

# INTÉRÊT DES STIMULATIONS ÉLECTRIQUES CORTICALES ET SOUS CORTICALES DIRECTES PER OPÉRATOIRES DANS LA CHIRURGIE DES GLIOMES PROCHES DES ZONES HAUTEMENT FONCTIONNELLES

TIKANOUINE A, BENMEBAREK N.Y, MOHAMED-SAHNOUN O,  
MOULLA I, ABDENNEBI B.

*Service de Neurochirurgie  
EHS Salim Z'mirli, Alger*

**RÉSUMÉ:** La cartographie cérébrale des zones hautement fonctionnelles par stimulation corticale directe est depuis les années 1980 une méthode fiable et précise permettant de reconnaître en per opératoire et en temps réel les zones cérébrales à préserver à tout prix, de sorte à réaliser une exérèse de gliome maximale, seule garante d'un taux de récurrence limité. Nous rapportons notre expérience des stimulations corticales et sous corticales directes (SCD) dans le cas de la chirurgie des gliomes proches des zones éloquentes, à partir d'une série consécutive de 69 patients opérés de mai 2006 à juin 2010. Ces 69 patients étaient répartis en 50 hommes et 19 femmes, dont l'âge moyen est de 40,57 ans. Le symptôme révélateur était l'épilepsie dans 54 cas (78,26 %), un syndrome d'hypertension intracrânienne isolé dans 09 cas (13,04 %) et associé à un déficit neurologique dans 06 cas (8,69 %). L'IRM cérébrale morphologique a objectivé l'existence d'une tumeur évoquant fortement et dans tous les cas un gliome, jouxtant une aire éloquente motricite, somatosensorielle et/ou du langage, indiquant par conséquent l'utilisation des SCD. Tous les patients ont bénéficié d'une chirurgie d'exérèse sous SCD, en réalisant une cartographie sous anesthésie générale chez 43 patients (62,31 %) et un protocole éveillé chez les 26 autres patients (37,68 %). L'exérèse a été subtotale chez 49 patients (71,01 %), large dans 13 cas (18,84 %), partielle dans 05 cas (07,24 %) et simple biopsie dans 02 cas (02,89 %). Un déficit neurologique transitoire en post opératoire immédiat a été observé chez 43 patients (62,31 %) qui ont finalement récupéré entre le 7<sup>e</sup> et le 33<sup>e</sup> jour post opératoire, alors que pour 06 patients (08,69 %) cette récupération a été incomplète voire nulle. On déplore 03 décès dont 01 durant l'intervention. Sur le plan de l'histopathologie, il s'agissait dans tous les cas de gliomes infiltrants de grade II à IV. Ont été exclus de l'étude les métastases cérébrales (03 cas), les méningiomes transitionnels (02 cas), tuberculome (01 cas), ce qui porte à 75 le nombre total de patients opérés sous SCD.

**Mots clés :** *Gliome, Stimulation corticale, Cartographie cérébrale.*

**ABSTRACT:** Applied since the early eighties, cerebral mapping of highly functional areas with Direct Cortical Stimulation (DCS) is a reliable and a precise method in determining, per operatively and on real time, cerebral areas to be preserved. Thus, the gliomas removal is maximal, resulting in a reduced rate of recurrence. We report our experience of DCS in surgery of gliomas close to eloquent areas, from a consecutive series of 69 patients, operated from May 2006 to June 2010. Among the 69 patients, there were 50 men, 19 women, with a mean age 40,57 years. The revealing symptom was epilepsy in 54 cases (78,26 %), a syndrome of isolated intra cranial hyperpressure (ICH) in 09 cases (13,04 %), a syndrome of ICH with neurological deficit in 06 cases (8,69 %). The morphological brain MRI shows the existence of a tumor highly suggestive of a glioma close to eloquent motor, somatosensorial or language areas and thus indicating the use of DCS. In terms of histopathology, all cases were invasive gliomas grade II to IV. Were excluded from the study brain metastasis (03 cases) transitional meningiomas (02 cases), tuberculoma (01 case), bringing the number to 75. All patients underwent resective surgery, using the DCS in making a mapping under general anesthesia, in 43 patients (62,31 %) and an «awake patient» protocol in 26 cases (37,68 %). The removal was subtotal in 49 patients (71,01 %), large in 13 cases (18,84 %), partial in 05 cases (07,24 %) and simple biopsy in 02 cases (02,89 %). A transient neurological deficit immediately after surgery was observed in 43 patients (62,31 %) who recovered between 7 and 33 days postoperatively, whereas for 06 patients (08,69 %) recovery was incomplete or a absent. We deplore 03 deaths, including 01 during the gesture.

**Key words :** *Glioma, Cortical stimulation, Brain mapping*

## INTRODUCTION

Les indications neurochirurgicales des gliomes proches des zones éloquentes dépendent directement du risque d'engendrer un déficit neurologique définitif, rapporté au bénéfice de l'exérèse. L'exérèse chirurgicale incomplète des gliomes infiltrants est considérée de nos jours comme le facteur le plus décisif influençant le taux de récives et par conséquent à terme le pronostic vital. Pour que cette chirurgie soit réellement bénéfique, nous partons du postulat qu'elle doit être extensive, à savoir englobant la tumeur et aller jusqu'aux limites des structures neurologiques fonctionnelles et vitales. Pour cela, plusieurs méthodes de cartographie cérébrales se sont développées, à la fois non invasives via l'imagerie, mais également en per opératoire via l'utilisation des stimulations électriques directes cortico sous corticales (SCD).

