

De la mesure à la robotique

Recherches médicales et scientifiques

au Centre Hospitalier Universitaire de Grenoble – 1960 -2000

Ce document est disponible dans la collection de l'ACONIT, Association pour un conservatoire de l'informatique et de la télématique, Grenoble. Il a été mis à disposition sur la Base de Données du Patrimoine Scientifique et Technique PSTC-Rhône-Alpes-sud, fiche n°731.

Cette Fiche a été versée sur la Base de Données de la mission nationale PATSTEC du Patrimoine Scientifique et Technique, sous le numéro d'inventaire ACONIT/PSTC n° 731.

Le document est un texte imprimé en couleur de 93 pages, avec de très nombreuses photos.
De couleur orange, il est de format 24 cm, 17 cm, pour 5 mm d'épaisseur.

Ce document est une réalisation de l'association du Musée grenoblois des Sciences Médicales, et a été publié à l'occasion d'une exposition présentée à Grenoble de février à octobre 2007.

Cette exposition visait à susciter de l'intérêt pour les grandes découvertes de la recherche médicale grenobloise dans les domaines des explorations et des thérapeutiques des malades.

L'objectif du document est d'apporter des éléments concrets témoignant de la participation des équipes scientifiques et médicales de Grenoble à cette aventure médicale au service de l'Homme.

Le document présente :

- Les témoignages des décisionnaires qui ont porté cette aventure : Jean Perret, Président de l'Association du Musée grenoblois des sciences médicales ; Jean Debeaupuis, Directeur général du Centre Hospitalier Universitaire de Grenoble (CHU-G) ; Professeur Michel Soutif, Président de l'Université scientifique et médicale Grenoble I, de 1971 à 1976 ; Michel Destot, ancien Maire de Grenoble, Président du Conseil d'administration du CHU de Grenoble ; Jean Therme, Directeur général du CEA de Grenoble ; Corinne Mestais, responsable du programme Technologie pour la santé au CEA de Grenoble.
- Trois grands chapitres : La mesure ; L'imagerie ; L'informatique
 - La mesure : pour le recueil de signaux physiques d'origine physiologique humaine, leur enregistrement, leur mesure et leur analyse.
 - L'imagerie : Après plus d'un demi-siècle de radiographies par rayons-X arrivent les nouvelles possibilités, avec en particulier les « scanners » et l'IRM.
 - L'informatique : DOSTAM (Dossier statistique de l'activité médicale) ; SIHI (Système d'information hospitalier intégré) ; la GMCAO (Gestes médico-chirurgicaux assistés par ordinateurs) ; la modélisation mathématique ; la stimulation cérébrale profonde et la robotique neurochirurgicale ; l'analyse microscopique cellulaire

Le présent PDF fournit, dans les pages suivantes, une copie de l'article « Benabid » du chapitre 03-5 (pages 77 à 84)

Histoire grenobloise de la découverte de la simulation cérébrale profonde et du développement de la robotique neurochirurgicale

D'autres fichiers PDF dans la présente fiche documentaire ACONIT/PSTC donnent des extraits d'autres chapitres de ce document.

