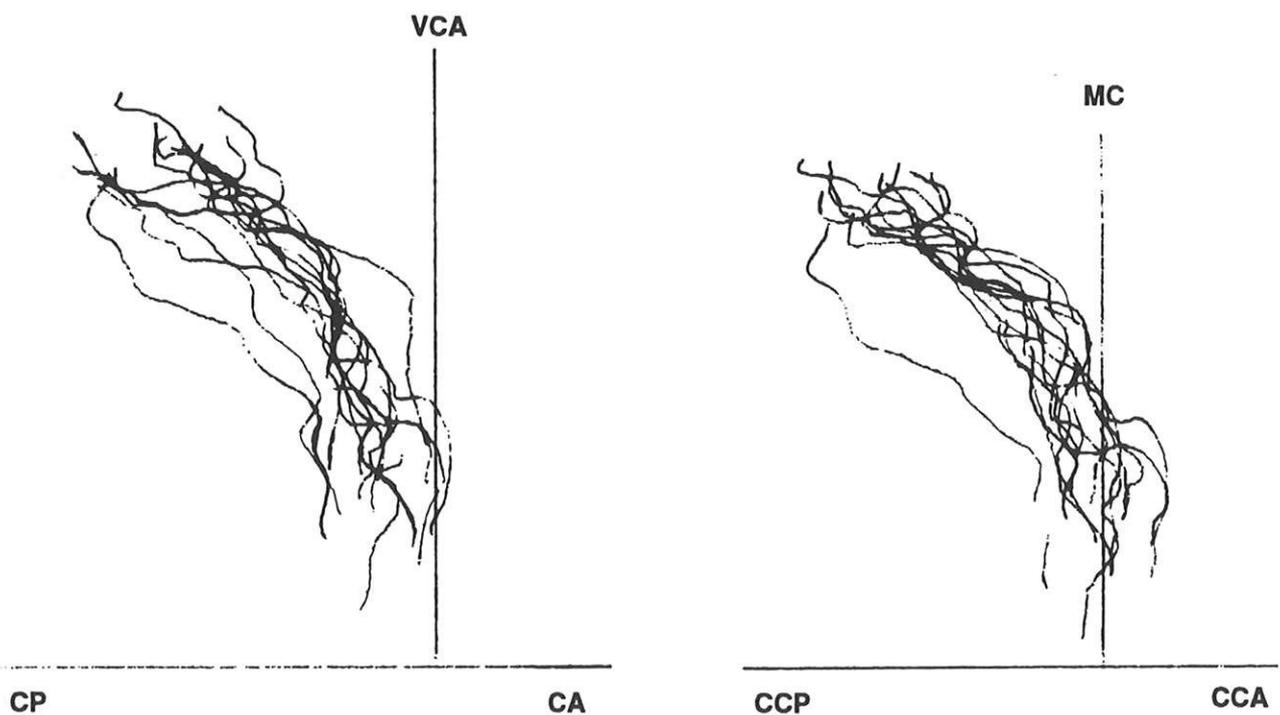




Projection des lignes calleuses sur le cortex hémisphérique

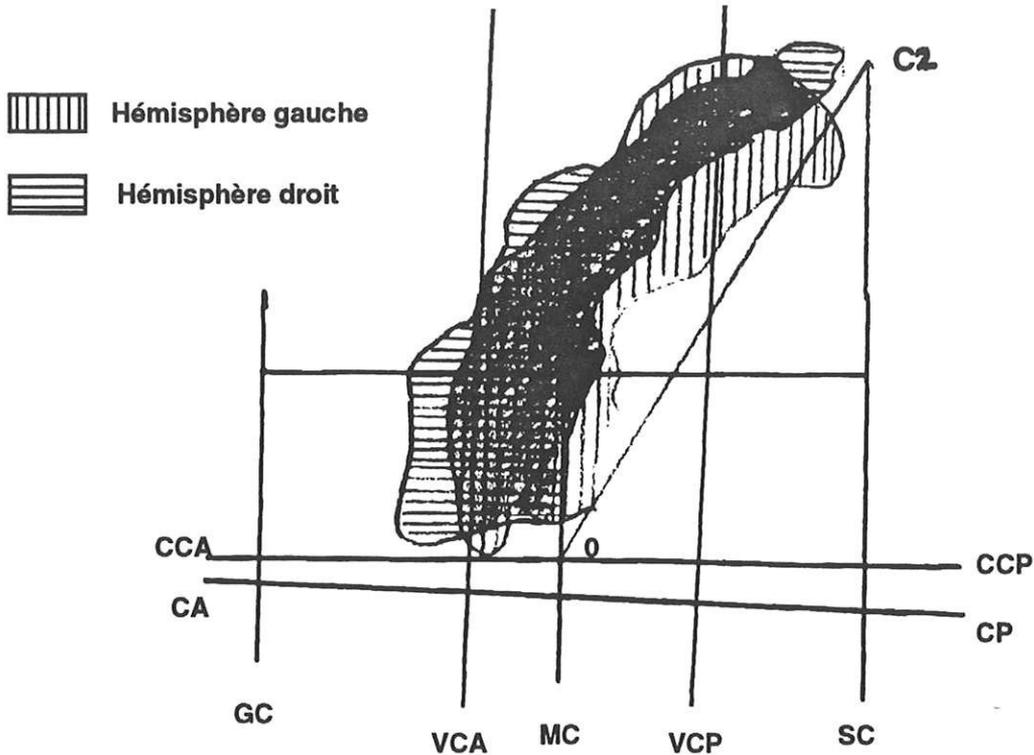


distribution de la projection orthogonale du sillon central de l'hémisphère gauche chez 20 sujets, sur le référentiel de talairach (gauche) et sur les lignes calleuses (droite).



distribution de la projection orthogonale du sillon central de l'hémisphère droit chez 20 sujets, sur le référentiel de talairach (gauche) et sur les lignes calleuses (droite).

Superposition de la projection des aires motrices primaires droite et gauche, sur le référentiel calleux et le référentiel de Talairach.



Reconstruction par logiciel informatisé

Sur les 12 cerveaux étudiés (soit 24 hémisphères), nous constatons dans tous les cas (100 %) que la circonvolution frontale ascendante (FA) est délimité en avant et en arrière par la projection des deux lignes obliques du repère calleux décrites précédemment.

Le point C2 correspond à la projection de l'origine apparente sur la face externe de l'hémisphère du sillon central dans 5 cas sur 12 hémisphères droits et dans 9 cas sur 12 hémisphères gauches.

Ce point est situé cependant à moins de 5 mm de l'origine du sillon central dans 6 cas (50 %) pour l'hémisphère droit et dans 3 cas pour l'hémisphère gauche.

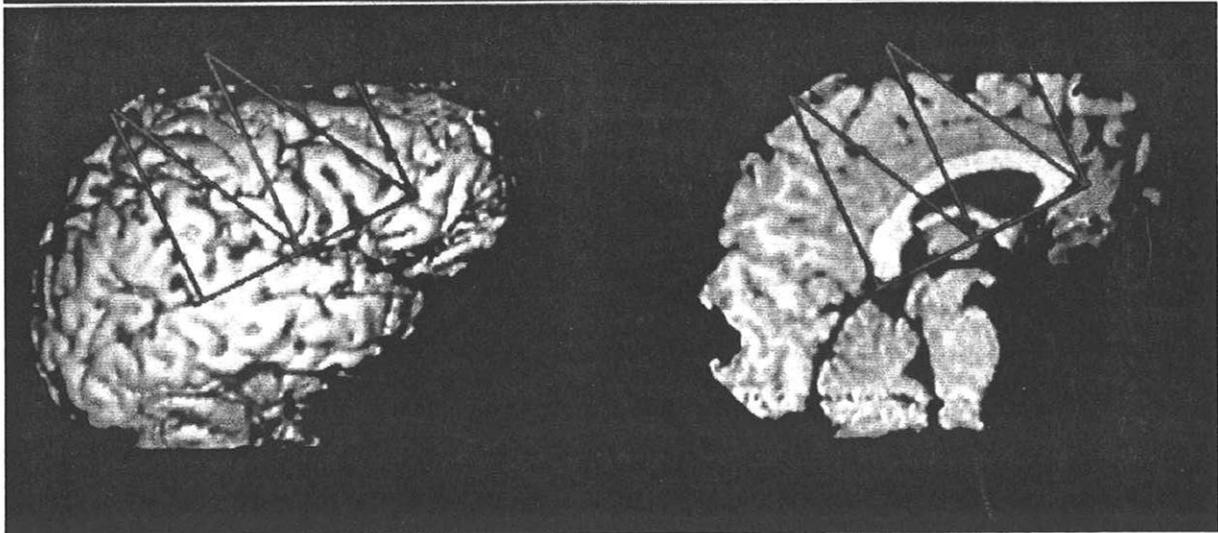
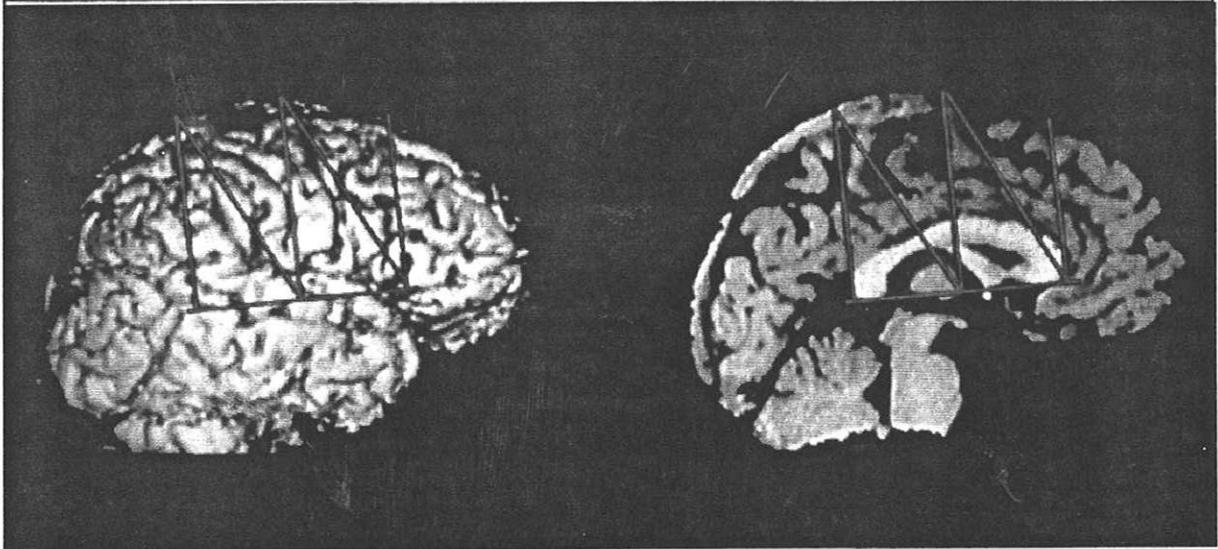
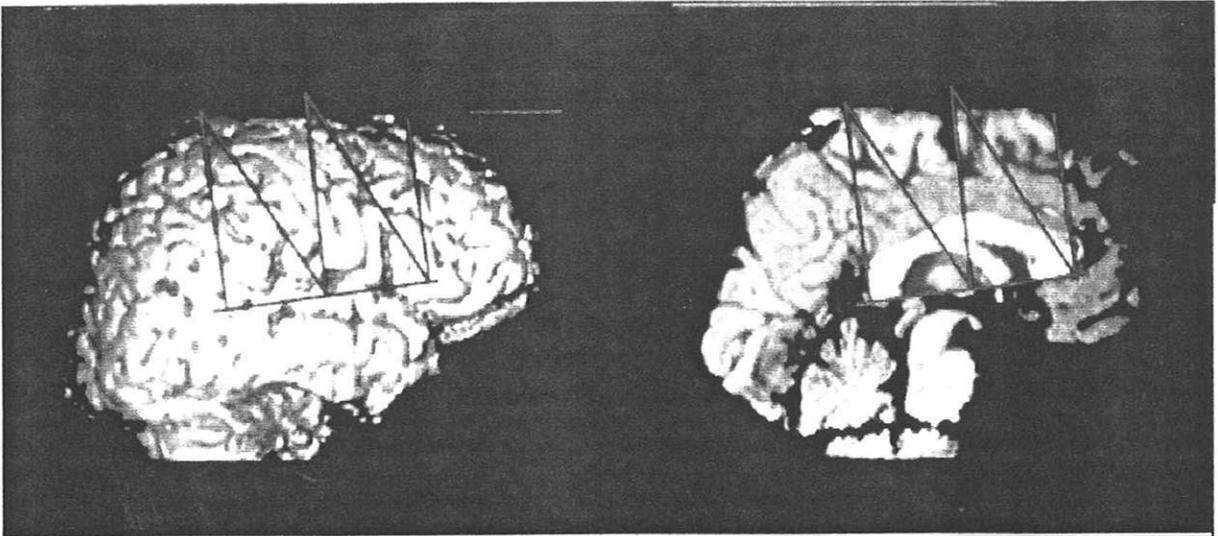
Dans un cas (un hémisphère droit), la projection de C2 est trop éloignée de l'origine du sillon central pour permettre un repérage de ce dernier.