Outre la durée de vie, c'est surtout la qualité de vie de ces patients qui constitue aux yeux de tous les auteurs une condition nécessaire à une chirurgie extensive. Ainsi, le préalable indispensable est le repérage en per opératoire de la lésion ainsi que ses rapports avec les zones hautement fonctionnelles. Il est prouvé que ces zones, bien que définies depuis plusieurs décennies par Brodman, subissent des adaptations chez un individu porteur d'un processus mais aussi qu'il existe une grande variabilité anatomo-fonctionnelle inter individuelle.

Nous rapportons notre expérience dans la pratique des SCD dans la chirurgie des gliomes infiltrants à partir d'une série de 69 patients. A noter que 02 patients ont été opérés à l'hôpital Ibn Rochd d'Annaba et que 03 autres l'ont été à l'hôpital Frantz Fanon de Blida.

## PATIENTS ET MÉTHODE

### CRITÈRES DE SÉLECTION DES PATIENTS

Ont été retenus les patients qui présentaient une lésion cérébrale jouxtant une aire de la motricité, de la sensibilité et/ou du langage ainsi que les aires dites associatives frontale antérieure ou du carrefour pariéto temporal.

### CRITÈRES D'EXCLUSION

ont été écartés de cette étude :

- Les enfants de moins de 15 ans car d'une part les réponses motrices peuvent être aléatoires chez ceux de moins de 02 ans et

que d'autre part aucune adhésion ne peut être espérée dans le cas où le geste doit se faire en protocole vigile. En pratique, cette limite a été repoussée jusqu'à 20 ans dans notre étude.

- Les patients présentant un indice de Karnofsky inférieur à 90, et ceux ayant un déficit total surtout s'il ne s'améliore par sous traitement notamment corticoïde.

### TECHNIQUE DE CARTOGRAPHIE

Cette méthode consiste à appliquer directement sur le cortex cérébral mais aussi en sous cortical sur les faisceaux de conduction une sonde bipolaire délivrant un courant rectangulaire à impulsion biphasique et à des intensités non délétères. La durée de l'impulsion est de 01 ms (modulable). La fréquence de l'impulsion de 50 Hz (modulable) et l'intensité de la stimulation varie de 01 à 18 mA. La durée de la stimulation est de 01 sec pour obtenir une action, elle sera de 04 secondes pour arrêter ou supprimer une action.

Cette technique peut être effectuée soit sous anesthésie générale, soit protocole malade éveille. Elle impose des précautions et des impératifs :

- Les SCD peuvent être réalisés sous AG pour le repérage des aires motrices primaires et prémotrices à condition de ne pas utiliser de curare pendant l'intubation ou bien, si cela est indispensable, être en mesure de décurariser le patient avant toute stimulation et de réaliser un contrôle EMG du nerf médian controlatéral à la lésion afin de s'assurer que la motricité est parfaitement rétablie. Sous AG, l'intensité de la stimulation débute au minimum à 04 mA et doit augmenter par paliers de 01 mA progressivement jusqu'à obtenir une réponse motrice controlatérale. La réponse se fait par contraction d'un groupe musculaire au membre supérieur, au membre inférieur et à la face (difficulté parfois due à l'intubation). Il peut survenir des crises tonico-cloniques (13 % dans notre série) qui dans tous les cas régressent sous irrigation du cortex par du sérum salé froid. Il a été rapporté la nécessité d'utiliser parfois du Rivotril voire d'interrompre le protocole en recurarisant le patient.

- Les SCD peuvent être réalisées en protocole de patient éveillé et ce avec un premier temps de prémédication au Propofol et anesthésie locale du scalp afin de réaliser l'exposition jusqu'à la dure-mère qui elle

aussi est infiltrée avant son ouverture permettant l'exposition du cortex. Le patient, n'étant pas sous intubation oro-trachéale, se réveille au bout de 01 à 07 minutes après arrêt du propofol et pourra, après une courte période d'adaptation marquée par une certaine désorientation, parfaitement coopérer, parler et réaliser toutes les tâches verbales et mentales préalablement testées avant l'intervention. Au mieux, l'AIVOC est utilisée. Pour un protocole vigile, les stimulations électriques seront de moindre intensité au départ, à 01 mA, et augmenteront de paliers de 0,5 à 01 mA selon les possibilités du générateur. Enfin, ce protocole nécessite la présence d'un orthophoniste aguerri ainsi que d'un psychologue.

- Dans les deux protocoles, outre les crises comitiales, il faut craindre essentiellement les faux négatifs. En effet, la hantise est de déclarer une zone non fonctionnelle, donc résécable, alors qu'elle possède une fonction ; ainsi il a été rapporté des zones dites muettes surtout quand le protocole est trop rapidement réalisé, que les paliers d'augmentation d'intensité ne sont pas respectés ou que le patient est fatigué. En outre, il ne faut jamais déclarer une zone non fonctionnelle avant d'avoir obtenu une réponse positive dans une zone qui lui est contiguë prouvant ainsi la bonne conduite de la méthode.

- Dans le protocole vigile il faut savoir qu'il est possible d'administrer du mannitol afin d'obtenir une bonne déplétion cérébrale. Dans notre série nous avons eu 02 cas de turgescence cérébrale qui ont pu être contrôlés sans annuler la suite du protocole.