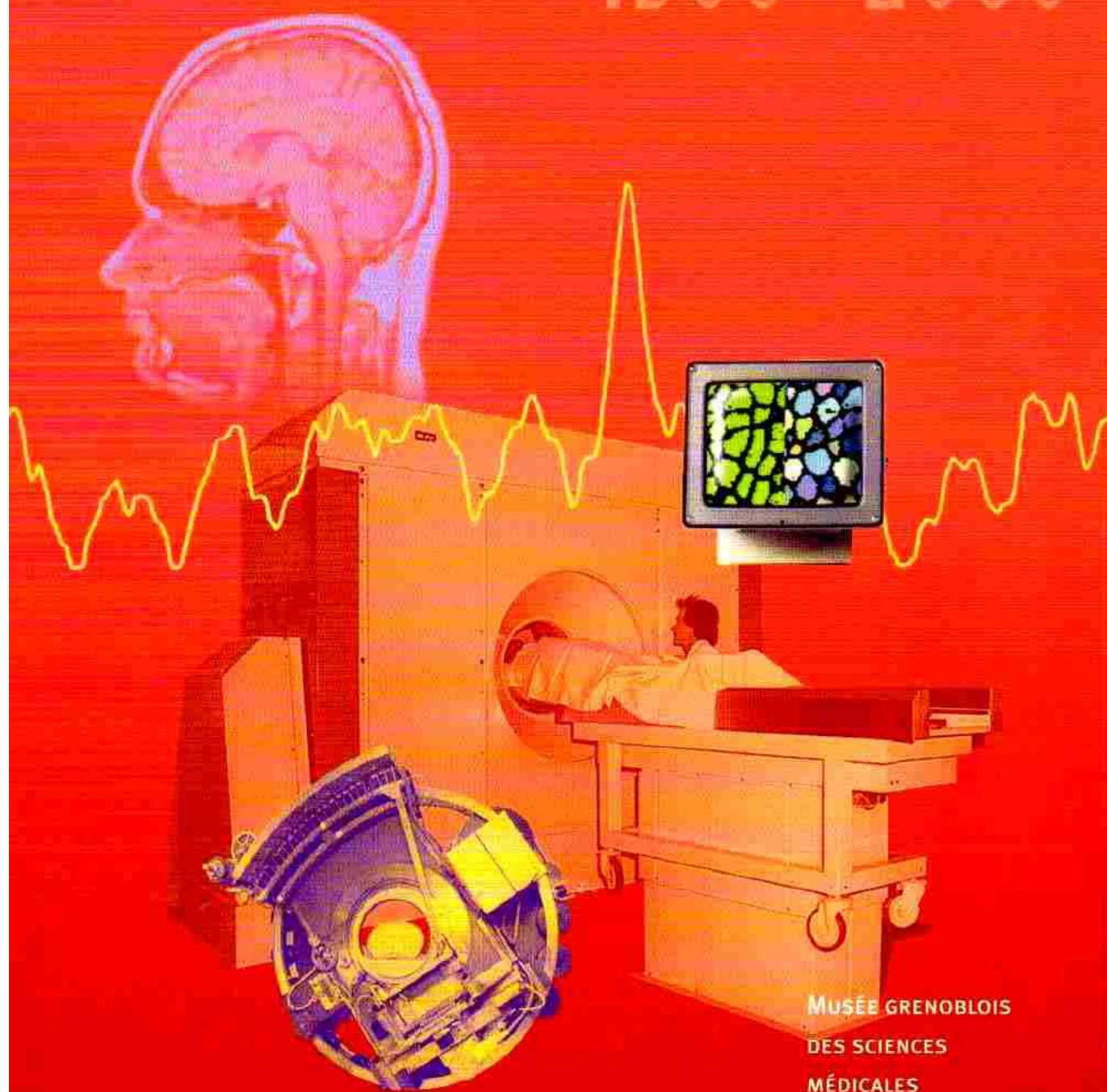
Pour utiliser cet article, mentionnez le Musée grenoblois des sciences médicales, ainsi que la Base de Données Aconit.org, section PSTC n° 731.

Il est rappelé que la loi sur les droits d'auteur n'autorise que les reproductions partielles de documents à titre individuel et pour des motifs de recherche.

De la mesure à la robotique

recherches médicales et scientifiques
au Centre Hospitalier Universitaire de Grenoble

1960-2000



MUSÉE GRENOBLOIS
DES SCIENCES
MÉDICALES



L'informatique

Dans les années soixante, les chercheurs s'associent aux médecins pour concevoir le dossier médical et l'informatiser. Le succès du programme DOSTAM, initié à Grenoble, contribue au développement de l'activité informatique au sein du CHU. L'intérêt porté au dossier médical génère d'autres applications informatiques tels la gestion hospitalière, les gestes médico-chirurgicaux assistés par ordinateurs (GMCAO) ou la reconnaissance de formes cellulaires. Dès 1982, l'informatique est une discipline enseignée statutairement à la faculté de médecine.

La salle des machines du CRIH,
hôpital de La Tronche, CHU de Grenoble.
Cliché paru dans *L'Hospitalier*, 1981.