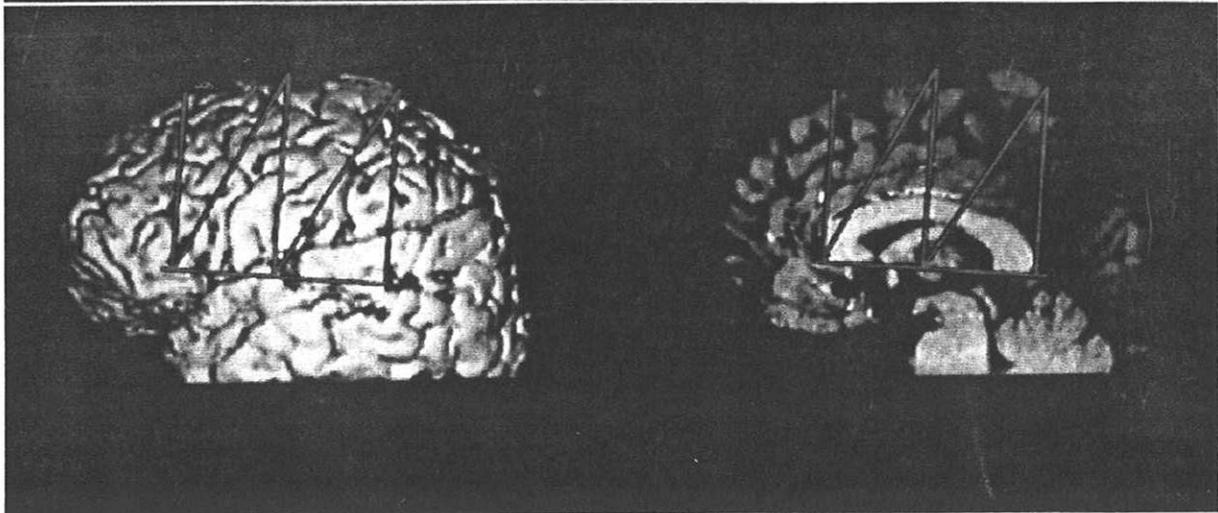
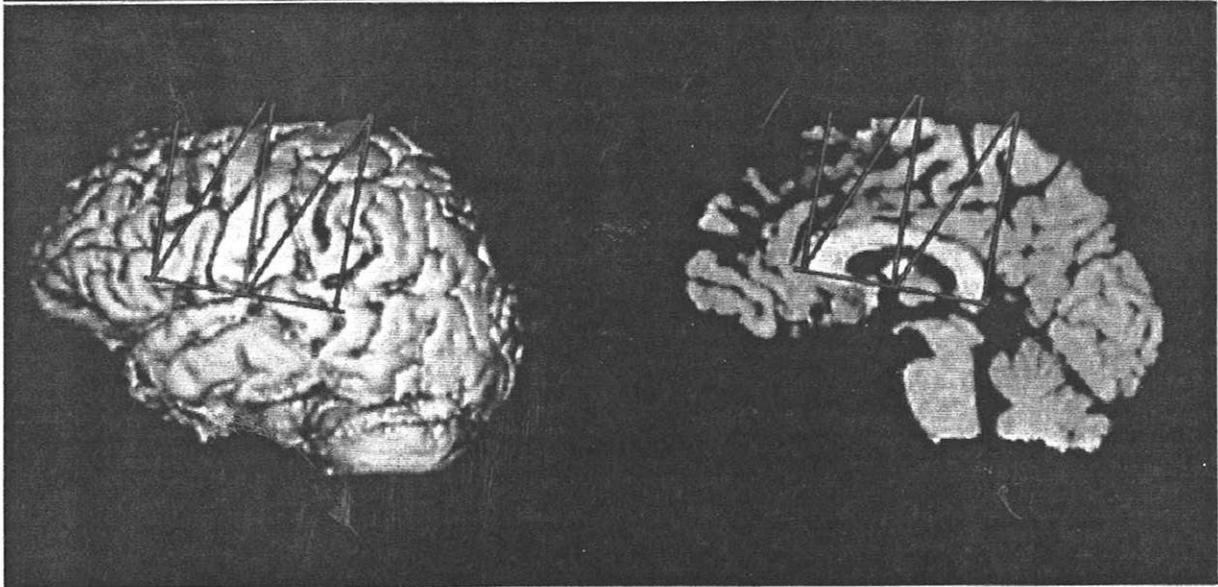
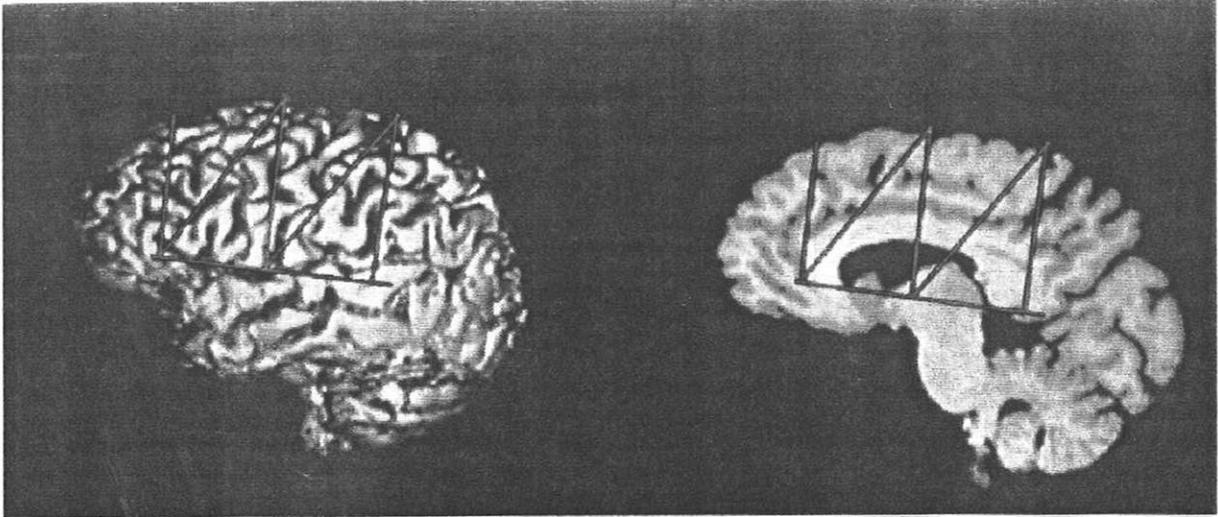
Au total, sur 11 hémisphères droits sur 12 et sur tous les hémisphères gauches (12), nous pouvons situer l'origine apparente, sur la face externe de l'hémisphère, du sillon central à moins de 5 mm de la projection du point C2.

Enfin, concernant la projection orthogonale de la ligne médio-calleuse (MC) sur le plan sagittal, nous constatons qu'elle sépare l'opercule Rolandique, en avant, de l'opercule pariétal, en arrière, 11 fois sur 12 pour l'hémisphère droit et 9 fois sur 12 pour l'hémisphère gauche.

La page suivante présente l'écran du moniteur avec le traitement des images I.R.M. par le logiciel de reconstruction 3D Sun Voxel.

Sur les deux pages qui la suivent figure le résultat final après reconstruction 3D, coloration de l'aire motrice primaire en rouge et projection orthogonale des lignes calleuses, de trois hémisphères droits et trois hémisphères gauches.





4. Discussion

Nous avons utilisé, pour étudier la projection des lignes calleuses, deux méthodologies différentes. Ce choix s'explique par les faits suivants : nous n'avons disposé qu'au milieu de notre étude d'un matériel informatique de pointe permettant une reconstruction tridimensionnelle du cerveau, à l'aide de coupes d'I.R.M., d'une qualité quasi parfaite (avec une marge d'erreur d'un pixel!). Bien que connaissant l'existence de ce matériel au début de notre étude, mais n'en ayant pas l'opportunité d'utilisation, nous avons décidé, pour obtenir des résultats significatifs, d'étudier une série suffisamment importante (80 hémisphères) sur une méthodologie de reconstruction exclusivement manuelle. Cependant, dès qu'il fut possible d'utiliser ce logiciel de reconstruction, nous l'avons fait, et l'acquisition récente de celui-ci par le service de Neuroradiologie de l'hôpital de la Timone à Marseille explique la faible population (24 hémisphères) par cette méthode de reconstruction. D'autres part, nous n'avons pas pu explorer une seule et même population par les deux méthodes puisque chaque population a fait l'objet d'un recrutement indépendant, à deux périodes distinctes dans le temps.

Notre étude n'a pas inclus de repérage sur pièce anatomique devant la qualité de reproduction fidèle des structures cérébrales par l'imagerie en résonance magnétique. En effet, la rétraction tissulaire post mortem est sensible et souvent non proportionnelle entre différentes structures anatomiques (42, 173-175). Pour Delmas, la vertu de l'imagerie par résonance magnétique nucléaire est d'être à la fois le reflet de la réalité et de rester conforme à la vérité de la figuration tridimensionnelle. Bien qu'il existe une certaine distorsion dans la résolution spatiale (148), la fiabilité de l'imagerie en résonance magnétique a maintes fois été citée (16, 24, 36, 110, 188) et prouvée scientifiquement (32, 37, 76, 94, 106).

Notre choix s'est porté sur le repérage d'une aire fonctionnelle par rapport aux lignes calleuses. Nous avons fait volontairement abstraction de données numériques brutes en cherchant à délimiter avec certitude une zone et non en faisant une approximation. En effet, nous pensons qu'il est plus intéressant de décrire l'aire motrice primaire avec certitude entre deux lignes dépendantes du corps calleux plutôt que de donner, en pourcentages, des probabilités de localisation topographique.

Ainsi, nous avons repéré l'aire motrice primaire par le référentiel calleux dans près de 100 % des cas de notre série.