- Le processus doit être parfaitement repéré et délimité en per opératoire et ce, afin de connaître ses rapports avec les zones hautement fonctionnelles qui lui sont proches, cela aussi bien en zone corticale qu'en sous corticale. Cette délimitation peut s'effectuer à l'aide de la neuronavigation et ce grâce aux données recueillies avant l'intervention. L'échographie cérébrale per opératoire est cependant celle qui est la plus répandue et utilisée, car c'est elle qui donne les limites tumorales en temps réel et qui permet en outre de suivre l'exérèse pas à pas, bien que souffrant de quelques imprécisions.

## ANALYSE DE LA SÉRIE

### CHOIX DES PATIENTS

La série comporte 69 patients ayant tous subi un examen neurologique minutieux avec tests adaptés pour la fonction à étudier, ainsi qu'une exploration EEG et une IRM morphologique. Nous n'avons retenu pour l'étude que les patients qui a posteriori présentaient à l'examen histopathologique un processus de nature gliale de différent grading, et ont été exclus les métastases, les méningiomes et certaines infections spécifiques du système nerveux central.

De mai 2006 à mars 2009, seules les cartographies sous AG ont pu être réalisées et ce pour insuffisance technique. A partir de mars 2009, le protocole patient éveillé a été mis en place totalisant 26 patients traités.

Concernant la notion de dominance, de nos jours c'est l'IRM fonctionnelle qui permet de montrer les aires du langage, leur rapport avec le processus et déterminer l'hémisphère majeur. Pour notre série, cette examen n'étant pas de pratique courante, nous considérons que les droitiers sont à dominance gauche, que les gauchers sont à prédominance droite dans 80 % des cas et que les 20 % restants sont à dominance gauche.

### ANALYSE DE LA CLINIQUE

54 patients (78,26 %) ont vu leur tumeur se manifester par de l'épilepsie, ce qui est admissible pour un gliome infiltrant. Le syndrome d'hypertension intra-crânienne isolée retrouvée dans 09 cas (13,04 %) et aussi un mode d'expression fréquent pour ce type de tumeurs. Le déficit neurologique observé unique-ment chez 06 patients (08,69 %) tient au fait que de notre étude ont été exclus les patients ayant déjà un trouble irrécupérable car dans ce cas les SCD perdent de leur intérêt.

### INDICATION DES SCD

En début d'expérience, pour poser l'indication d'une intervention sous protocole vigile, il fallait que la lésion soit à gauche chez un droitier et proche d'une zone du langage supposée. Par la suite nous ne faisons plus la distinction et même l'étude de la motricité se fait en protocole vigile car plus fine et plus facile à obtenir, particulièrement pour la face (opercule rolandique). D'après notre expérience, ce qui

est important est l'aptitude du patient à participer au protocole vigile plutôt que cette notion de dominance. La littérature fait ressortir la nécessité d'un certain niveau intellectuel pour mener à bien un protocole vigile or dans notre série, cela ne s'est pas vérifié puisqu'un échec au protocole avec conversion a été le fait d'un patient cadre supérieur, d'une étudiante et d'un dentiste.

Le reste des patients qui ont parfaitement participé ont un niveau scolaire modeste,

voire primaire. Ce qui importe donc à nos yeux est la préparation du patient et la confiance qu'il porte au médecin.

#### ETUDE ÉPIDÉMIOLOGIQUE ET RÉPARTITION

Sur le plan épidémiologique, il s'agissait dans notre série de 50 hommes et 19 femmes avec un âge moyen de 40,57 ans et des extrêmes allant de 18 à 65 ans. Tous étaient porteurs d'un gliome proche d'une zone éloquente (Tab. 1) :

Siège	Nbre	
- Aire motrice primaire droite,	15 cas	droitiers.
- Aire motrice primaire gauche,	15 cas	droitiers.
- Aire sensitive primaire droite,	09 cas	droitiers.
- Aire sensitive primaire gauche,	03 cas	droitiers.
- Opercule rolandique gauche,	09 cas	droitiers.
- Temporo insulaire droit,	03 cas,	2 droitiers et 1 ambidextre.
- Temporo insulaire gauche,	03 cas	droitiers.
- Temporo fronto insulaire droit,	02 cas	droitiers.
- Temporo fronto insulaire gauche,	03 cas,	1 gaucher et 2 droitiers.
- Temporo frontal gauche,	01 cas	droitier.
- Temporal gauche,	01 cas	droitier.
- Frontocalleux gauche,	01 cas	droitier.
- Carrefour pariéto temporal droit,	01 cas	droitier.
- Carrefour pariéto temporal gauche,	01 cas	droitier.
- Central droit à cheval sur l'aire motrice primaire,	01 cas	droitier.
- Central gauche à cheval sur l'aire primaire,	01 cas	droitier.

Tab. 1 : Localisation tumorale

## RÉSULTATS

Les SCD ont permis une identification précise des zones fonctionnelles chez 66 patients sur 69 opérés, alors que chez les 03 restants aucune réponse n'a pu être obtenue.

Le protocole vigile a été réalisé chez 26 patients alors que 45 ont été réalisés sous anesthésie générale.

Lors de la réalisation des stimulations de contrôle en fin d'intervention après l'exérèse tumorale, 06 patients ne présentaient plus de réponse alors que tous les autres continuaient à avoir une réponse normale. Ce sont ces 06 patients qui ont présenté une aggravation de leur état neurologique initial et qui n'ont pas récupéré. Ces échecs sont dus à des faux négatifs ayant entraîné l'exérèse de zones corticales ou sous corticales fonctionnelles.