9	<i>Éditorial</i> Jean Perret
10	<i>Préface</i> Jean Debeaupuis
13	<i>Avant-propos</i> Michel Soutif
14	<i>Avant-propos</i> Michel Destot
17	<i>Introduction</i> Roger Sarrazin
19	01 LA MESURE
20	La rhéographie : l'exploration des artères
23	La rhéopléthysmographie occlusive : l'exploration de la fonction veineuse
26	La microcirculation et la capillaroscopie
28	La mesure de l'activité électromagnétique du cœur ou magnétocardiographie
30	Les mesures à distance par matériel implanté
33	02 L'IMAGERIE
34	L'histoire du premier scanner français « corps entier » à Grenoble
45	L'histoire du développement de l'IRM au CHU de Grenoble
51	03 L'INFORMATIQUE
52	Le Dostam : l'informatique au service des malades, à Grenoble dès 1969
58	L'informatique au service de la recherche
62	Les GMCAO : des premiers balbutiements à la surgétique
73	Les temps du « Vax »
77	Histoire grenobloise de la découverte de la stimulation cérébrale profonde et du développement de la robotique neurochirurgicale
85	Des cellules sous l'œil des machines : les grenoblois innovent
91	<i>Conclusion</i>
93	<i>Postface</i> Jean Therme et Corinne Mestais

→ Edgar Morin disait, dans son *Journal de Californie*, « le génie est venu du manque ». Si l'on entend « génie » au sens du génie civil, on peut en effet constater que les petites difficultés rencontrées dans l'exécution de gestes quotidiens sont souvent à l'origine d'une innovation technologique destinée à les contourner.

Le besoin, le hasard et la sérendipité

Dans les années 1960, la chirurgie stéréotaxique des mouvements anormaux subissait un déclin certain, essentiellement lié à l'existence des complications observées à la suite des lésions pratiquées dans les noyaux gris centraux, d'autant plus fréquentes et importantes que la chirurgie était bilatérale, et aggravées par le fait que les déficits ainsi créés étaient la plupart du temps irréversibles.

L'apparition du traitement par la levodopa, sa remarquable efficacité, l'adaptabilité des doses en fonction des besoins ont porté le coup de grâce à cette chirurgie qui tomba pratiquement dans l'oubli.

Histoire grenobloise de la découverte de la stimulation cérébrale profonde et du développement de la robotique neurochirurgicale

ALIM-LOUIS BENABID

Au bout de quelques années, l'apparition des complications médicales du traitement par la levodopa, c'est-à-dire les mouvements anormaux choréo-athétosiques, involontaires et très invalidants, a conduit les neurologues à se retourner à nouveau vers les neurochirurgiens en leur demandant de pratiquer dans certaines circonstances cette neurochirurgie fonctionnelle, qui avait quand même fait la preuve de son utilité. Néanmoins devant l'efficacité et le peu de complications, par ailleurs réversibles, du traitement dopaminergique, le traitement chirurgical se devait d'évoluer vers des solutions minimisant le risque chirurgical, si elles ne pouvaient complètement l'éliminer. L'observation fortuite, en 1987, des effets de la stimulation à haute fréquence (au-dessus de 100 Hz) au cours de thalamotomies que j'avais été ainsi amené à refaire, stimulation que je pratiquais à des fins exploratoires permettant de préciser la cible où la lésion devait être effectuée, m'a fourni une alternative adaptable et réversible au traitement chirurgical lésionnel qui était alors le seul disponible. Cette découverte grenobloise est à la base de la renaissance de la neurochirurgie stéréotaxique fonctionnelle des mouvements anormaux. Elle a prouvé son efficacité et sa très faible morbidité même dans les cas, fréquents, où cette chirurgie devait être pratiquée bilatéralement.

De la preuve du concept à son application thérapeutique élargie.

La constatation chez environ 150 malades de la validité de cette approche par stimulation thalamique pour traiter les tremblements (tremblement essentiel, tremblement de repos de la maladie de Parkinson, tremblement de la sclérose en plaques) a permis, en 1993, l'application à Grenoble de cette technique chirurgicale sur une cible suggérée par les résultats de la recherche fondamentale, le noyau subthalamique. L'utilisation de cette cible, à la différence du noyau ventral intermédiaire (VIM) du thalamus qui n'est efficace que sur le tremblement, était capable d'atténuer les trois symptômes cardinaux de la maladie de Parkinson, c'est-à-dire le tremblement, l'akinésie et la rigidité. Au cours des 10 ans qui ont suivi, cette cible a démontré son étonnante capacité à contrôler les symptômes de la maladie et a donné un élan nouveau à la renaissance de la neurochirurgie fonctionnelle au niveau mondial.