Si de nombreux auteurs ont cherché une relation entre la projection orthogonale dans le plan sagittal de la ligne bicommissurale et les différents sillons majeurs (82) du cortex cérébral, une grande majorité d'entre eux avouent leurs échecs dans cette entreprise (50, 103, 106, 116, 139, 159, 185, 193). Seul Olivier, par l'utilisation des lignes calleuses, identifie avec une précision supérieure au référentiel de Talairach le sillon central (93) pour le repérage pre-opératoire. Dans cette optique, nous avons superposé la projection des sillons centraux (Seuls 20 droits et 20 gauches y sont figurés, à l'échelle 1:1, sur les schémas, par mesure de clarté) par rapport au référentiel de Talairach et par rapport aux lignes calleuses. La superposition des sillons par rapport au référentiel calleux retrouve une relation étroite entre la projection de la ligne verticale médio-calleuse (MC) et la zone operculaire fronto-pariétale, délimitant en avant de celle-ci l'opercule rolandique et en arrière l'opercule pariétal, la projection de la ligne VCA ne permettant pas cette distinction anatomo-fonctionnelle.

Cette étude tend à montrer une meilleure concordance topographique du sillon central par rapport au référentiel calleux que par rapport au référentiel bicommissural de Talairach.

L'imagerie tridimensionnelle (3D) est actuellement l'outil de travail le plus performant qui existe dans le repérage des structures anatomiques (1, 56) et son utilisation en Neurochirurgie (44, 76) deviendra indispensable dans les prochaines décennies. L'utilisation de l'imagerie tridimensionnelle par logiciel informatique n'a fait que confirmer les résultats obtenus par la reconstruction manuelle de 80 hémisphères cérébraux.

5. Conclusion

Bien que validé et d'utilisation courante dans certains centres hospitaliers nord américains (en particulier à l'Institut Neurologique de Montréal), la revue de la littérature ne nous a pas permis de retrouver, à l'exception des travaux d'Olivier (93, 112), d'étude statistique sur le repérage télencéphalique par les lignes calleuses. Il est donc difficile de comparer ce travail, et notre critique se porte exclusivement sur nos propres résultats.

Ainsi, à la lumière de nos résultats, nous ne pouvons que constater la fiabilité du repérage calleux, dans les limites topographiques que nous nous sommes fixées au départ, concernant l'aire motrice primaire, le sillon central et la région operculaire.

Si nous considérons le corps calleux comme référentiel fiable pour la région sensori-motrice, et devant la grande variabilité existant entre le plan CA-CP et la ligne de base calleuse, force est de constater que ce repérage est plus apparenté au télencéphale que ne l'est la ligne bicommissurale. Il semble donc qu'il puisse être un référentiel plus fiable pour repérer le télencéphale que la ligne CA-CP utilisée actuellement.

APPLICATION DU RÉFÉRENTIEL CALLEUX EN NEUROCHIRURGIE

L'intérêt particulier accordé au repérage de la circonvolution frontale ascendante (FA) est lié à son support anatomo-fonctionnel qu'elle représente. Cette zone corticale, origine du faisceau pyramidal, possède un rôle primordial dans l'élaboration de la fonction motrice volontaire chez l'homme. Ainsi, il est indispensable en Neurochirurgie, et d'autant plus en condition stéréotaxique, d'en connaître les limites topographiques.

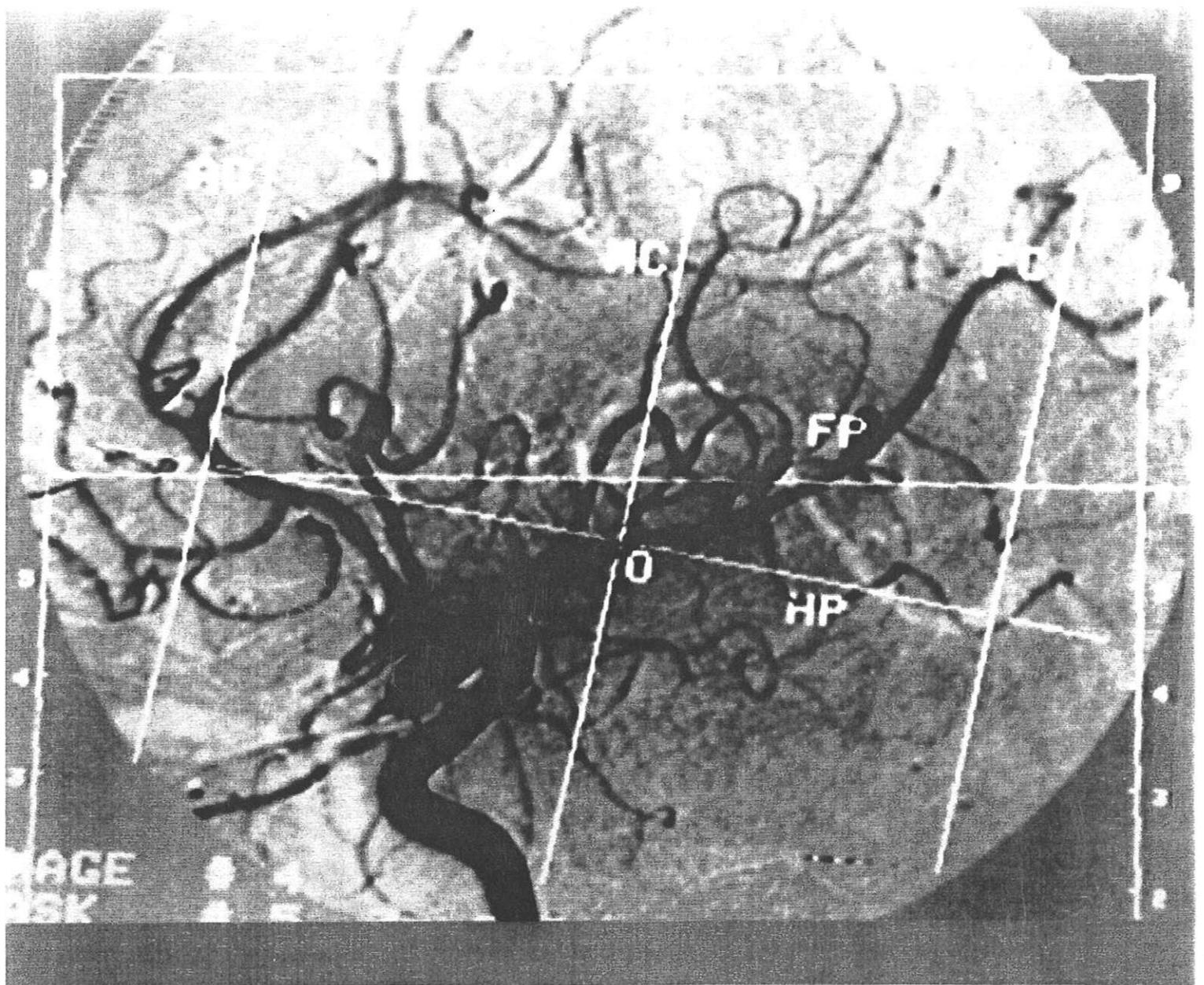
La technique classique de localisation de l'aire motrice primaire consistait à projeter le sillon central sur une radiographie crânienne de profil en utilisant les repères osseux (138, 144). Des études ont montré, à la fois sur pièces anatomiques et sur tomodensitométrie en coupe axiale, une distance entre la suture coronale et le sillon central variant de 4 à 5,4 cm (Kido (82), Lemay (92)). Ce degré de variabilité a suggéré aux auteurs que le repérage par radiographie standard n'était pas adéquats pour une localisation précise du sillon de Rolando. L'apport de l'angiographie a permis la visualisation indirecte du sillon central, limite postérieure de l'aire motrice primaire (134, 144). La stimulation électrique per opératoire, depuis les travaux de Penfield et Rasmussen en 1937 (125, 126), a démontré la variabilité interindividuelle dans la projection orthogonale, sur le plan sagittal, du sillon central. Ainsi, Ojeman (107) a trouvé des réponses sensori-motrices entre 3 et 9 cm en arrière de la projection du ptéryon (mesuré le long de la scissure de Sylvius). De ce fait, il est évident qu'une circonvolution, comme la frontale ascendante, ne peut être identifiée formellement en per opératoire en cas d'abord chirurgical limité. En effet, l'aspect macroscopique du cortex découvert après une craniotomie à minima ne permet pas de nommer avec certitude les sillons et circonvolution observés en per-opératoire.

Il est donc capital de pouvoir se repérer sur le cortex cérébral dès la craniotomie.

Après avoir défini les lignes de base calleuses sur les projections de profil de l'angiographie et sur une coupe sagittale médiane d'I.R.M., l'une des images I.R.M. est agrandie de sorte que le corps calleux, tel qu'il est directement visualisé par l'I.R.M., se superpose exactement sur la même structure visualisée indirectement par l'angiographie. L'image de profil de l'angiographie peut dès lors être comparée avec tout plan para sagittal d'I.R.M., en l'occurrence avec le plan tangent à la surface corticale.

L'application du référentiel calleux permet donc de guider le chirurgien pour les limites de son volet osseux, surtout pour la chirurgie de l'épilepsie sur le lobe frontal ou temporal (109). En effet, l'analyse combinée de l'angiographie et des images en résonance magnétique permet d'évaluer et de prévoir l'étendue de la résection corticale en fonction de la distribution artério-veineuse et de la localisation des aires fonctionnelles. Lors d'une callosotomie, l'étendue de la section peut être appréciée et prévue sur une coupe sagittale médiane d'I.R.M. en fonction de la correspondance du plan mi-calleux avec le sillon pré-central, limite antérieure de l'aire motrice primaire.

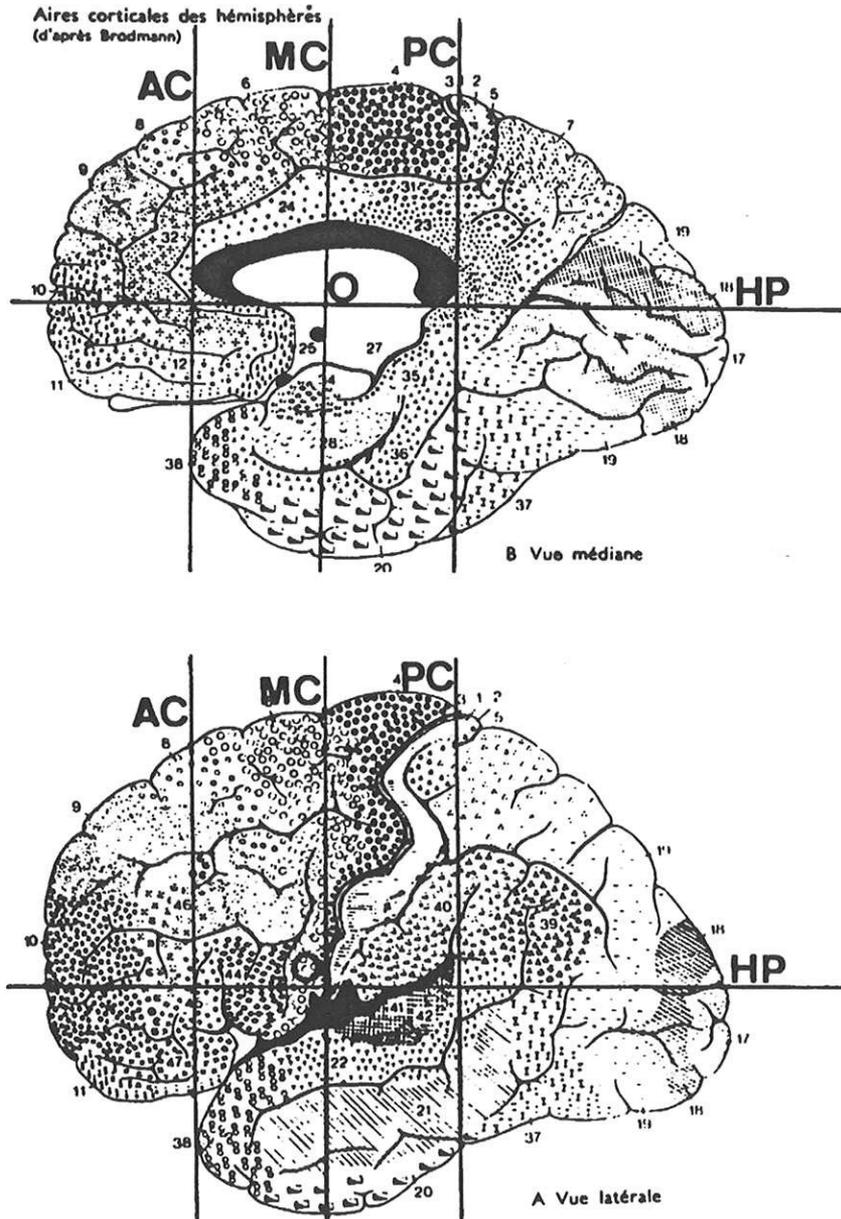
Ce repérage en Neurochirurgie est également intéressant pour la chirurgie tumorale. Par le même technique décrite ci-dessus, nous pouvons localiser avec précision une tumeur cérébrale de petit volume et réaliser une cortisectomie, par voie d'abord latérale, adaptée à la distribution artérielle et au drainage veineux.