Chez 49 patients une exérèse totale a été constatée sur l'IRM de contrôle, n'objectivant que des reliquats inférieurs à 10cc de

volume, alors que 13 patients ont eu une exérèse large avec un résidu tumoral supérieur à 10cc.

Les 05 patients qui ont eu une exérèse partielle, voire une biopsie dans 02 cas, avaient des réponses positives dans le périmètre tumoral lui même, ceci pouvant être expliqué soit par l'existence de fonction dans la tumeur ou plus probablement par des intensités de courant trop fortes et une inadéquation des paramètres du courant. Il est important de souligner que dans notre série, chaque fois que l'exérèse a été subtotalaire, sculptant la zone éloquente, un déficit post opératoire immédiat s'est installé mais a toujours fini par régresser dans un délai allant de 07 à 33 jours.

Nous avons eu à déplorer 03 décès :

- Un patient de 50 ans, droitier porteur d'un gliome infiltrant, fronto temporo insulaire gauche, opéré sous protocole vigile et qui en fin de geste, étant sur la région insulaire, a

présenté un trouble de la conscience rapidement progressif. Le protocole a été arrêté, le patient intubé et la TDM de contrôle montra une large plage ischémique.

- Une patiente de 19 ans, droitère, opérée sous AG d'un gliome anaplasique fronto temporo insulaire droit dont la résection a entraîné une lésion de la branche temporale de l'artère sylvienne, à l'origine d'un coma par ischémie étendue et décès au 13<sup>e</sup> jour post opératoire.

- Un patient de 48 ans, droitier, porteur d'un gliome de grade III central gauche, opéré en protocole vigile, et chez lequel une lésion corticale à l'ouverture durale a entraîné une aphasie totale avant tout geste d'exérèse. Le protocole a été interrompu ne permettant qu'une exérèse partielle. Son état de conscience s'est progressivement altéré, avec à la TDM une large plage d'ischémie.

Ainsi, les tumeurs les plus difficiles à opérer sont celles siégeant au niveau de la région temporo insulaire ou fronto temporo insulaire car le geste est lent et le risque de blessure vasculaire réel.

L'analyse des résultats histopathologiques des gliomes de notre série peut prêter à équivoque. En effet, les séries dans la littérature ayant recours aux stimulations corticales directes concernent essentiellement les gliomes infiltrants de grade II dits de «bas grade».

Dans notre série nous retrouvons :

- 07 cas (10,44%) de gliomes de grade II avec calcul du MIB 1 < 04%.
- 33 cas (47,82%) de gliomes de grade II mais avec un MIB 1 > 04 %, donc tumeurs à multiplication rapide et par conséquent considérées comme grade III.
- 12 cas (17,39 %) sont des gliomes avec signes d'anaplasie évidents. 02 cas ont un MIB 1 > 10 % considérés comme grade IV.
- Enfin, les 17 cas restants (27,6 %) sont des glioblastomes polymorphes.

L'immunohistologie apparaît donc comme une technique décisive dans la connaissance du grading histologique mais surtout dans l'histopronostic de la tumeur gliale.

## ILLUSTRATION CLINIQUE

### OBSERVATION N°1

Il s'agissait d'une jeune homme de 28 ans, footballeur, droitier, chez qui le bilan d'une comitativité a objectivé un processus frontal gauche (Fig. 1) avec un examen neurolo-gique normal. Le patient est opéré en protocole éveillé avec exérèse totale, sans troubles neurologiques induits (Fig. 2). L'histopathologie a conclu à un oligo-astrocytome de grade II, un MIB 1 > 04 % le faisant considérer comme étant un grade III nécessitant une radiothérapie. L' évolution à moyen terme est très satisfaisante (Fig. 3).

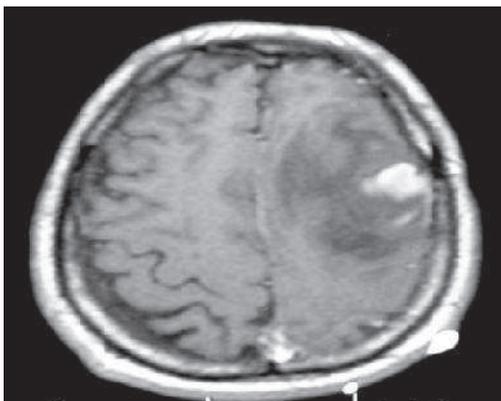


Fig. 1. Coupe IRM cérébrale préopératoire : Lésion frontale gauche en hyposignal T1 avec rehaussement central évoquant un gliome infiltrant de bas grade. Cette lésion refoule la circonvolution frontale ascendante (FA), aire motrice primaire (AMP), en arrière et efface le sillon de Rolando, bien reconnu à droite à sa forme en oméga.