Dans le domaine des mouvements anormaux, le pallidum s'est ajouté au thalamus et au noyau subthalamique pour constituer un éventail de cibles adaptables à diverses circonstances (le thalamus pour le tremblement, le pallidum pour les dyskinésies induites par la levodopa, même si le noyau subthalamique reste la cible



78 Implantation d'électrodes dans le pallidum et dans le noyau subthalamique chez un malade dystonique.

antérieurs du thalamus, les noyaux intralaminaires tel que le centre médian parafasciculaire), ou aux algies vasculaires de la face en ciblant l'hypothalamus postérieur (à la suite d'une belle extrapolation à la thérapeutique, par l'équipe de Gianni Broggi à Milan, des données de l'imagerie fonctionnelle dans cette maladie) en se fondant encore sur la flexibilité de la méthode et sa réversibilité, gages principaux d'innocuité. En 1999 en Belgique, Bart Nuttin a osé aborder le domaine sulfureux de la psychochirurgie en stimulant le bras antérieur de la capsule interne, jusqu'à la cible de la capsulotomie, dernière survivante des techniques psycho-chirurgicales. Les résultats préliminaires obtenus dans ce domaine ont encouragé l'efflorescence des recherches et des approches chirurgicales et ont permis de réinitier le traitement stéréotaxique des troubles obsessionnels compulsifs (pour lesquels, outre la capsule interne, le noyau subthalamique et le noyau accumbens apparaissent comme des cibles d'un intérêt considérable), des tics de la maladie de Gilles de la Tourette (où le thalamus intralaminaire et le pallidum sont les cibles actuellement en concurrence), et très récemment du champ immense de la dépression sévère par la stimulation bilatérale des aires limbiques subgénéales CG 25, (à la suite d'une élégante démarche canadienne, entreprise par Helen Mayberg et Andres Lozano, prenant son origine dans l'interprétation des résultats de l'imagerie fonctionnelle par IRM.)

On peut donc à Grenoble se réjouir de la mise au point dans notre université d'une méthode chirurgicale originale, qui à ce jour s'est répandue au niveau international, est devenue l'alternative chirurgicale au traitement médical de la maladie de Parkinson et de l'ensemble des mouvements anormaux (y compris dans le domaine de la dystonie où il n'existe pas de traitement médical). Au cours des dernières années, ce traitement s'est étendu à de nombreuses indications, il a incité, au niveau mondial, au développement de recherches fondamentales d'une étonnante fécondité, menées actuellement par des centaines d'équipes et dont on peut attendre dans les années à venir d'autres applications, en cours d'évaluation au plan expérimental.

En dehors de ces perspectives thérapeutiques, et du fait du champ extrêmement vaste qui leur est offert, une réflexion éthique intéressante s'est ouverte, d'autant plus que des applications non thérapeutiques, telle que celle qui consiste à augmen-

ter les fonctions normales, sont actuellement discutées. En parallèle à ce développement scientifique et aux conséquences éthiques, voire philosophiques, qui en découlent, des avancées technologiques ont vu le jour.

Quand il est parfois plus simple de faire compliqué

En effet, la stimulation cérébrale profonde à haute fréquence consiste essentiellement à mettre en place une électrode au sein d'une cible fonctionnelle, avec une précision dont on sait maintenant qu'elle est une des conditions primordiales de l'efficacité de la méthode. Il apparaît même possible, si ce n'est nécessaire, de mettre plusieurs électrodes au sein d'une même cible afin d'en assurer une meilleure couverture, notamment quand cette cible est de grande taille comme c'est le cas pour le pallidum, ou de mettre plusieurs électrodes dans des cibles différentes car il est maintenant clair, en analysant les résultats de cette stimulation, que tout symptôme fonctionnel peut dépendre de plusieurs structures au sein des réseaux neuronaux qui ont en charge ces fonctions.