Projection des lignes calloses sur une angiographie digitalisée en soustraction.
(superposition des temps artériel et veineux)

Lignes de base anatomiques calleuses,
projetées sur la face médiale et latérale
d'un hémisphère cérébral.

(Relations topographiques par rapport aux aires fonctionnelles.)



CONCLUSION

CONCLUSION

L'existence d'une grande variabilité d'angulation, dans le plan axial, entre le plan CA-CP de J. Talairach et le plan calleux d'une part, et l'étroite relation embryologique entre le cortex cérébral et le corps calleux d'autre part, nous ont suggéré de repérer le télencéphale par les lignes calleuses, en connaissant au préalable l'imprécision du repérage bicommissural dans ce domaine.

Si cette grille calleuse permet de référencer une structure anatomique à la fois sur une I.R.M. et sur une artériographie cérébrale de profil, ce qui n'est pas le cas du repère bicommissural CA-CP de Talairach pour l'artériographie, il n'en est pas moins évident, à la lumière de notre travail, qu'elle constitue un référentiel fiable pour le repérage du télencéphale

En effet, sur l'étude de 104 hémisphères, la relation existant entre le cortex cérébral et le corps calleux, par l'intermédiaire de la projection de ces lignes, est évidente puisqu'il permet de repérer dans 99 % des cas l'aire motrice primaire, dans 90 % des cas l'origine apparente du sillon central sur la face externe de l'hémisphère et dans plus de 2/3 des cas la séparation anatomo-fonctionnelle entre l'opercule rolandique (moteur) et l'opercule pariétal (sensitif) par la projection de la ligne médio-calleuse à sa partie inférieure..

Ainsi, l'utilisation des lignes calleuses dans le repérage du télencéphale nous est apparue comme un moyen non seulement fiable concernant une zone hautement fonctionnelle comme l'aire motrice primaire, mais également simple, facilement reproductible et de faible coût d'utilisation.

Les moyens informatiques contemporains associés aux performances des appareils d'imagerie permettent d'envisager des approches nouvelles dans le repérage des structures anatomiques du système nerveux central.

Le principe réside dans un traitement des images dont l'élaboration est plus ou moins complexe. En effet, la résolution spatiale des images I.R.M. (acquises de façon tridimensionnelle), permet d'envisager l'exploitation d'une base de données non plus bidimensionnelle (images planes), mais tridimensionnelle.

Cette nouvelle possibilité nous a été offerte dans notre étude pour le repérage anatomique du télencéphale. Les applications désormais classiques du traitement d'image concernent la segmentation (classe d'opérations permettant d'isoler certains groupes déterminés de voxel) et les représentations tridimensionnelles suivant différents modes de représentation permettent de visualiser la surface d'un objet reconstruit

(rendu de surface) ou la projection de certaines composantes internes de l'objet (projections des voxels d'intensité maximale, projection arithmétique, logarithmique, exponentielle...), la génération de plans courbes, des calculs de surface de volumes et d'intensité dont les limites sont définies à volonté.

De toutes ces opérations envisagées, tant celles décrites dans la littérature (1, 94, 164) que celles qui ne manqueront pas d'apparaître, découlent de nombreuses applications dans le cadre des études morphologiques et morpho-fonctionnelles comme la nôtre.

D'ores et déjà, la visualisation du cortex cérébral en tant qu'objet tridimensionnel correspondant à la représentation *in vivo* du cerveau d'un sujet humain à partir de données I.R.M. a permis une approche de l'anatomie morphologique d'une précision envisageable auparavant uniquement sur le cadavre

Notre axe d'étude original, représenté par la projection des lignes calleuses sur le cortex hémisphérique et la validation de ce référentiel dans le repérage fiable de l'aire motrice, nous a permis de nous familiariser avec un matériel d'avenir très proche, inconcevable il y a une dizaine d'années, offrant des perspectives de recherche et de développement très vastes, dans lesquelles de nombreux champs d'applications existent déjà (32, 76, 187).

TABLE DES ILLUSTRATIONS

TABLE DES ILLUSTRATIONS

(page)

Les formations interhémisphériques (schéma en coupe sagittale).(7)
Courbes de croissances des différentes portions du corps calleux.(8)
Vue supérieure du corps calleux.(10 bis)
Coupe sagittale médiane du cerveau.(14 bis)
Schéma illustrant la collision calleuse.(16)
Schéma des variations anatomiques de l'artère cérébrale antérieure.(27)
Schéma des variations anatomiques de la veine cérébrale interne.(38)
Angiographie carotidienne de profil : temps artériel.(39 bis)
Angiographie carotidienne de profil : temps veineux.(39 bis)
Schéma de la ligne de base CA-CP de Talairach.(45)
Variations d'inclinaison de la ligne CA-CP en fonction du diamètre de CA.(46)
Variations de la suture coronale par rapport au référentiel de Talairach.(48)
Variations de la suture coronale par rapport au sillon central.(48)
Distribution des mesures entre la suture coronale et le sillon precentral.(49)
Distribution des mesures entre la suture coronale et le sillon central.(49)
Schéma de la ligne orbito-méatale.(50)
Schéma de la ligne glabelle-inion.(51)
Schémas des variations de l'axe du cerveau.(52)
Lignes calleuses sur une I.R.M. en coupe sagittale médiane.(53 bis)
Schéma de la projection orthogonale des points CA-CP sur le référentiel calleux.(55)
Répartition de la longueur du corps calleux chez 40 adultes.(56)
Répartition de la hauteur du corps calleux chez 40 adultes.(56)
Répartition de la distance GC à CA.(57)
Répartition de la distance SC à CP.(57)
Répartition de la distance MC à CA.(58)
Répartition de la distance MC à CP.(58)
Répartition de la distance CA-CP.(59)
Répartition des angles entre le plan calleux et le plan bicommissural.(59)
Résultats exprimés pour chaque sujet.(60)
Schéma du référentiel calleux de notre étude.(65)
Projection des lignes calleuses sur le cortex hémisphérique (reconstruction manuelle)(69)

Distribution de la projection orthogonale du sillon central sur l'hémisphère gauche.(71)

Distribution de la projection orthogonale du sillon central sur l'hémisphère droit.(71)

Superposition de la projection des aires motrices primaires.(72)

Projection des lignes calleuses sur le cortex hémisphérique (reconstruction tridimensionnelle par logiciel informatique).(73 bis)

Référentiel calleux sur une angiographie digitalisée en soustraction.(78 bis)

Lignes de base anatomiques calleuses projetées sur la face médiale et latérale d'un hémisphère cérébral : relations topographiques par rapport aux aires fonctionnelles.(79)

BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE

1. **AFSHAR F., DYKES E.**
A three-dimensional reconstruction of the human brain stem.
Journal of Neurosurgery. 1982. 57 ; pp 491-495.
 2. **ALPERS B.J., BERRY R.G., PADDISON R.M.**
Anatomical Studies of the Circle of Willis in normal brain.
Arch. Neurol.(Chicago), 1963. 8 ; pp 398-402.
 3. **ARIENS KAPPERS, C.U.**
La signification des fissures du cerveau en general et leurs rapports avec les localisations cérébrales intrinsèques dans la région insulaire et dans le lobe frontal.
Nevraxe (Paris) 1913. 14 ; pp 217-247.
 4. **ATLAS S.W., ZIMMERMAN R.A., RORKE L., HACKNEY D.B.**
Corpus callosum and limbic system : neuroanatomic MR evaluation of developmental anomalies.
Radiology. 1986. 160 ; pp 355-362.
 5. **BAPTISTA A.G.**
Studies on the arteries of the brain.
II- The anterior cerebral artery : some anatomic features and their clinical implications.
Neurology. 1963. 13, pp 825-835.
 6. **BARKOVICH A., KJOS B.**
Normal postnatal development of the corpus callosum as demonstrated by M.R.Imaging.
American Journal of Neuroradiology. 1988. 9 ; pp 487-491.
 7. **BARKOVICH A.J., LYON G., EVRARD Ph.**
Formation, maturation, and disorders of white matter.
American Journal of Neuroradiology. 1992. 13 ; pp 447-461.
 8. **BARKOVICH A.J., NORMAN D.**
Anomalies of the corpus callosum : correlation with further anomalies of the brain.
American Journal of Neuroradiology. 1988. 9 ; pp 493-501.
 9. **BAUCHOT R., STEPHAN H.**
Etude quantitative de quelques structures commissurales du cerveau des Insectivores.
Mammalia. 1961. 25 ; pp 314-341.
 10. **BEAN R.B.**
Some racial peculiarities of the Negro Brain.
American Journal of Anatomy. 1906. 5 ; pp 353-432.
-

-
11. **BEAU A., RABISCHONG P.**
Les veines internes du cerveau.
C. R. Ass. Nat. 1958. 45e Réunion - Gand. pp 175-181.
 12. **BEN-AMOR M., BILLEWICZ O.**
The posterior cerebral vein.
Neuroradiology. 1970. 1 ; pp 179-182.
 13. **BEN-AMOR M., WACKENHEIM A.**
Les veines cérébrales profondes sustentorielles. I : Radioanatomie normale.
Ann. Radiol. 1973. 16 ; pp 731-757.
 14. **BERGER M., COHEN W., OJEMAN G.**
Correlation of motor cortex brain mapping data with magnetic resonance imaging.
Journal of Neurosurgery. 1990. 72 ; pp 383-387.
 15. **BERGVALL U., RUMEAU C., VAN BUNNEN Y.,
CORBAZ J.M., and MOREL M.**
External references of the bicommissural plane.
GOUAZE A., SALAMON G.(Eds)
In Brain Anatomy and M.R.I.
Berlin : Springer-Verlag. 1988. pp 4-10.
 16. **BERRY I.**
Atlas d'Imagerie par Résonance Magnétique en Neuroradiologie.
Thèse de Médecine - Toulouse - 1984.
 17. **BILLEWICZ O., BEN-AMOR M.**
The posterior ventricular branches of the internal cerebral and basilar vein.
Neuroradiology. 1971. 2 ; pp 37-45.
 18. **BOHM C., GREITZ T., KINGSLEY D., BERGGREN B.M., OLSSON L.**
A computerized individually variable stereotaxic brain atlas.
(In) GREITZ T., INGVAR D.H., WIDEN L., Eds.
The metabolism of the human brain study with positron emission tomography.
New York. Raven. 1985. pp 85-91.
 19. **BOUCHER M., GUARD P.F., SCHOTT B.**
Histoire du corps calleux. UCB
Lyon 1975. UCEPHA (Eds).
 20. **BRACARD S., ROLAN J., PICARD L.**
Variation des artères de l'encéphale.
Guerbet (Eds).1986. livre 1, tome 1. pp 95-102.
 21. **BRAZIER, BURNISTON M.A., PETSCHKE H.**
Architectonics of the cerebral cortex.
Raven Press. 1978.
-

