

grammation de Babbage! En outre, des lettres échangées entre Babbage et Ada à cette époque indiqueraient que les contributions de Babbage se sont limitées à la formule mathématique et qu'Ada a elle-même écrit le programme.

Babbage a écrit plusieurs petits programmes pour la Machine analytique dans ses carnets en 1836 et 1837, mais aucun d'entre eux n'atteignait la complexité du programme de calcul des nombres de Bernoulli. La formation initiale d'Ada l'a familiarisée avec les propriétés des nombres. Il est possible qu'Ada ait compris qu'un programme sur les nombres de Bernoulli est un bon moyen de montrer certaines des caractéristiques essentielles de la Machine analytique, tel le branchement conditionnel. Comme Menabrea mentionne les nombres de Bernoulli, le programme d'Ada s'intègre parfaitement à la traduction.

En 1985, Dorothy Stein, de l'Université de Londres, publia une importante biographie d'Ada, où elle affirme qu'Ada était une mathématicienne incompétente, incapable d'écrire le programme des nombres de Bernoulli elle-même.

La conclusion de D. Stein est principalement fondée sur deux arguments. Premièrement, elle signale une erreur dans la traduction de Menabrea par Ada, où cette dernière traduit une coquille en français par une assertion mathématique impossible. L'article original de Menabrea contenait «le cos. de $n = \infty$ », alors qu'il fallait lire «le cas de $n = \infty$ ». Ada avait traduit littéralement «lorsque cos $n = \infty$ », ce qui est mathématiquement impossible (un cosinus est compris entre -1 et 1).

Deuxièmement, D. Stein cite des lettres échangées entre Ada et ses précepteurs, qui montrent qu'Ada avait des difficultés avec les substitutions fonctionnelles (montrer une équation en substituant une fonction par son identité).

Ada avait effectivement mal traduit un passage de l'article de Menabrea, mais on ne peut de bonne foi l'attribuer à une incompétence en mathématiques. Ce n'était pas la seule erreur contenue dans son article : elle avait également apposé à la fin de sa dernière note ses initiales sous la forme A. L. L., au lieu de A. A. L. Ses 64 pages de traduction et d'annotations avait été revues par Babbage et par d'autres, à qui ces erreurs avaient également échappé.

L'accusation de mal comprendre la substitution fonctionnelle est plus

importante, car c'est un concept vital pour les programmeurs. À cette époque, l'algèbre était la discipline mathématique de pointe en Angleterre, et Ada prenait ses cours par correspondance. Sachant que ses professeurs l'aidaient gratuitement, Ada devait plutôt leur écrire pour des sujets qu'elle n'avait pas compris que pour des concepts déjà assimilés. Le niveau de compétence mathématique de ses dernières lettres montre que, malgré ses possibles difficultés avec les substitutions fonctionnelles avant la rédaction des notes, elle les avait certainement assimilées lors de leur écriture.

La fragile santé d'Ada déclina après 1843, limitant sa pratique des mathématiques. Elle mourut le 27 novembre 1852, probablement d'un cancer de l'utérus. À sa demande, elle fut enterrée auprès de son père. Ses travaux restèrent relativement obscurs jusqu'en 1953, lorsque Bertram Bowden écrivit une histoire des calculateurs où il mentionnait les travaux d'Ada et la qualifiait de «prophète».

De nombreux pionniers de l'informatique ont entendu parler des travaux de Babbage et des publications d'Ada, mais ils procédèrent généralement à leur propre percée conceptuelle. Howard Aiken, le professeur de l'Université Harvard qui conçut et construisit le *Mark I* en 1943, déclarait être un successeur direct de Babbage. Il ne connaissait cependant pas bien les travaux d'Ada et ne comprit pas l'importance du branchement conditionnel.

Maurice Wilkes, qui construisit l'ordinateur EDSAC à Cambridge, en 1949, s'est ensuite passionné pour Babbage : «Si elles avaient été mieux connues, en détail, à la fin des années 1930, ses œuvres auraient contribué au développement des ordinateurs.» Autrement dit, une meilleure connaissance de l'histoire des sciences aurait fait gagner du temps aux ingénieurs.

Eugene Eric KIM est éditeur technique de la revue *Dr. Dobbs' Journal*. Betty Alexandra TOOLE, professeur d'informatique au Collège dominicain de San Rafael, a publié plusieurs lettres d'Ada.

J.M. DUBBEY, *The Mathematical Work of Charles Babbage*, Cambridge University Press, 1978.

Anthony HYMAN, *Charles Babbage: Pioneer of the Computer*, Princeton University Press, 1982.

DES CAILLOUX DANS LES CHOSSES SÛRES

DIDIER NORDON

**Des cailloux
dans les choses sûres**



Didier Nordon épingle les scientifiques et les politiques qui extraient de la science plus qu'elle ne dit. Nul doute que chacun reconnaîtra dans ces piques... le défaut de son condisciple.