79

La technique stéréotaxique a été développée en 1917, initialement dans une perspective expérimentale, et son histoire est jalonnée par l'invention et le développement d'une multitude de cadres, de goniomètres et d'autres instruments, destinés à permettre le positionnement optimal de ces électrodes. Au cours de cette chirurgie, la confrontation quotidienne du chirurgien avec le calcul des coordonnées des cibles, le transfert de ces coordonnées en termes de paramètres sur les pièces mobiles des cadres (curseur, goniomètre, micro descendeur, etc.), l'imprécision dans la réalisation de ce réglage inhérent à la manipulation de ces pièces, et le caractère répétitif d'un grand nombre de ces positionnements en particulier quand il est nécessaire de mettre en place plusieurs électrodes, comme c'est le cas dans la stéréo-électroencéphalographie, devaient nécessairement conduire au besoin de développer des outils plus adéquats. Retrouvant en 1987, au cours d'un colloque scientifique organisé par l'Université Joseph Fourier, François Danel que j'avais connu en mathématiques supérieures au lycée Champollion, et qui avait créé une entreprise, l'Assistance Industrielle dauphinoise (AID), qui fabriquait des robots, je lui avais demandé s'il était possible de me réaliser une machine à positionnement numérique, comme on peut en voir dans les ateliers de mécanique de précision, afin de positionner les instruments de perçage et de propulsion des électrodes dont j'avais besoin en chirurgie stéréotaxique, en donnant à la machine les données numériques des coordonnées, plutôt que de tenter de les afficher avec une relative imprécision sur des curseurs mobilisés manuellement. Il m'avait répondu que ce n'était pas la solution, que son entreprise avait développé un robot universel destiné à effectuer de nombreuses tâches et qu'il suffisait d'adapter aux circonstances particulières de mon activité pour en faire un outil adéquat. L'impératif principal que je présentais était celui de la précision, et le principal obstacle ou inconvénient qu'avait son robot était la vitesse. La réduction de celle-ci devait permettre d'optimiser celle-là.

Avec un budget dont la modestie fait actuellement rêver, de l'ordre de 150 000 F, ce qui équivaut actuellement à environ 25 000 €, François Danel et son équipe ont pu réaliser le premier prototype, aujourd'hui dénommé Neuromate. C'est celui qui est actuellement exposé au Musée des sciences médicales au CHU de Grenoble. Il était

très anthropomorphe, constitué d'un tronc vertical, d'une épaule, d'un avant-bras, d'un coude et d'un poignet, l'ensemble réalisant un système à six degrés de liberté, capable de positionner dans l'espace autour de la tête du malade une platine porte-outils permettant d'orienter avec précision le canon de perçage d'une mèche de trépanation crânienne et de porter ensuite les systèmes équipés d'une vis sans fin qui permettait de descendre, le long de la trajectoire choisie, une électrode de stimulation ou d'enregistrement, ou un trocart à biopsie. Les coordonnées étaient données initialement en utilisant un petit ordinateur.

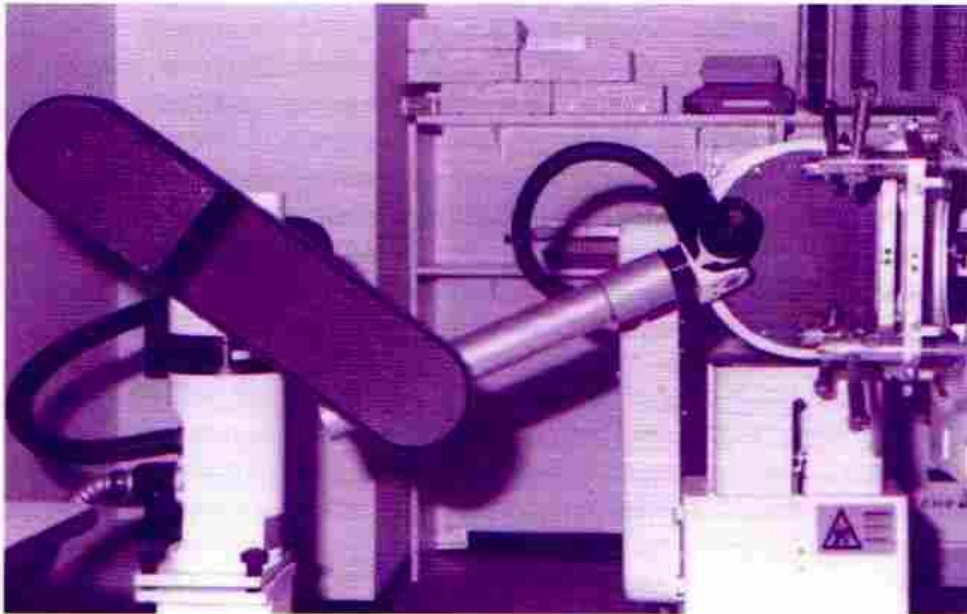
Cet élément de base étant réalisé, encore fallait-il l'interfacer avec l'imagerie cérébrale à partir de laquelle était définie la cible. Dans la situation qui était la nôtre à la fin des années 80, la modalité principale d'imagerie dont nous disposions était la radiologie dite *stéréotaxique*, c'est-à-dire pratiquée avec deux tubes radiogènes orthogonaux pour procurer des images de face et de profil, et situés à « grande distance » (3,5 m) afin de réduire au maximum le coefficient d'agrandissement. Ce système radiologique nous permettait de pratiquer une ventriculographie en injectant dans les ventricules un produit de contraste iodé qui permettait de visualiser avec précision la base du système de coordonnées anatomiques du cerveau que constituent la commissure blanche antérieure, la commissure blanche postérieure, le sommet du thalamus correspondant au plancher du ventricule latéral, et la ligne médiane visible sur le cliché de face. En utilisant le système de Guiot et les coordonnées déduites des atlas stéréotaxiques, il était possible de reporter sur ces clichés ventriculographiques de face et de profil le point qui correspondait en théorie à la cible visée. Le choix au niveau de la voûte crânienne d'un point d'entrée, en général situé légèrement en avant de la suture coronale et à 25 mm de la ligne médiane, fournissait le second point permettant de définir une trajectoire.