-
22. **BULL J.**
The Corpus callosum.
Clin. Radiol. 1967. 18 ; pp 2-18.
23. **BUSSE O.**
Aneurysmen und Bildungsfehler der Arteria Communicans Anterior.
Virchows Arch. 1921. 229 ; pp 178-206.
24. **CABANIS E. A., DOYON D., HALIMI Ph., IBA-ZIZEN M.T.,
SIGAL R. et TAMRAZ J.**
Atlas d'I.R.M. de l'encéphale et de la moelle. Aspects normaux.
Masson - Paris. 1988.
25. **CAMBIER J., MASSON M., DEHEN H.**
Abrégé de neurologie. 6e édition.
Masson - Paris. 1989.
26. **CARPENTER M., SUTIN J.**
Human neuroanatomy.
8 th Ed. Baltimore. WILLIAMS and WILKINS. 1983. pp 36-38.
27. **CHI Je.G., DOOLING E.C., GILLES F.H.**
Gyral development of the human brain.
Ann. Neurol. 1977. 1 ; pp 86-93.
28. **CHIRAS J., BORIES J.**
L'angiographie cérébrale normale.
Encycl. Méd. Chir. (Paris, France)
Neurologie, 17032 D ¹⁰, 4 - 1984.
29. **CLAMEN C.**
*Vascularisation artérielle de la circonvolution péricalleuse et du corps calleux :
Etude anatomique chez le chien et le chat.*
Diplôme d'Etudes et de Recherches en Biologie Humaine et Comparée.
Amiens. 1984.
30. **CLARKE E., DEWHURST K.**
Histoire illustrée de la fonction cérébrale.
Editions Roger Dacosta. Paris. 1984.
31. **CLARKE S., KRAFTSIK R., VAN DER LOOS H. and INNOCENTI G. M.**
*Forms and measures of adultes and developing human corpus callosum :
Is there sexual dimorphis?*
The Journal of Comparative Neurology. 1989. 280 ; pp 213-230.
32. **CLINE H.E., DUMOULIN C.L., HART H.R., LORENSEN W.E.,
LUDKE S.**
*3-D reconstruction of the brain from magnetic resonance imaging using a connectivity
algorhythm.*
Magnetic Resonance Imaging. 1987. 5 ; pp 345-352.
-

33. **COHEN L.G., HALLETT M.**
Non invasive mapping of human motor cortex.
Neurology. 1988. 38 ; pp 904-909.
34. **CUMMING WJK.**
An anatomical review of the corpus callosum.
Cortex. 1970. n°6, pp 1-18.
35. **CUNNINGHAM D.J.**
Contribution to the surface anatomy of the cerebral hemispheres
Royal Irish Academy - Dublin. 1892 : 7 : 372.
36. **DANIELS D., HAUGHTON V.M.and NAIDICH T.P.**
Cranial and spinal magnetic resonance imaging.
An atlas and guide.
Raven Press - New York. 1987.
37. **DANN R., HOFORD J., KOVACIC S., REIVICH M.**
Evaluation of elastic matching system for anatomic (C.T., M.R.) and functional (PET) cerebral images.
Journal of Computed Assisted Tomography. 1989. 13 ; pp 603-611.
38. **DAVIDOFF L.M., DYKE G.G.**
Agenesis of the Corpus Callosum. Its diagnosis by Encephalography. Report of three cases.
American Journal of Roentgenology. 1934. 32 ; pp 1-10.
39. **DE LACOSTE M.C., KIRKPATRICK J.B., ROSS E.D.**
Topography of the Human Corpus callosum.
Journal of Neuropathology and Experimental Neurology. Nov ; 1985. Vol 44, n°6 ; pp 578-591.
40. **DE LACOSTE-UTAMSING M.C., HOLLOWAY R.L.**
Sexual dimorphism in the Human Corpus callosum.
Science. Vol 216, 25 ; June 1982.
41. **DEJERINE J.**
Anatomie des centres nerveux.
Masson. Paris. 1985. Tome 1.
42. **DELMAS A., PERTUISET B.**
Cranio-cerebral topometry in man.
Paris - Masson. 1959
43. **DEMETERS S., RINGO J.L., DOTY R.W.**
Morphometric analysis of the human corpus callosum and anterior commissure.
Human Neurobiology. 1988. 6 ; pp 219-226.
-

-
44. **DEROSIER C., BUEE C., LEDOUR O., HORF F., DESGEORGES M., COSNARD G.**
I.R.M. et Stéréotaxie.
Journal of Neuroradiology. 1991. 18 ; pp 333-339.
45. **DIETEMAN J.L.**
Angiographie cérébrale.
Springer Verlag, Berlin. 1982.
46. **DIETEMAN J.L.**
Angiographie cérébrale.
Springer Verlag, Berlin. 1982.
47. **DUNKER R.O., HARRIS A.B.**
Surgical anatomy of the proximal anterior cerebral artery.
Journal of Neurosurgery. 1976. 44 ; pp 359-367.
48. **EBELING U., HUBER P., REULEN H.J.**
Localization of the precentral gyrus in Computed Tomogram and its clinical application.
Journal of Neurology. 1986. 233 ; pp 73-76.
49. **EBELING U., RIKLI D., HUBER P., REULEN H.J.**
The coronal suture a useful bony landmark in neurosurgery.
Acta Neurochirurgica (Wien). 1987. 89 ; pp 130-134.
50. **EBELING U., STEINMETZ H., HUANG Y., KAHN T.**
Topography and identification of the Precentral sulcus in M.R.Imaging.
American Journal of Neuroradiology. 1989. 10 ; pp 937-942.
51. **EHRICKE H.H., SCHAD L.R., GADEMANN G., WOWRA B., ENGENHART R., and LORENZ W.J.**
Use of MR Angiography for Stereotactic Planning.
Journal of Computer Assisted Tomography. 1992. 16(1) ; pp 35-40.
52. **FARNARIER Ph.**
Les branches corticales et calleuses de l'artère cérébrale antérieure.
Etude anatomique, radiologique, procédé de repérage.
Thèse. Marseille. 1974.
53. **FEESS-HIGGINS A., LARROCHE J.C.**
Le développement du cerveau fœtal humain.
Atlas anatomique - Paris. Masson 1987.
54. **FILIPEK P., KENNEDY D.N., CAVINESS V.S., ROSSNICK S.L., SPRAGGINS T.A., STAREWICZ P.M.**
*Magnetic Resonance Imaging based brain morphometry :
Development and application to normal subjects.*
Ann. Neurol. 1989. 25 ; pp 61-67.
-

-
55. **FISCHER E.**
Die Lageabweichungen der vorderen Hinarterie im gefassbild.
Zbl. Neurochir. 1938. 3 ; pp 300-313.
56. **FISHMAN E., MAGID D., NEY D.R. et al**
Three dimensional imaging
Radiology. 1991. 181 ; pp 321-337.
57. **FOX P.T., BURTON H., MARCUS E. RAICHLE**
Mapping human somatosensory cortex with Positron Emission Tomography.
Journal of Neurosurgery. 1987. 67 ; pp 34-43.
58. **FOX P.T., PERLMUTTER J.S., RAICHLE M.E.**
A stereotactic methode of anatomical localization for P.E.T.
Journal of Computer Assisted Tomography. 1985. 9(1) ; pp 141-153.
59. **FRANCK B.**
Les canaux interventriculaires : anatomie microchirurgicale et physiopathologie.
Thèse de Médecine - Limoges - 1989.
60. **FUJII K., LENKEY C., RHOTON A.L.**
Microsurgical anatomy of the choroïdal arteries : lateral and third ventricules.
Journal of Neurosurgery. 1980. 52; pp 165-188.
61. **GABRIELLE H., LATARJET M., LECUIRE J., SAUTOT J.**
Contribution à l'étude macroscopique de l'artère cérébrale antérieure et de la vascularisation artérielle du lobe frontal chez l'homme.
C.R. de l'Association des Anatomistes. 1949. 57 ; pp 277-290.
62. **GABRIELLI O., SALVOCINI U., BONIFAZI V., CIFERRI L.**
Morphological studies of the corpus callosum by M.R.I. in children with malformative syndromes.
Neuroradiology. 1993. 35 ; pp 109-112.
63. **GADO M., HANAWAY J., FRANK R.**
Functional anatomy of the cerebral cortex by computed tomography.
Journal of Computed Assisted Tomography. 1979. 3(1) ; pp 1-19.
64. **GILLES F.H., LEVITON A., DOOLING E.C.**
The developing human brain.
Boston : John Wright-PSG. 1983.
65. **GIORGI C., CERCHIARI U.**
*Contemporary Stereotactic Atlases :
Merging of functional data with individual morphological MRI acquisition.*
Acta Neurochirurgica. 1991. Suppl. 52 ; pp 69-74.
66. **GOUAZE A., SALAMON G.**
Brain anatomy and magnetic resonance imaging.
Springer-Verlag. Heidelberg, New York. 1988..
-

-
67. **GRAFTON S.T., WOODS R.P., MAZZIOTTA J.C., PHELPS M.E.**
Somatotopic mapping of the primary motor cortex in humans : Activations studies with cerebral blood flow and positron emission tomography.
Journal of Neurophysiology. 1991. 66 ; 735-743.
68. **GRECORIE E., GOLDRING S.**
Localization of function in the excision of lesions from the sensorimotor region.
Journal of Neurosurgery. 1984. 61 ; pp 1047-1054.
69. **GRIFON Ch.**
Le corps calleux : bases anatomiques, deductions physiopathologiques et neurochirurgicales.
Certificat d'Etudes Supérieures d'Anatomie et d'Organogénèse. Limoges. 1991.
70. **HABIB M.**
Anatomical asymmetries of the human cerebral cortex.
Intern. J. Neuroscience. 1989. Vol 47 ; pp 67-79.
71. **HABIB M., GAYRAUD D., OLIVA A., REGIS J., SALAMON G., KHALIL R.**
Effects of handedness and sex on the morphology of the corpus callosum : A study with brain magnetic resonance imaging.
Brain Cogn. 1991. 16 ; pp 41-61.
72. **HANDA J., TERAURA T.**
Agenesis of the corpus callosum associated with multiple developmental anomalies of the cerebral arteries.
Radiology. 1969. n°92. pp 1301-1304.
73. **HORSLEY V.**
The function so-called motor area of the brain.
The British Medical Journal. 1909. July 17 ; pp 125-132.
74. **HORSLEY V.**
On topographical relations of the cranium and surface of the cerebrum.
(In) CUNNINGHAM D.J.
Contribution to the surface anatomy of the cerebral hemispheres.
Dublin, Academic House. 1892. pp 306-355.
75. **HORSLEY V., CLARKE R.H.**
The structure and functions of the cerebellum examined by a new method.
Brain. 1908. 31 ; pp 45-124.
76. **HU X.**
3-D MRI of the brain surface : application to neurosurgical planning.
Journal of Neurosurgery. 1990. 72 ; pp 433-440.
-