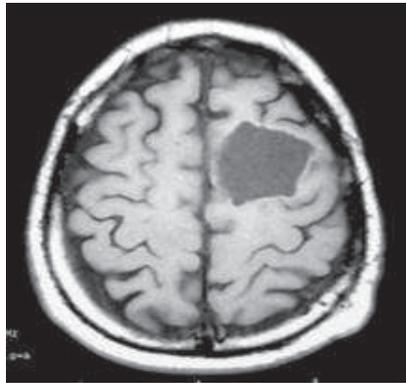
Fig. 2. Photographie per opératoire : la résection tumorale est indiquée par les lettres A, B, C indiquant les contours tumoraux sur le cortex. Les chiffres 4, 6, 7 et 8 indiquent les aires fonctionnelles motrices du bras, de l'avant-bras et de la face. Le chiffre 24 indique le passage en sous cortical du faisceau pyramidal.

**OBSERVATION N° 2**

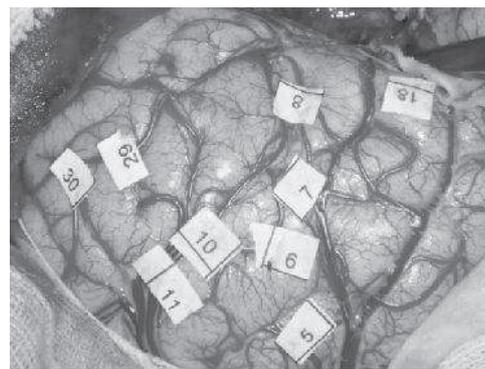
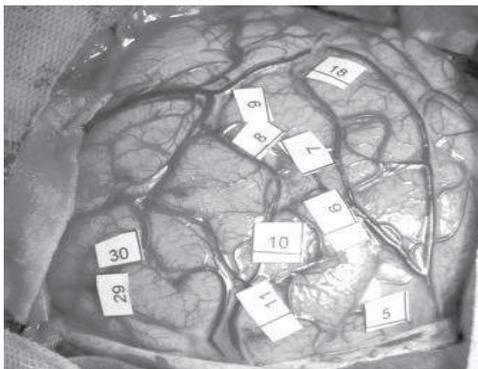
Il s'agissait d'une dame de 62 ans, droitrière, ayant un niveau scolaire moyen et qui, dans le bilan de troubles mnésiques avec ralentissements sans comitialité, on retrouve un volumineux processus fronto temporo insulaire infiltrant le cortex. La patiente

après tests psychologiques est reconnue apte à subir un geste en protocole éveillé (Fig. 4). Elle a été opérée, bénéficiant d'une exérèse large avec reliquat > 10 cc sans troubles neurologiques induits (Fig. 5 et 6).

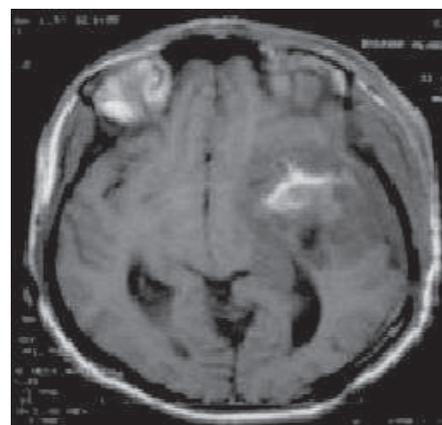
Il s'agissait d'un astrocytome de grade III qui a eu une radiothérapie complémentaire.



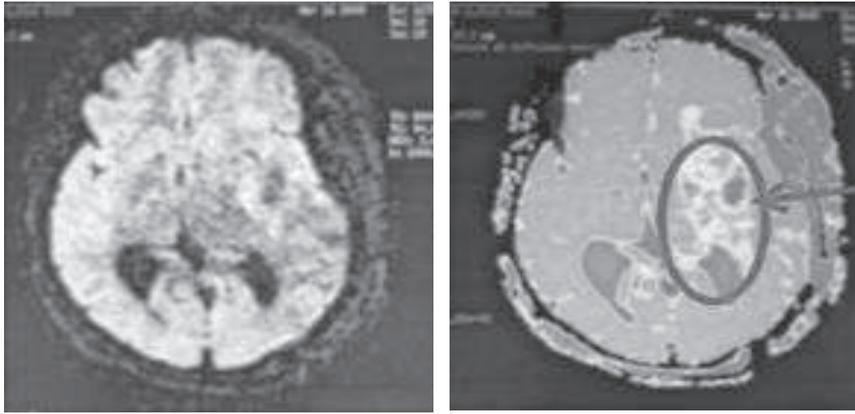
**Fig. 3 : IRM cérébrale en T1 avec contraste, à 14 mois post opératoire**  
 a: Coupe axiale objectivant une cavité porencéphalique frontale gauche sans expansivité. Réapparition à gauche du sillon de Rolando reconnu à sa forme en oméga.  
 b: Coupe sagittale montrant l'absence d'atteinte du corps calleux en profondeur.



**Fig. 4 : Cartographie cérébrale per opératoire**  
 a. Repérage en 5, 6, 7, 8 et 9 les aires motrices primaires de la main, de l'avant-bras, du bras et de la face, en 18 l'aire de Broca, en 11 et 12 les aires dont la stimulation a entraîné une anomie, en 29 et 30 les aires ayant entraîné une jargonophilie.  
 b. Exérèse tumorale débutant par le sillon circulaire frontal et temporal puis par dissection sous piaie a concerné une partie de l'insula tout en préservant le faisceau pyramidal.