Fournir ces deux points, paramètres principaux de la trajectoire, à l'ordinateur du robot était l'étape d'interface qui permettait de passer de l'espace tridimensionnel du cerveau à l'espace à six dimensions ou six degrés de liberté du robot. Ce travail de développement, capital, fut effectué par Stéphane Lavallée dans le cadre de sa thèse de sciences, sous la direction de Jacques Demongeot et de Philippe Cinquin.

Après de nombreux mois de tests en dehors puis à l'intérieur du bloc, la première utilisation fut faite de ce robot pour effectuer une ponction ventriculaire en 1989. Depuis cette période jusqu'à présent, c'est-à-dire presque 20 ans, ce système fut régulièrement utilisé, pour ne pas dire que toute la chirurgie stéréotaxique fut faite grâce à lui. Au fil des ans, les avantages et les inconvénients se précisaient, conduisant à des améliorations, des modifications, et des versions successives.

En ce qui concerne le robot lui-même, il apparut que ce demi-être humain comportant un tronc et un bras et un petit cerveau d'ordinateur (ce qui permit à de mauvaises langues de dire, qu'après tout, c'était bien ce qui définissait un neurochirurgien) il apparut que la précision n'était pas la même quand il s'agissait d'aborder l'hémisphère droit, ou quand on voulait aller dans l'hémisphère gauche, ce que l'on conçoit bien si l'on essaie de faire avec la main droite un geste et son symétrique sur un objet placé en face de soi. La mutation importante qui suivit donc, sous la pression de sélection presque darwinienne de l'usage quotidien, fut de

concevoir une deuxième version de ce robot avec une symétrie de fonctionnement dont l'axe était coaxial à celui du malade, allongé sur le dos et la tête dans le cadre.



Evolution du robot stéréotaxique Neuromate : du prototype initial (ci-contre) à la version actuelle (ci-dessous).

81

Le génie inventif de François Danel fut en permanence sollicité au cours de ce développement, et la parfaite adéquation du robot actuel à ses objectifs en est le résultat. La deuxième mutation, moins visible au niveau du corps du robot mais siégeant dans ses sens, fut celle qui conduisit à introduire les données spatiales de la cible non plus par la prise de données au clavier mais à partir des images.

Dans un premier temps, la cible était dessinée sur la ventriculographie, disposée sur une tablette à digitaliser dont le curseur prenait les coordonnées ainsi introduites dans l'ordinateur. Il a fallu de nombreuses années pour que nous disposions enfin de détecteurs radiologiques numérisés, notamment les détecteurs plans fournis par la société suisse Bioscan, pour pouvoir éviter la manipulation de clichés radiologiques et le dessin manuel des cibles sur ceux-ci, et introduire dans le logiciel de neuronavigation les coordonnées prises directement sur les images numériques. Ce logiciel de neuronavigation est la troisième mutation subie par le robot puisque, dans la lignée du développement mondial des méthodes de neuronavigation, des logiciels puissants ont pu être introduits dans la chaîne de commande du robot, permettant d'acquérir les images radiologiques, de les mettre en concordance, si ce n'est de les fusionner, avec les images tridimensionnelles obtenues par la résonance magnétique nucléaire ou par la tomodensitométrie.