-
77. **HUANG Y.P., WOLF B.S.**
Angiographic features of the pericallosal cistern.
Radiology. 1964. 82 ; 1. pp 14-23.
78. **JINKINS J.R., WHITTEMORE A.R.**
M.R. Imaging of Callosal and Corticocallosal Dysgenesis.
American Journal of Neuroradiology. 1989. 10 ; pp 339-344.
79. **KAPLAN H.A.**
The lateral perforating branches of the anterior and middle cerebral arteries.
Journal of Neurosurgery. 1965. 23; pp 305-310.
80. **KATADA K.**
*M.R. Imaging of the brain surfaces structures :
Surface Anatomy Scanning(S.A.S.)*
Neuroradiology 1990. 32 ; pp 439-448.
81. **KELLY P.J., ALKER G.J., KALL B.A., GOERSS S.**
Method of Computed Tomography-based stereotactic biopsy with arteriographic control.
Neurosurgery. 1984. Vol 14 ; n°2. pp 172-177.
82. **KIDO D.K., LE MAY M., LEVINSON A.W., WARREN E., BENSON R.T.**
Computed Tomography localization of the Precentral Gyrus.
Neuroradiology. 1980. 135 ; pp 373-377.
83. **KUBAN K., GILLES F.**
Human telencephalic angiogenesis.
Ann. Neurol. 1985. 17 ; pp 539-548.
84. **LAISSY J.P., PATRUX B., DUCHATEAU C., HANNEQUIN D.
HUGONET P.**
*Midsagittal MR Measurement of the Corpus callosum in Healthy Subjects
and Diseased Patients : A Prospective Survey.*
American Journal of Neuroradiology. 1993. 14 ; pp 145-154.
85. **LANG J., EDERER M.**
Über und Grösse des corpus callosum und das septum pellucidum.
Morph. J.b. (Leipzig) 1980. 126 ; pp 949-958.
86. **LANGMAN J.**
Congenital malformations and their causes.
In Medical Embryology.
Baltimore. Williams and Wilkins. 1975. pp 108-134.
87. **LARSEN J.L.**
Angiographic finding in agenesis of the corpus callosum.
American Journal of Roentgenology. 1966. n°98. pp 579-582.
-

-
- 88. LAZORTES G.**
Le système nerveux central.
Description. Systématisation. Exploration.
Masson - Paris. 1973.
- 89. LAZORTES G., GAUBERT J., POULHES J.**
La distribution centrale et corticale de l'artère cérébrale antérieure : Etude anatomique et incidences neurochirurgicales.
Neurochirurgie. 1956. 2,3 ; pp 237-253.
- 90. LAZORTES G., GOUAZE A., SALAMON G.**
Vascularisation et circulation cérébrale.
Masson - Paris. 1977-1978.
- 91. LE MAY M., CULEBRAS A.**
Human brain morphologic differences in the hemispheres demonstrable by carotid angiography.
New England J. Med. 1972. 287 ; pp 168-170.
- 92. LE MAY M., KIDO D.K.**
Asymmetries of the cerebral hemispheres on computed tomograms.
Journal of Computed Assisted Tomography. 1978. 2 ; pp 471-476.
- 93. LEHMAN R.M., OLIVIER A., MOREAU J.J., TAMPIERI D., HENRI G.**
Use the callosal grid system for the preoperative identification of the central sulcus.
Stereotactic and Functional Neurosurgery. 1992. 58(1-4) ; pp 179-188.
- 94. LEVIN D.N., HU X., TAN K.K., GALHOTRA S.**
Surface of the brain : three-dimensional M.R.Images created with volume rendering.
Radiology. 1989. 171 ; pp 277-280.
- 95. LEVY-VALENSI**
Le corps calleux.
Thèse de Doctorat, Paris. 1909-1910. Steinheil Eds.
- 96. LIN J., KIRCHEFF I.**
Normal anterior cerebral artery complex.
In Newton T.H., Potts DG (Ed). Radiology of the skull and brain. Volume II, Book 2. St Louis, CV Mosby. 1974. 8 ; pp 241-263.
- 97. MALOBABIC S., SIMIC S., MARINKOVIC S.**
Significance of the encephalometric parameters of human corpus callosum and medial hemispheric surface.
Anat. Anz. 1985. 159 ; pp 231-239.
- 98. MARGOLIS M.T., NEWTON T.H., HOYT W.F.**
Gross and roentgenographic anatomy of the posterior cerebral artery.
In NEWTON T.H., POTTS P.C.(ed) : Radiology of the skull and the brain. Volume 2, Book 2, St Louis. CV Mosby, 1974. pp 1551-1576.
-

-
- 99. MARIN-PADILLA M.**
Embryology : Chap. 2
In YASARGIL M.G. : A.V.M. of the brain. Vol. IIIA
Georg. Thieme Verlag, Stuttgart, 1987.
- 100. MARTIN E., KILKINIS R., ZUERRER M. and al.**
Developmental stages of human brain : An M.R. study.
Journal of Computed Assisted Tomography. 1988. 12 ; pp 917-922.
- 101. MARTIN N., GRAFTON S.**
Imaging technic for cortical functional localization.
Clin. Neurosurg. 1992. n°38. pp 132-165.
- 102. McLEOD N.A., POWELL WILLIAMS J., MACHEN B., LUM G.B.**
Normal and abnormal morphology of the corpus callosum.
Neurology. 1987. 37 ; pp 1240-1242.
- 103. MISSIR O., DUTHIEL-DESCLERCS C., MEDER J.F.,
MUSOLINO A., FREDY D.**
Central sulcus patterns at M.R.I.
J. Neuroradiol., 1989. 16 ; pp 133-144.
- 104. MUSOLINO A., MUNARI C., BETTI O., LANDRE E.,
BROGLIN D., DEMIERRE B., MISSIR O.,
DAUMAS-DUPORT C., CHODKIEWICZ J.P.**
*Intéret et technique du transfert des données tomodensitométriques
dans les coordonnées stéréotaxiques du système de Talairach.*
Rev. Electroencéphalogr. Neurophysiol. Clin. 1987. 17 ; pp 11-24.
- 105. MUSOLINO A., TALAIRACH J., TOURNOUX P., MISSIR O.**
*Comparative study between stereotactic angiography and magnetic resonance imaging
(M.R.I.) data on spatial organisation of sulci and circonvolutions in man.*
Boll. Lega. It. Epil. 1988. 62/63 ; pp 51-56.
- 106. NAIDICH T.P., DANIELS D.L., PECH P.**
*Anterior commissure : Anatomic-M.R. correlation and use as a landmark
in three orthogonal planes.*
Radiology. 1986. 158 ; pp 421-429.
- 107. OJEMAN G., WARD A.Jr.**
Stereotactic and other procedures for epilepsy.
Adv. Neurol. 1975. 8 ; pp 241-263.
- 108. OKAMOTO K., ITO J., TOKIGUCHI S.**
The MR finding of the corpus callosum of normal young volunteers.
Nippon Acta Radiol. 1990. 50 ; pp 954-963.
- 109. OLIVIER A., De LOBTINIÈRE A.**
Stereotactic techniques in epilepsy.
Neurosurgery. 1987. 2 ; pp 257-285.
-

-
- 110. OLIVIER A., MELASON D.**
Anatomical interpretation of M.R. scans of the brain.
Magnetic Resonance in Medicine. 1987. 4; pp 185-188.
- 111. OLIVIER A., PETERS T.M., CLARK J.A., MARCHAND E., MAWKO G. BERTRAND G., VANIER M., ETHIER R., TYLER J., de LOTBINIERE A.**
Intégration de l'angiographie numérique, de la résonance magnétique, de la tomodynamométrie et de la tomographie par émission de positrons en stéréotaxie.
Rev. Electroencéphalogr. Neurophysiol. Clin. 1987. 17 ; pp 25-43.
- 112. OLIVIER A., PETERS T.M., CLARK J.A., MAWKO G., WINFIELD J.**
The role of digital angiography in stereotactic.
Comptes rendus de la Réunion de l'Association des Neurochirurgiens de Langue Française. 1984.
- 113. ONO M., KUBIK S. and ABERNATHEY Ch. D.**
Atlas of the cerebral sulci
Georg. Thieme Verlag.- Stuttgart. New York- 1990
- 114. ONO M., RHOTON A.L., PEACE D., RODRIGUEZ R.J.**
Microsurgical anatomy of the deep venous system of the brain.
Neurosurgery 1984. 15 ; pp 621-657.
- 115. ORRISON W.W., DAVIS L.E., SULLIVAN G.W., METTLER F.A.Jr., FLYNN E.R.**
Anatomic localization of cerebral cortical function by magnetoencephalography combined with MRImaging and CT.
American Journal of Neuroradiology. 1990. 11 ; pp 713-716.
- 116. ORRISON W.W.Jr., ROSE D.F., HART B.L.**
Non invasive preoperative cortical localization by magnetic source imaging.
American Journal of Neuroradiology. 1992. 13 ; pp 1124-1128.
- 117. OSBORN A.G., POOLE C.J.**
Angiographic signs of corpus callosum tumors : a reappraisal.
Radiology. 1965. 115 ; pp 97-105.
- 118. OTTO K.B., LIERSE W.**
Die Kapillarisation verschiedener Teile des menschlichen Gehirns in der Fetalperiode und in den ersten Lebens jahren.
Acta anat. 1970 . 77 ; pp 25-36.
- 119. PADGET D.H.**
The cranial venous system in man in reference to development adult configuration, and relation to the arteries.
American Journal of Anatomy. 1956. 98 ; pp 307-355.
-

-
- 120. PADGET D.H.**
The development of the cranial arteries in the human embryo.
Carnegie Inst. Washington. 1948. 32 ; pp 205-261.
- 121. PARRISH M.L., ROESSMANN U., LEVINSOHN M.W.**
Agenesis of the corpus callosum : a study of the frequency of associated malformations.
Ann. Neurol. 1979. 6 ; pp 349-354.
- 122. PATURET G.**
Traité d'anatomie humaine - Vol 4
Système nerveux - Paris. Masson 1964.
- 123. PELIZZANI C.A., CHEN G.T.Y., SPELBRING D.R., WEICHSELBAUM R.R., CHEN C.T.**
Accurate three-dimensional registration of CT, PET, and/or MR images of the brain.
Journal of Computed Assisted Tomography. 1989. 13 ; 20-26.
- 124. PELLETIER J.**
S.E.P. et transfert calleux.
Thèse de Médecine. Marseille, 1991.
- 125. PENFIELD W., BOLDREY E.**
Somatic motor and sensory representation in the cerebral cortex of man as studied by electrical stimulation.
Brain 60. 1937. pp 389-443.
- 126. PENFIELD W., RASMUSSEN T.**
The cerebral cortex of Man.
A clinical study of localization of function.
The Macmillan Company. New York. 1952. pp 56-61.
- 127. PERLMUTTER D., RHOTON J.**
Microsurgical anatomy of the distal anterior cerebral artery.
Journal of Neurosurgery. 1978. 49, pp 204-228.
- 128. PETERS T.M., CLARK J.A., OLIVIER A. et al.**
Integrated stereotaxic imaging with CT, MRImaging and digital subtraction angiography.
Radiology. 1986. 161 ; pp 821-826.
- 129. PETERS T.M., HENRI C., PIKE G.B., CLARK J.A., COLLINS L., OLIVIER A.**
Integration of stereoscopic DSA with three dimensional image reconstruction for stereotactic planning.
Stereotact. Funct. Neurosurg. 1990. 54-55 ; pp 471-476.
- 130. PICARD C., OLIVIER A.**
Sensory cortical tongue representation in man.
Journal of Neurosurgery. 1983. 59; pp 781-789.
-