**Fig. 5. IRM cérébrale T1 en coupes axiale objectivant en (a) un volumineux processus fronto temporo insulaire gauche et en (b) l'exérèse large sans être totale.**



**Fig. 6. Spectroscopie avec calcul de l'ADC permettant de faire la distinction entre une cavité résiduelle avec saignement et un reliquat tumoral de densité tissulaire.**

### DISCUSSION

A la lumière de cette série, il apparaît que les SCD dans la chirurgie des gliomes infiltrants proches des zones éloquentes est un appoint très intéressant permettant des exérèses carcinologiquement acceptables, tout en préservant une bonne qualité de vie.

Il est important de considérer que le moment d'opérer un gliome infiltrant de grade II, doit être considéré comme décisif dans le pronostic de ces tumeurs. Ainsi de nos jours attendre qu'un élément clinique (épilepsie incontrôlable, déficit) ou à l'imagerie (prise de contraste) viennent prédire d'un passage imminent à l'anaplasie pour poser l'indication opératoire est une attitude à reconsidérer. Seul le Pet Scan montrant un foyer d'hypermétabolisme apporte la certitude que la lésion est en phase active devant être opérée même en l'absence de prise de contraste à l'IRM.

Pour notre part, tout gliome infiltrant de bas grade fini par dégénérer tôt ou tard et il doit par conséquent être opéré dès le diagnostic établi, sauf dans le cas où d'emblée l'imagerie montre une localisation qui ne permettra pas une exérèse subtotale. Dans ce cas de figure, une étude immunohistochimique de biopsie, associée à une étude génétique des délétions 1p19q, peuvent prédire une éventuelle bonne réponse à la chimiothérapie, qui sera alors instituée pour obtenir une diminution de la taille de la tumeur, qui va ainsi s'écarter de la zone fonctionnelle et devenir par conséquent susceptible de bénéficier d'une exérèse extensive.

### CONCLUSION

Les gliomes ont de tout temps été opérés avec des résultats variables en fonction de leur siège et de leur volume.

Les stimulations corticales directes représentent une arme supplémentaire, fiable, facilement reproductible, permettant d'étendre les indications chirurgicales à des gliomes réputés inopérables car susceptibles d'induire inéluctablement un déficit neurologique inacceptable.

### BIBLIOGRAPHIE

- 1] CAMPBELL ALL, BOGEN JE, SMITH A : Disorganization and reorganization of cognitive and sensorimotor functions in cerebral commissurotomy. Compensatory roles of the forebrain commissures and cerebral hemispheres in man. *Brain* 104 : 493-511, 1981
- 2] CARRERAS M, ANDERSSON S : Functional properties of neurons of the anterior ecosylvain gyrus of the cat. *J. Neurophysiol* 26 : 100-106, 1963
- 3] CHAPMAN PH, BUCNBINDER BR, COSGROVE GR, ET AL : Functional magnetic resonance imaging for cortical mapping in pediateric neurosuregery. *Pediatr Neurosurg* 23 :122-126, 1995
- 4] CHOLLET F, DIPIERO V : Wise anatomy of motor recovery after sroke in humans : a study with position emission tomography. *Ann Neurol* 29 :63-71, 1991
- 5] CIRIC I, AMMIRATI M, VICK N, ET AL : Supratentorial gliomas : surgical considérations and immediate postoperative resultats. *Neurosurgery* 21 : 21-26, 1987.

- 6] COHEN L, PASCUAL-LEONE A, HALLET M : Plasticity of cortical motor output organization following deafferentation, cerebral lesion, and skill acquisition, in Devinsky O, Beric A, Dogali M (eds) : *Advantages in Neurology : Electrical and Magnetic Stimulation of the Brain and Spinal Cord*. New York : Raven Press, 1993, pp 187-201.
- 7] CORKIN S, MILNER B, RASMUSSEN T : Effects of different cortical exercises on sensory thresholds in man. *Trans Am Neurol Assoc* 89 : 112-116, 1964
- 8] COTKIN S, MILNER B, RASMUSSEN T : Somatosensory thresholds : contrasting effects of postcentral gyrus and posterior parietal-lobe mechanisms. *Arch Neurol* 23 : 41-58, 1970
- 9] DAUMAS-DUPORT C, SCHEITHAUER BW, KELLY PJ : A histologic and cytologic and method for the spatial definition of gliomas. *Mayo Clin Proc* 62 : 435, 1987
- 10] DINNER DS, LUDERS H, MORRIS HM, ET AL : Agraphia without apraxia in Broca's area : electrical stimulation study. *Electroencephalogr clin Neurophysiol* 58 : 34P, 1984
- 11] DODRILL CB : A neuro psychological battery for epilepsy. *Epilepsia* 19 : 611-623, 1978
- 12] DODRILL CB : Preoperative criteria for identifying eloquent brain : intracarotid Amytal for language and memory testing. *Neurosurg Clin North Am* 4 : 211-216, 1993
- 13] DODRILL CB, OJEMANN GA : An exploratory comparison of three methods of memory assessment with the intracarotid Amobarbital procedure. *Rain and Cognition*. In press.
- 14] DUCHOWNY M, JAKAYAR P : Functional cortical mapping in children, in Devinsky O, Beric A, Dogali M(eds) : *Adances in Neurology : Electrical and Magnetic Stimulation of the Brain and the Spinal Cord*. New York : Raven Press. 1993, pp 149-155
- 15] DUVALDESTIN P : Diprivan et epilepsie. *Ann Fr Anesth Réanim* 13 : 805-809, 1993
- 16] EBRAHIM ZY, SCHUBERT A, VAN NESS P, ET AL : The effect of propofol on the electroencephalogram of patient with epilepsy. *J. Neurosurg Anesth* 4 : 323, 1992
- 17] FEBERT A, PRIORI A, ROTHWELL JC, ET AL : trans-callosal effects on motor cortical excitability in man. *J Neurophysiol* 429 : 388,1990
- 18] FISHER CM : Concerning the mechanisms of recovery in infarct hemiplegia. *Can J. Neurol Sci* 19 : 57 93, 1992
- 19] FOESTER O : The cerebral cortex of man, *Lancet* 2 : 309-312, 1931
- 20] FOX PT, BURTON H, RAICHLE ME : Mapping Human somatosensory cortex with position emission tomography, *J. Neurosurg* 67 : 34-43, 1987
- 21] FRIED I, NENOV V, OJEMANN SG ET AL : functional MR and PET imaging of rolandic and visual cortices for neurosurgical planning, *J. Neurosurg* 83 : 854-861, 1995
- 22] FRITSH G, HITZIG E : Ueber die elektrische erregbarkeit des grosshirns. *Arch Anat Physiol* 37 : 300 332, 1870
- 23] GALLEN CC, SOBEL DF, WALTZ ET AL Non invasive pre-surgical neuromagnetic mapping of the somatosensory cortex. *Neurosurgery* 33 : 260-268, 1993
- 24] GALLEN CC, SCHWARTZ B, REIKE K : Intrasubject reliability and validity of somasensory source localization using a large array biomagnetometer. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 90 : 145-156, 1994
- 25] GOLDRING S : A method for surgical management of focal epilepsy, especially as it relates to children. *J. Neurosuring* 49 : 344-356, 1978
- 26] GOLDRING S, GREGORIE EM : Surgical management of epilepsy using epidural recordings to localize the seizure focus. *J. Neurosurg* 60 : 457-466, 1984
- 27] GREGORIE EM , GOLDRING S : Localization of function in the excision of lesions from the sensorimotor region. *J. Neurosurg* 61 : 1047 1054, 1984