La constitution d'un objet multidimensionnel et multimodal permet au neurochirurgien stéréotaxique de planifier une trajectoire directement à partir des images ainsi produites en déterminant un point d'entrée et un point cible. Les progrès réa-

lisés au cours de ces dernières années par ces systèmes de neuronavigation et leur caractère interactif constituent un des progrès les plus spectaculaires dont ait pu bénéficier cette discipline. Pouvoir, à l'aide d'un curseur, identifier un point dans une structure anatomique du cerveau, et de la même manière choisir au niveau du cortex un point d'entrée qui évitera les vaisseaux, vérifier en balayant un plan perpendiculaire à la trajectoire que celle-ci, de son début à l'entrée corticale jusqu'à sa fin au niveau de la cible fonctionnelle, ne croise pas d'éléments dangereux ou délicats permet à la neurochirurgie stéréotaxique de s'affranchir totalement de cette contrainte du calcul trigonométrique des trajectoires et du report plus ou moins précis, toujours fastidieux, souvent négligé, de la trajectoire sur les représentations anatomiques des atlas, est véritablement une dimension nouvelle apportée à la chirurgie, sans parler de sa puissance didactique.

Doté de tels outils, la question qui reste posée au chirurgien est celle du choix adéquat de la cible en fonction de la pathologie traitée et compte tenu des connaissances anatomiques, physiologiques et fonctionnelles que l'on a, et que l'on acquiert tous les jours, de ces structures cérébrales profondes. Les quelques années qui viennent verront très certainement les fruits de ces approches qui permettent d'espérer une véritable révolution de la thérapeutique chirurgicale des maladies neurologiques.

La neurochirurgie ne se réduit pas bien sûr à la neurochirurgie stéréotaxique, bien au contraire. La chirurgie à crâne ouvert voit certains de ses domaines disparaître du fait de l'évolution des techniques dans les champs connexes : il en est ainsi de la chirurgie des malformations vasculaires qui bénéficient de plus en plus des progrès des techniques endovasculaires notamment d'embolisation. La chirurgie tumorale, si elle s'est développée à travers les biopsies stéréotaxiques, voit certaines de ses indications disparaître du fait des progrès de la chimiothérapie, guidés par

les découvertes enthousiasmantes de la biologie moléculaire ou par le développement de techniques radiothérapiques sophistiquées, que ce soit la chirurgie multifaisceaux du GammaKnife ou celle plus dynamique du CyberKnife. Dans toutes ces options la neuronavigation, déjà citée, a joué et joue un rôle considérable dans la redéfinition de cette chirurgie.

Le microscope, introduit déjà depuis plusieurs décennies aussi bien au niveau de la chirurgie spinale et rachidienne, de la hernie discale par exemple, qu'au niveau de la chirurgie crânienne, des malformations vasculaires comme de toute la pathologie de la base, est devenu un élément in-

contournable, indispensable, de l'arsenal chirurgical. Pour ceux qui ont pratiqué cette chirurgie, il apparaît très vite que les bénéfices apportés par l'excellence de la vision se payent par la lourdeur et la difficulté de la manipulation et du positionnement répété, souvent modifié, du microscope, en particulier en neurochirurgie où le champ opératoire est étroit. Ceci a justifié des développements techniques, dont l'un des premiers fut constitué par le système de Zeiss, appelé Contraves qui consistait essentiellement à porter le microscope à l'aide d'un système panthographique équilibré par des poids et des contrepoids, et permettant une mobilisation beaucoup plus aisée, presque en apesanteur, du microscope.

Microscope robotisé
Surgiscope



Mon maître, le professeur de Rougemont, soucieux de procurer à notre discipline et à son service les moyens les plus récents et les plus avancés, avait décidé de faire l'acquisition d'un de ces systèmes et obtenu le financement nécessaire. Je lui avais demandé s'il n'était pas possible de mettre cette somme à la disposition d'un projet qui serait réalisé par François Danel et qui pouvait se résumer dans l'utilisation d'un robot identique à celui que nous avons développé pour la stéréotaxie, mais qui au lieu de porter un tube guide pour une électrode porterait le microscope et permettrait de le positionner facilement dans l'espace. Le professeur de Rougemont, avec l'enthousiasme qu'il savait accorder aux propositions nouvelles, adhéra à cette idée. François Danel, faisant à nouveau preuve d'imagination, proposa une autre architecture que celle du robot précédent, fondée sur des systèmes parallèles et conçut un premier prototype qui donnait essentiellement l'impression d'une araignée accrochée au plafond et soutenant au-dessus du malade un microscope. Le développement de ce prototype conduisit très rapidement à l'élaboration d'un système qui fut rapidement applicable à la pratique chirurgicale et dont le premier exemplaire fut installé en neurochirurgie en 1996.