-
- 131. POTTHOFF P.C., UMBACH W.**
Corpus callosum cerebri.
Deutsch Med. Wsch. 1966. 91 ; pp 2220-2223.
- 132. RAKIC P., YAKOVLEV P.I.**
Development of the corpus callosum and cavum septae in man.
Journal of Comparative Neurology. 1968. 132 ; pp 45-72.
- 133. REINARZ S.J., COFFMAN C.E., SMOKER W.R.K., GODERSKY J.C.**
M.R. Imaging of the corpus callosum : Normal and pathologic finding and correlation with C.T.
American Journal of Neuroradiology. 1988. 9 ; pp 649-656.
- 134. RING B.A., WADDINGTON M.M.**
Angiographic identification of motor strip
J. Neurosurg. 1967. pp 249-254.
- 135. ROBB R.A., BARILLOT C.**
Interactive display and analysis of 3-D medical images.
I.E.E.E. Trans. Med. Imaging. 1988. 8 ; pp 217-226.
- 136. ROSEN G.D., SHERMAN G.F., GALABURDA A.M.**
Interhemispheric connections differ between symmetrical and asymmetrical brain regions.
Neuroscience. 1989. 33 ; pp 525-533.
- 137. ROUVIERE H.**
Anatomie humaine ; description et topographie.
Masson - Paris. 1973.
- 138. ROWLAND L.P., METTLER F.A.**
Relation between the coronal suture and cerebrum.
Journal of Comparative Neurology. Aug. 1948. 89 ; pp 21-40.
- 139. RUMEAU C., GOUAZE A., SALAMON G. et al.**
Identification of cortical sulci and gyri using magnetic resonance imaging : A preliminary study in
Brain Anatomy and Magnetic Resonance Imaging.
Berlin. Springer-Verlag. 1988. pp 11-31.
- 140. RUMEAU C., SALAMON G.**
Etude des sillons et circonvolutions cérébrales en I.R.M.
In CABANIS E.A., GUIRAUD-CHAUMEIL B., VAN EFFENTERRE R.(Eds)
Imagerie par Résonance Magnétique Nucléaire.
London-Paris : John Libbey Eurotex. 1988.
- 141. SALAMON G.**
Atlas de la vascularisation artérielle du cerveau chez l'homme.
Asclepios. 1973.
-

-
- 142. SALAMON G., COMBALBERT A., FAURE J., GUIDICELLI G.**
Microradiographic study of the arterial circulation of the brain.
Progress in Brain Research. 1968. 30 ; pp 33-41.
- 143. SALAMON G., GOUAZE A., SHARON E.BYRD and CORBAZ J.M.**
The vascular anatomy of the cerebral hemispheres. pp 11-47.
from Cerebrovascular surgery Vol 1.
- 144. SALAMON G., HUANG Y.P.**
Radiologic anatomy of the brain
Berlin - Springer, 1976.
- 145. SALAMON G., PERETTI-VITON P., FAURE J., DELANNOY L.,
FAN L., GIRARD N., ANDRE P.**
Imagerie de l'œil, de l'oreille et du cerveau.
Springer Euthérapie. Paris. 1992.
- 146. SALAMON G., RAYNAUD C., REGIS J., RUMEAU C.**
Magnetic Resonance Imaging of the pediatric brain.
An Anatomical Atlas
Raven Press, New York. 1990. pp 2-8.
- 147. SAXENA R.C., BEG M.A.Q., DAS A.C.**
The straight sinus.
Journal of Neurosurgery. 1974. 41 ; pp 724-727.
- 148. SCHAD L., LOTT S., SCHMITT F., STURM V., LORENZ W.J.**
*Correlation of spatial distortion in M.R.Imaging : A prerequisite for accurate
stereotaxy.*
Journal of Computed Assisted Tomography. 1987. 11 ; pp 499-505.
- 149. SCHALTENBRAND G., BAILEY P.**
Introduction to stereotaxis with an atlas of human brain.
Georg. Thieme, Stuttgart. 1959.
- 150. SCHALTENBRAND G., WAHREN W.**
Atlas for stereotaxy of the human brain.
Stuttgart. Thieme. 1977.
- 151. SEBILEAU P.**
Démonstrations d'anatomie : région temporale.
Paris, Steinheil Ed. 1892. pp 39-54.
- 152. SEDAN R.**
Neurochirurgie stéréotaxique.
PAILLAS J.E., BONNAL J., VIGOUROUX R., SEDAN R., FABRE J.(Eds)
Nouveau Traité de Technique chirurgicale. Tome VI
Masson. Paris. 1975. pp 334-364.
-

-
- 153. SEDAN R., PERAGUT J.C., FARNARIER P.**
Un système simple d'utilisation de l'imagerie R.M.N. de routine en neurochirurgie stéréotaxique.
Neurochirurgie. 1986. 32 ; pp 373-374.
- 154. SEEGER W.**
Atlas of topographical anatomy of the brain and surrounding structures for neurosurgeons, neuroradiologists and neurologists.
Vienna - Springer. 1978.
- 155. SINGER M., YAKOVLEV P.I.**
The human brain in sagittal section.
Ch.C. Thomas, Springfield. 1954.
- 156. SPIEGEL E.A., WYCIS H.T.**
Stereoencephalotomy (thalamotomy and related procedures)
New York. Grune & Stratton. 1952.
- 157. STEIN R.L., ROSENBAUM A.E.**
Normal deep cerebral venous system.
In Newton TH, Potts PC (Eds). Radiology of the skull and brain. Volume II, Book 3
C.V. Mosby, St Louis. 1974. pp 1904-1927.
- 158. STEINMETZ H., FURST G., FREUND H.J.**
Cerebral cortical localization : Application and validation of the Proportional Grid System in M.R.Imaging.
Journal of Computer Assisted Tomography. 1989. 13(1) pp 10-19.
- 159. STEINMETZ H., FURST G., FREUND H.J.**
Variation of perisylvian and calcarine anatomic landmarks within stereotaxic proportional coordinates.
American Journal of Neurosurgery. 1990. 11 ; pp 1123-1130.
- 160. STEINMETZ H., FURST G., MEYER.**
Craniocerebral topography within the international 10-20 system.
Electroencephalography and Clinical Neurophysiology. 1989, 72 ; pp 499-506.
- 161. STEINMETZ H., HUANG Y.**
Two-dimensional mapping of brain surface anatomy.
American Journal of Neuroradiology. 1991. 12 ; pp 997-1000.
- 162. STEINMETZ H., JANCKE Ph., KLEINSCHMIDT A., SCHLANG G., VOLKMANN J., HUANG Y.**
Sex but not hand difference in the isthmus of the Corpus callosum.
Neurology. 1992. 42 ; pp 749-752.
- 163. STEPHENS and STILWELL.**
Arteries and veins of the human brain.
Charles C. Thomas, Springfield- Illinois. 1969.
-

164. STIMAC G.K., SUNDSTEN J.W., PROTHERO J.S., PROTHERO J.W., GERLACH R., SORBONNE R.

Three-dimensional contour surfacing of the skull, face, and brain from CT and MRI images

and from anatomic sections. Technical note.

American Journal of Neuroradiology. 1988. 151 ; pp 807-810.

165. STRICK P.L., PRESTON J.B.

Multiple representation in the primate motor cortex.

Brain Research. 1978. 154 ; pp 366-370.

166. SUETENS P., GYBELS J., DOSTERLINK A., HAEGEMANS A.

Digital radiography in stereotactic and functional neurosurgery.

Appl. Neurophysiol. 1982. 45 ; pp 365-575.

167. SZIKLA G.

Topographie stéréotaxique de la scissure de Rolando et des réponses motrices évoquées au niveau du centre ovale par des stimulations linéaires de basse fréquence.

Thèse, Paris 1967.

168. SZIKLA G., BOUVIER G., HORI T.

In vivo localization of brain sulci by arteriography : A stereotactic anatomoradiological study.

Brain Research. 1975. 95 ; pp 497-502.

169. SZIKLA G., BOUVIER G., HORI T., PETROV V.

Angiography of the human brain cortex.

Atlas of vascular patterns and stereotactic cortical localisation.

Berlin - Springer. 1977.

170. TAKASE M.

Atlas of the human brain for computed tomography based on the glabella-inion line.

Neuroradiology. 1977. 14 ; pp 73-79.

171. TALAIRACH J.

Les explorations radiologiques stéréotaxiques.

1^{er} congrès de Neurochirurgie de Langue Française. Alger, 1954.

172. TALAIRACH J., BANCAUD J.

Approche nouvelle de la neurochirurgie de l'épilepsie.

Méthodologie stéréotaxique et résultats thérapeutiques.

Masson - Paris. 1974.

173. TALAIRACH J., DAVID M., TOURNOUX P., CORREDOR H. et KVASINA T.

Atlas d'anatomie stéréotaxique des noyaux gris centraux

Masson. 1957

174. **TALAIRACH J., DE AJURIAGUERRA J., DAVID M.**
Etudes stéréotaxiques des structures encéphaliques chez l'homme.
Press. Med. 1952. 28 ; pp 605-609.
175. **TALAIRACH J., SZICKLA G., TOURNOUX P., PROSALENTIS A.,
BORDAS-FERRER M., CAVELLO L., JACOB M., MEMPEL E.**
Atlas d'anatomie stéréotaxique du télencéphale.
Masson - Paris. 1967.
176. **TALAIRACH J., TOURNOUX P.**
Co-planar stereotaxic atlas of the Human Brain.
3-dimensional proportional system : an approach to cerebral imaging.
Stuttgart - Thieme. 1988.
177. **TAYLOR E.H., HAUGHTON W.S.**
*Some recent research on the topography of the circonvolutions
and fissures of the brain.*
Trans Roy. Acad. Ireland, 1900 : 18.
178. **TESSIER P.L., HEMMY D.C.**
Three-dimensional imaging in medicine.
Scand. J. Plast. Reconstr. Surg. 1986. 20 ; pp 3-11.
179. **TESTUT L., LATARJET A.**
Traité d'anatomie humaine. Tome 3.
G. Doin. Paris. 1949.
180. **TOKUNAGA A., TAKASE M., OTANI K.**
The Glabella-Inion line as a baseline for CT scanning of the brain.
Neuroradiology. 1977. 14 ; pp 67-71.
181. **TUCHMANN-DUPLESSIS M., AUROUX M., HAEGEL P.**
Embryologie. Organogénèse SN, organes des sens, intégration neuroendocrinienne.
Masson. 1982. 3e édition.
182. **UEMATSU S., LESSER R., FISHER R.S., GORDON B. and coworkers.**
*Motor and Sensory Cortex in Humans : Topography Studies
with Chronic Subdural Stimulation.*
Neurosurgery. 1992. Vol 31, No 1, pp 59-71.
183. **VAKOLYNK N.I.**
A Stereotaxic Atlas of the Human Brain.
Nankova Dumka, Kiev 1979.
184. **VAN DEN GERGH R., VAN DER EECKEN H.**
Anatomy and embryology of cerebral circulation.
Progress in Brain Research. 1968. 30 ; pp 1-25.
-