- 28] HAGLUND MM, BERGER MS, KUNKELL DD, ET AL : Changes in Gamma-aminobutyric acid and somatostatin in epileptic cortex associated with low-grade gliomas. *J. Neurosurg* 77 :209-216, 1992
- 29] HAGLUND MM, OJEMANN GA, BLASED GG : Optical imaging of bipolar cortical stimulation. *J. Neurosurg* 78 : 785-793, 1993
- 30] HAGLUND MM, BERGER MS, SHAMSELDIN M, ET AL : Cortical localization of temporal lobe language sites in patients with gliomas. *Neurosurgery* 34 : 567-576, 1994
- 31] HARI R, HAMALINEN M, KAUKORANA E, ET AL : Neuromagnetic responses from the second somatosensory cortex in man. *Acta Neurol Scand* 68 :207-212, 1983
- 32] HARI R, HAMALINEN H, HAMALINEN M, ET AL : Separate finger representations at the human second somatosensory cortex. *Neuroscience* 37 :247-249, 1990
- 33] HINZ AC, BERGER MS, OJEMANN GA, ET AL : The utility of the intracarotid Amytal procedure in determining hemisphere speech localization in pediatric epilepsy patients undergoing surgery. *Child's Nerv Syst* 10 :239-243, 1994
- 34] IWASAKI S, NAKAGAWA H, FUKUSUMI A, ET AL : Identification of the pre- and postcentral gyri on CT and MR images on the basis of the medullary pattern of cerebral white matter. *Radiology* 179 : 207-213, 1991
- 35] JACK CR, THOMPSON RM, BUTTS RK, ET AL : Sensory motor cortex : correlation of presurgical mapping with functional MR imaging and invasive cortical mapping. *Neuroradiology* 190 : 85-92, 1994
- 36] JAKAYER P, ALVARES LA, DUCHOWNY MS, ET AL : A safe and effective paradigm to functionally map the cortex in childhood. *J. Clin. Neurophysiol* 9 : 288-293, 1992
- 37] KAMADA K, FUMIYA T, KURIKI : Functional neurosurgical stimulation with brain surface magnetic resonance image and magnetoencephalography. *Neurosurgery* 33 : 269-273, 1993
- 38] KELLY PJ, DAUMAS-DUPOURT C, KISPERS DB, ET AL : Imaging-based stereotaxic serial biopsies in untreated intracranial glial neoplasms. *J. Neurosurg* 66 : 865, 1987
- 39] KIM SG, ASHE J, GEORGOPOULOS AP : Functional imaging of human motor cortex at high magnetic field. *J. Neurophysiol* 69 : 297-302, 1993
- 40] KING RB, SCHELL GR : Cortical localization and monitoring during cerebral operations. *J. Neurosurg* 67 : 210-219, 1987
- 41] KWONG KK, BELLIVEAU JW, CHESLER DA, ET AL : Dynamic magnetic resonance imaging of human brain activity during primary stimulation. *Proc Natl Acad Sci Neurobiol* 89: 5675-5679, 1992
- 42] LAWS ER, TAYLOR WF, CLIFTON MP, ET AL : Neurosurgical management of low-grade astrocytoma of the cerebral hemispheres. *J Neurosurg* 61 : 665-673, 1984
- 43] LEMON RN, PORTER R : Afferent input to movement-related precentral neurones in conscious monkeys. *Proc Roy Soc Lond B* 194 313-339, 1976
- 44] LEMON RN, VAN DER BURG J : Short-latency peripheral inputs to thalamic neurones projecting to the motor cortex in the monkey. *Exp Brain Res* 36 :445-462, 1979
- 45] LEROUX PD, BERGER MS, OJEMANN GA, ET AL : Correlation of intraoperative ultrasound tumor volumes and margins with preoperative computerized tomography scans. An intraoperative method to enhance tumor resection. *J. Neurosurg* 71 :691-698, 1989
- 46] LEROUX PD, BERGER MS, HAGLUND MM, ET AL : Resection of intrinsic tumors from nondominant face motor cortex using stimulation mapping : report of 2 cases. *Surg Neurol* 91, 36 :44-48,
- 47] LEROUX PD, BERGER MS, WANG K : Low grade gliomas : comparison of intraoperative ultrasound characteristics with preoperative imaging studies. *J. Neurooncol* 13 :189-198, 1992
- 48] LEROUX PD, WINTER TC, BERGER MS : A comparison between preoperative magnetic resonance ultrasound tumor