144 pages - 70 F
Code 1897

**POUR LA
SCIENCE**
DIFFUSION BELIN

Bon de commande en p. 98

La chirurgie assistée par ordinateur

ERIC GRIMSON • RON KIKINIS • FERENC JOLESZ • PETER BLACK

Les chirurgiens utilisent la réalité virtuelle pour exciser des tumeurs avec une meilleure précision.

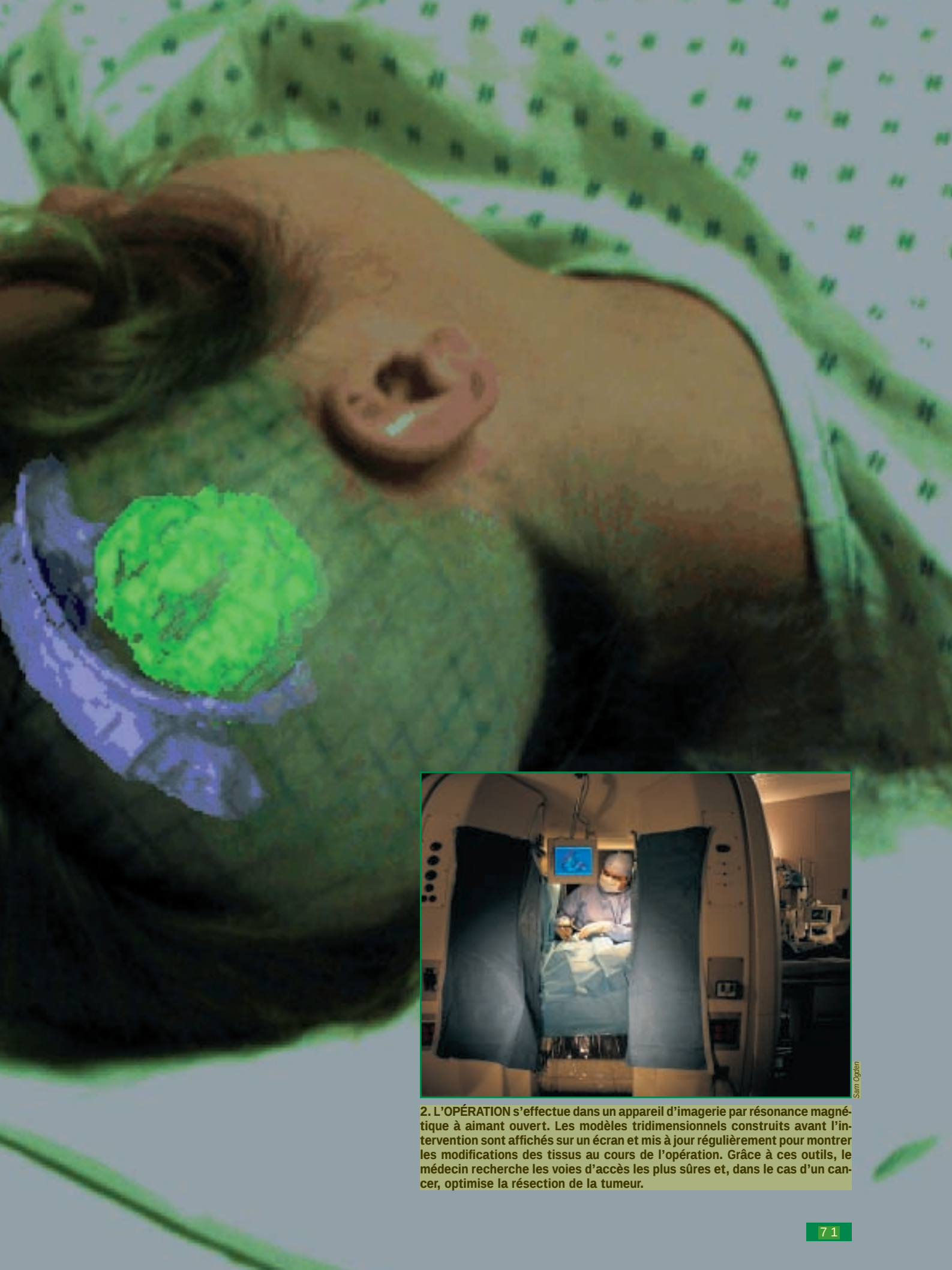
Dans un bloc opératoire, une jeune femme est endormie. Le chirurgien procédera bientôt à l'ablation d'une tumeur du cerveau responsable d'attaques cérébrales quasi quotidiennes. L'intervention est risquée : la tumeur comprime le cortex moteur, le tissu nerveux qui commande les mouvements volontaires. À l'œil nu, la tumeur et le cortex sain ont le même aspect, mais la tumeur se développera de nouveau si le chirurgien ne l'élimine pas complètement, et la jeune femme restera paralysée si une partie du cortex sain est prélevée.