-
- 185. VANIER M., ETHIER R., OLIVIER A., PETERS T.M., MELANSON S., THERON J.**
Application of Talairach's proportional grid system to MR for localization of brain structures.
Proceeding Fourth Annual Meeting.
Society of Magnetic Resonance in Medecine. London, U.K. 1987.
- 186. VANIER M., ROCH LECOURE A., ETHIERS R., HABIB M., PONCET M., MILETTE P.C., SALAMON G.**
Proportional localisation system for anatomical interpretation of cerebral computer tomograms.
J. Comput.Assist. Tomogr. 1985. 9 ; pp 715-724.
- 187. VANIER M.W., BRUNSDEN B., HILDEBOLT C.F.**
Brain surface cortical sulcus lengths : Quantification with three-dimensional M.R.Imaging.
Radiology. 1991, 180 ; pp 479-484.
- 188. VANNIER M., ETHIER R., CLARK J., PETERS T.M., OLIVIER A., MELASON D.**
Anatomical interpretation of M.R. scans of the brain.
Magnetic Resonance in Medecine. 1987. 4 ; pp 185-188.
- 189. VIRAPONGSE C., SHAPIRO M., GMITRO A., SARWAR M.**
Three-dimensional computed tomographic reformation of the spine, skull, and brain from axial images.
Neurosurgery. 1986. 18 ; pp 53-58.
- 190. VON BONIN G.**
Architecture of the precentral motor cortex and some adjacent areas.
(In) BUCY P.C., Eds : The Precentral Motor Cortex.
Urbana III, University of Illinois Press. 2d Ed. 1949. Chapt. 2 ; pp 7-82.
- 191. WACKENHEIM A., BRAUN J.P.**
Angiography of the mesencephalon. Normal and pathological findings.
Springer Verlag - Berlin, Heidelberg New York. 1970.
- 192. WADDINGTON M.**
Atlas of cerebral angiography with anatomic correlation.
Boston : Little, Brown. 1974.
- 193. WALTREGNY A., THIBAUT A., TRAICK G., BONNAL J.**
Détermination d'un plan référentiel commun aux techniques d'imagerie cérébrale (Scanner, Rx, RMN, Pet Scan) par référence aux techniques stéréotaxiques biopsiques.
Neurochirurgie. 1986. 32 ; pp 377-379.
- 194. WERTHEIMER P., DAVID M.**
Naissance et Croissance de la Neurochirurgie.
Neurochirurgie suppl. 1979.
-

-
- 195. WINDLE B.C.A.**
On the arteries forming the circle of Willis.
J. of Anat. and Physiol. 1888. 22 ; pp 289-293.
- 196. WITELSON S.F.**
Structural correlates of cognition in the Human Brain.
In A.B. Scheibel and A.F. Wechsler(Eds)
Neurobiology of higher cognitive function.
Guilford Press. 1990. pp 167-183.
- 197. WITELSON S.F.**
The brain connection : the corpus callosum is larger in left-handers
Science. 1985. 229 ; pp 665-668.
- 198. WITELSON S.F.**
Hand and Sex differences in the isthmus and genu of the human corpus callosum : A post mortem morphological study.
Brain. 1989. 112 ; pp 799-835.
- 199. WITELSON S.F.**
Cognitive neuroanatomy : A new era.
Neurology. 1992. 42 ; pp 709-713.
- 200. WITELSON S.F. and KIGAR D.L.**
Sylvian fissure morphology and asymmetry in Men and Women : Bilateral differences in relation to handedness in Men.
The Journal of Comparative Neurology. 1992. 323 ; pp 326-340.
- 201. WOLFRAM-GABEL R., MAILLOT C., KORITKE J.G., LAUDE M.**
La vascularisation de la toile choroïdienne du troisième ventricule chez l'homme.
Arch. anat. histo. embryol. norm. et exp. 1984 . 67 ; pp 3-42.
- 202. WOOLSEY C.N., ERICKSON T.C., GILSON W.E.**
Localization in somatic sensory and motor areas of human cerebral cortex as determined by direct recording of evoked potentials and electrical stimulation.
Journal of Neurosurgery. 1979. 51; pp 476-506.
- 203. YAMAMOTO I., KAGEYAMA N.**
Microsurgical anatomy of the pineal region.
Journal of Neurosurgery. 1980. 53 ; 205-221.
- 204. YASARGIL M.G.**
Microneurosurgery Vol 1, 2.
G. Thieme, Stuttgart. New York. 1987.
- 205. YOSHII F., BARKER W., APICELLA A., CHANG J., SHELDON J., DUARA R.**
Mesurements of the corpus callosum (C.C.) on magnetic resonance (M.R.) scans : Effects of Age, Sex, Handedness, and disease.
Neurology. 1986. Vol 36, n°4, Suppl. 1 ; p. 133.
-

206. ZEAL A.A., RHOTON A.L.

Microsurgical anatomy of the posterior cerebral artery.
Journal of Neurosurgery. 1978. 48 ; pp 534-559.

207. ZELLWEGER H.

Agensis Corporis callosi.
Helvet. paediat. acta. 1952. 7 ; pp 136-155.

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION	1
BASES ANATOMIQUES DU CORPS CALLEUX	3
HISTORIQUE.....	3
PHYLOGENESE DU CORPS CALLEUX	4
ONTOGENESE DU CORPS CALLEUX	5
MORPHOLOGIE DU CORPS CALLEUX	9
1.- Données générales.....	9
2.- Situation et divisions	9
3.- Configuration extérieure	10
4.- Rapports anatomiques des différentes parties du corps calleux	11
4.1. Le corps	11
4.1.1. Face supérieure ou dorsale.....	11
4.1.2. La face inférieure ou ventrale	12
4.2. Le bourrelet ou splénium.....	13
4.3. Le genou	14
4.4. Le bec ou rostrum	14
ANOMALIES MORPHOLOGIQUES DU CORPS CALLEUX	15
VASCULARISATION DU CORPS CALLEUX	18
1.- EMBRYOLOGIE ARTÉRIELLE.	18
2. -VASCULARISATION ARTERIELLE	21
2.1. L'artère cérébrale antérieure	21
2.1.1 Les branches corticales.	22
2.1.2. Les branches calleuses.	23
2.1.3. Les variations du segment distal de l'artère cérébrale antérieure.	24
2.1.3.1. L'artère médiane du corps calleux	24
2.1.3.2. "Tronc commun court" des artères cérébrales antérieures	26
2.1.3.3. Artère cérébrale antérieure unique ou azygos.	26
2.2. L'artère cérébrale postérieure.....	28
2.2.1. Les branches calleuses	28
2.2.2. Les artères choroïdiennes.	29
2.2.2.1. Les artères choroïdiennes postéro-latérales.	29
2.2.2.2. Les artères choroïdiennes postéro-médiales.	30
3. -EMBRYOLOGIE VEINEUSE.	31
4. -DRAINAGE VEINEUX	32
4.1. Les veines calleuses.....	32
4.1.1. La veine péricalleuse antérieure (veine cérébrale antérieure).	33
4.1.2. La veine péricalleuse postérieure (veine cérébrale postérieure).....	33
4.2. Le système veineux profond.....	34

4.2.1. Les veines sous-épendymaires ventriculaires.....	34
4.2.1.1. La veine septale antérieure.	34
4.2.1.2. Les veines du corps ventriculaire.	35
4.2.1.3. La veine atriale médiane.	36
4.2.2. La veine basale de Rosenthal.	37
4.2.3. La veine cérébrale interne.	37
4.2.4. La veine de Galien.	38
4.3. Les sinus duremériens.	39
4.3.1. Le sinus droit.	39
4.3.2. Le sinus sagittal inférieur.	39
4. 4. Aspect angiographique.	40
4.4.1. Temps artériel.	40
4.4.2. Temps veineux.	40
MORPHOMETRIE DU CORPS CALLEUX.	41
1. Variations de surface.	41
2. Variations de longueur.	42
REPERAGE STEREOTAXIQUE.	43
HISTORIQUE.	43
LE REPÉRAGE STÉRÉOTAXIQUE DE JEAN TALAIRACH.	45
REPERAGES EXTERNES.	47
LE REFERENTIEL CALLEUX.	53
INTÉRÊT.	53
LES LIGNES DE BASE ANATOMIQUES.	53
PROJECTION DU REFERENTIEL DE TALAIRACH SUR LE REFERENTIEL CALLEUX.	54
1. Introduction.	54
2. Matériels et méthodes.	54
3. Résultats.	55
4. Discussion.	62
5. Conclusion.	63
PROJECTION DES LIGNES CALLEUSES.	64
1. Introduction.	64
2. Matériel et méthodes.	64
2.2.1. Méthodologie de reconstruction manuelle.	64
2.2.2. Méthodologie de reconstruction tridimensionnelle par logiciel informatique.	66
3. Résultats.	67
4. Discussion.	74
5. Conclusion.	76
APPLICATIONS DU REFERENTIEL CALLEUX.	77
CONCLUSION.	80
TABLE DES ILLUSTRATIONS.	82
BIBLIOGRAPHIE.	84

SERMENT D'HIPPOCRATE

En présence des maîtres de cette école, de mes condisciples, je promets et je jure d'être fidèle aux lois de l'honneur et de la probité dans l'exercice de la médecine.

Je donnerai mes soins à l'indigent et n'exigerai jamais un salaire au-dessus de mon travail.

Admis à l'intérieur des maisons, mes yeux ne verront pas ce qui s'y passe ; ma langue taira les secrets qui me seront confiés, et mon état ne servira pas à corrompre les mœurs ni à favoriser les crimes.

Reconnaissant envers mes maîtres, je tiendrai leurs enfants et ceux de mes confrères pour des frères et s'ils devaient entreprendre la Médecine ou recourir à mes soins, je les instruirai et les soignerai sans salaire ni engagement.

Si je remplis ce serment sans l'enfreindre, qu'il me soit donné à jamais de jouir heureusement de la vie et de ma profession, honoré à jamais parmi les hommes. Si je le viole, et que je me parjure, puissè-je avoir un sort contraire.

BON A IMPRIMER N° 44

LE PRÉSIDENT DE LA THÈSE

Vu, le Doyen de la Faculté

VU et PERMIS D'IMPRIMER

LE PRÉSIDENT DE L'UNIVERSITÉ

Résumé : Après un rappel anatomique du corps calleux et de ses variations morphométriques, nous avons utilisé les lignes de base anatomiques calleuses, décrites par A. Olivier, définissant un référentiel de repérage stéréotaxique. Dans un premier temps, nous avons étudié, chez 40 sujets, la projection de la ligne bicommissurale de J. Talairach sur le référentiel calleux. Dans un deuxième temps, nous avons étudié la projection orthogonale dans le plan sagittal de ces lignes sur le cortex hémisphérique et leurs rapports topographiques avec l'aire motrice et le sillon central.

Sur l'étude de 104 hémisphères cérébraux reconstruits en trois dimensions par une méthode manuelle (80 hémisphères) et informatisée (24 hémisphères), il existe une relation étroite entre le cortex cérébral et le corps calleux, par l'intermédiaire de la projection de ces lignes. En effet, les lignes calleuses permettent de repérer dans 99 % des cas l'aire motrice primaire, dans 90 % des cas l'origine apparente du sillon central sur la face externe de l'hémisphère et dans plus de 2/3 des cas la séparation anatomo-fonctionnelle entre l'opercule rolandique (moteur) et l'opercule pariétal (sensitif) par la projection de la ligne médio-calleuse à sa partie inférieure. De ce fait, l'application de ce référentiel calleux trouve un grand intérêt dans la neurochirurgie fonctionnelle, et tout particulièrement dans la chirurgie de l'épilepsie.

Ainsi, l'utilisation des lignes calleuses dans le repérage de l'aire motrice et du sillon central nous est apparue d'une fiabilité supérieure au référentiel diencephalique de Talairach.

Mots clés : corps calleux, lignes calleuses, stéréotaxie (repérage), aire motrice, sulcus centralis, neurochirurgie, neuroradiologie.