83

Comme son frère stéréotaxique, le microscope robotisé, actuellement dénommé Surgiscope, évoluera au plan technique et conceptuel, aussi bien au niveau de son architecture, qui reste néanmoins fidèle au principe initial, qu'au niveau de ses fonctionnalités, jusqu'à l'intégration récente de l'injection des images de planning en superposition à l'image agrandie du champ opératoire. La solution des problèmes mécaniques liés à la rigidité et la difficulté de déplacement du microscope paraît négligeable par rapport aux bénéfices apportés à l'exercice chirurgical par la possibilité de planifier sur l'IRM pré-opératoire le geste chirurgical en observant sur l'IRM, base de l'imagerie et principale modalité, les contours de la lésion, notamment des tumeurs et le choix de la meilleure voie, en prenant en compte les structures superficielles du cerveau, notamment corticales et fonctionnelles, qu'il faut traverser, ou au contraire éviter, pour aborder la lésion. Ceci permet également d'optimiser l'incision cutanée et de réduire la taille de la craniotomie, tous éléments contribuant à une meilleure tolérance et à une invasivité minimisée du geste chirurgical.

Là encore, un bénéfice secondaire mais capital réside dans les capacités didactiques que comporte cet instrument et son logiciel de navigation. Le temps passé à définir le volume de la lésion, ses rapports avec son environnement et la trajectoire optimale, qui paraissent au début être un surcroît de travail pour des équipes déjà bien occupées, est largement rentabilisé au cours de l'intervention par la sûreté du geste, et l'élimination complète des phases d'hésitation qui peuvent d'ailleurs conduire à des choix non optimaux. Mais il permet de surcroît aux seniors d'enseigner aux juniors et à ceux-ci de s'essayer à la planification chirurgicale sans faire courir de risque aux malades, puisque l'erreur sera corrigée par le chirurgien et que l'explication de l'erreur aux plus jeunes est encore la meilleure façon d'apprendre.

Au terme de cette narration, qu'il faudra un jour prolonger par celle des développements à venir dans tous les domaines que nous avons décrits, deux remarques importantes sont à faire :

- La première concerne la nécessité pour l'innovation, et pour les innovateurs, de rencontrer la confiance et le soutien de ceux qui ont le pouvoir de dire non, mais également de dire oui. Que ce soient les chefs de service et la grandeur de vue comme la capacité de confiance dont M. de Rougemont a tant fait preuve, ou l'administration hospitalière souvent critiquée, parfois critiquable, mais également capable de prendre des risques, d'acheter des systèmes qui ne sont encore que des prototypes voire même des projets. Sans eux, ces projets seraient restés dans des cartons ou n'auraient pas dépassé le stade d'idées dans le cerveau de leur concepteur.

- La seconde remarque concerne la difficulté que les innovations rencontrent à être exécutées, réalisées, améliorées puis promues et enfin soutenues au niveau industriel, par une approche courageuse et efficace. Tout au long de ma carrière, j'ai entendu parler du transfert université-industrie. Tout au long de ma carrière, j'ai réalisé à quel point ce concept est difficile à mettre en œuvre et ne reste souvent qu'un vœu pieux. Dans les deux cas décrits, que ce soit le Neuromate ou le Surgiscope, les difficultés industrielles ont été majeures. La société AID qui avait su produire un prototype pour un prix dérisoire a peut-être payé cet enthousiasme de type universitaire, mais bien peu commercial, puisqu'elle a dû déposer à un certain moment son bilan. François Danel qui est à la base de ces réalisations a perdu beaucoup de temps, beaucoup d'argent, et sa santé à se battre pour permettre la survie de ces deux innovations. Le nombre d'industriels qui ont repris l'affaire et les projets pour les abandonner ensuite, est trop grand et ce n'est pas le lieu ici de dissenter sur la difficulté des entreprises à allier innovation et succès commercial. Pour l'observateur extérieur que je suis, peut-être avec beaucoup de naïveté, l'absence d'un soutien suffisant de la part des structures étatiques est de nature à décourager ceux qui veulent bâtir un projet, le développer, le répandre au bénéfice de ceux qui en sont les destinataires, c'est-à-dire, dans notre domaine, les malades.

- Alim-Louis Benabid, professeur de physique, neurochirurgien au CHU de Grenoble, membre de l'Académie des sciences.