- volumes and margins. *J. Clin Ultrasound* 22 : 29-36, 1994
- 49] LESSER RP, LUEDERS H, DINNER DS, ET AL, : The location of speed and writing functions in the frontal language area. *Brain* 107 : 275-291, 1984
- 50] LEWINE JD, ASTUR RS, DAVIS LE, ET AL : Cortical organization in the adulthood is modified by neonatal infarct : a case study. *Radiology* 190 93-96, 1994
- 51] LUDERS H, LESSER RP, HAHN J : Cortical somatosensory evoked potential
- 52] LUDERS H, LESSER, DINNER DS, ET AL : The second sensory area in humans : evoked potential and electrical stimulation studies. *Ann Neurol* 17 :177-184 ; 1985
- 53] MAMELAK A, BARBARO NM, WALKER JA : Corpus callosotomy a quantitative study of the extent of resection, seizure control, and neuropsychological outcome. *J. Neurosurg* 79 : 688-695, 1993
- 54] MOGILNER A, GROSSMAN JAI, RIBARY U : Somatosensory cortical plasticity in adults humans revealed by magnetoencephalography 34 : 930-934, 1994
- 55] MORRELL F, WALTER WW, BLECK TP : Multiple subpial transection : a new approach to the surgical treatment of focal epilepsy. *J. Neurosurg* 700 :231-239, 1989
- 56] MORRIS HH, LUDERS H, LESSER RP, ET AL : Transient neuropsychological abnormalities (including Gertmann's syndrome) during cortical stimulation. *Neurology* 34 : 877-883, 1984
- 57] NAIDICH TP : MR imaging of brain surface anatomy. *Neuroradiology* 72 : 383-387, 1991
- 58] NGUYEN HN : Réveil après anesthésie au Diprivan. *Ann Fr Anesth Réanim* 13 :519-523, 1994
- 59] NYBERG G, ANDERSON J, ANTONI G : Activation PET scanning in pretreatment evaluation of patients with cerebral tumors or vascular lesions in or close to the sensorimotor cortex. *Acta Neurochir (Wien)* 138 : 684-694, 1996
- 60] OGAWA S, TANK DW, MENON : Intrinsic signal changes accompanying sensory stimulation : functional brain mapping with magnetic resonance imaging. *Natl Acad Sci USA* 89 :5951-5955, 1992
- 61] OJEMANN GA, WHITAKER HA : The bilingual brain. *Arch Neurol* 35 409-412, 1978
- 62] OJEMANN GA : Brain organization for language from the perspective of electrical stimulation mapping. *Behav Brain Sci* 6 : 189-230, 1983
- 63] OJEMANN GA, DODRILL CB : verbal memory deficits after left temporal lobectomy for epilepsy. *J. Neurosurg* 62 :101-107, 1985
- 64] OJEMANN GA, DODRILL CB : Intraoperative techniques for reducing language and memory deficits with left temporal lobectomy. In : *Avances in epileptology*, Vol 16, Wolf
- 65] OJEMANN GA, CREUTZFELD O, LETTICH E, et al : Neuronal activity in human lateral temporal cortex related to short-term verbal memory, naming and reading. *Brain* 111 :1383-1403, 1988
- 66] OJEMANN GA, OJEMANN JG, LETTICH E et al : Cortical language localization in left, dominant hemisphere. An electrical stimulation mapping investigation in 117 patients. *J. Neurosurg* 71 :316-326, 1989
- 67] OJEMANN GA : Some brain mechanisms for reading. In : *Brain and Reading*. Von Euler C, Lundberg I, Lennerstrand G(eds). New York : Macmillan, pp47-59, 1989
- 68] OJEMANN GA : Organization of language cortex derived from investigations during neurosurgery. *Semin Neurosci* 2 :297-305, 1990
- 69] OJEMANN JG, MILLER JW, Silbergeld DL : Preserved function in brain involved by tumor. *Neurosurgery* 39 :253-259, 1996
- 70] PARKER F, DUFFAU H, TZOURIO N, et al : Etude pre- et postopératoire en tomographie par émission de positons dans un cas de cavernome rolandique. *Société de Neurochirurgie de Langue Française*, Paris, 1993 (Abstract)
- 71] PAUSE M, KUNESCH E, BINKOFSKI F, et al : Sensorimotor disturbances in patients with lesions of the parietal cortex. *Brain* 112 : 1599-1625, 1989