L'intervention est cependant possible, car le neurochirurgien dispose d'un système de chirurgie assistée par ordinateur. Un écran d'ordinateur affiche un modèle géométrique en trois dimensions de la tête de la patiente construit à partir de clichés obtenus grâce à la technique non invasive d'imagerie par résonance magnétique.

À l'aide de la souris, il oriente l'image afin d'avoir la vue qu'il aura pendant l'intervention ; puis, toujours à l'écran, il enlève la peau, la couche adipeuse et l'os : le cerveau apparaît. La tumeur et d'autres éléments importants, tels les vaisseaux sanguins et le cortex moteur, sont représentés en différentes couleurs. Observant que la tumeur touche à la fois le cortex moteur et des vaisseaux sanguins majeurs, le chirurgien établit un programme qui minimisera le risque d'hémorragie et de paralysie.

Il s'approche alors de la patiente, couchée sur la table d'un système d'imagerie par résonance magnétique spécialisé. Alors que les systèmes classiques sont composés d'un grand cylindre creux qui contient un aimant

1. UNE TUMEUR (en vert) dans le cerveau d'une femme est affichée grâce à des images enregistrées au cours de l'opération et traitées par un ordinateur équipé de programmes d'interprétation d'images.



Sam Ogden

2. L'OPÉRATION s'effectue dans un appareil d'imagerie par résonance magnétique à aimant ouvert. Les modèles tridimensionnels construits avant l'intervention sont affichés sur un écran et mis à jour régulièrement pour montrer les modifications des tissus au cours de l'opération. Grâce à ces outils, le médecin recherche les voies d'accès les plus sûres et, dans le cas d'un cancer, optimise la résection de la tumeur.

où le patient est allongé et inaccessible, ici le cylindre est un ensemble de deux anneaux (voir la figure 2) entre lesquels le chirurgien opère ; des clichés du cerveau de la patiente sont réalisés en cours d'opération.

Le chirurgien abaisse un écran qui affiche le modèle géométrique qu'il a visualisé auparavant, superposé à une image vidéo en direct de la patiente allongée sur la table. Comme si ses yeux étaient des rayons X, il localise les structures internes avant même de saisir le scalpel. Guidé par l'image vidéo, il dessine sur le crâne de la patiente la position de la tumeur et d'autres structures importantes, puis esquisse la forme de la petite ouverture qu'il pratiquera dans la boîte crânienne pour accéder à la tumeur.

L'intervention commence alors. Au cours de l'opération, une sonde

stérile, insérée périodiquement dans l'incision, lui indique sur l'écran la position exacte et la trajectoire suivie. Il sait ainsi à quelle distance se trouve son scalpel du cortex moteur et des vaisseaux sanguins.

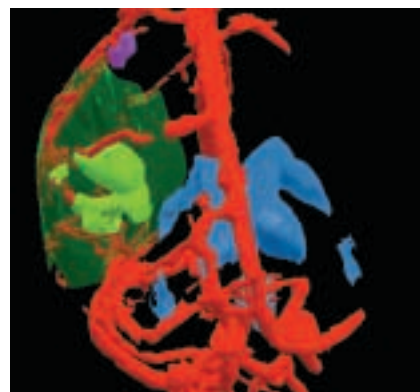
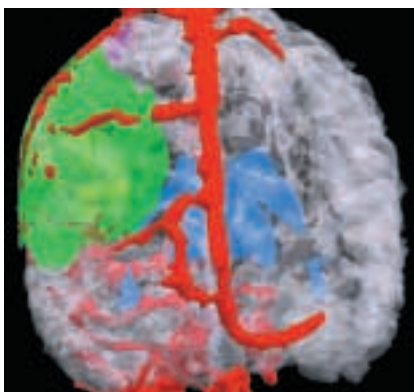
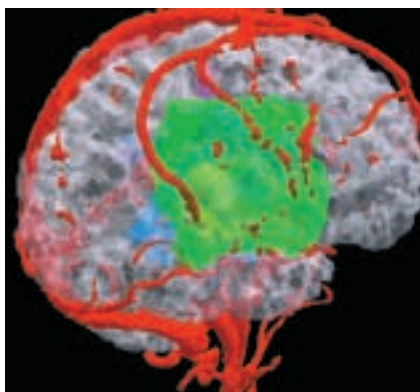
Périodiquement, il réactualise les images par résonance magnétique dans la région de la sonde. En quelques secondes, les images s'affichent et se superposent au modèle préopératoire. Il compare la position actuelle de la tumeur avec celle d'avant l'intervention, ainsi que d'autres éléments, tels des déplacements ou des déformations. En outre, les images l'aident à localiser les restes de la tumeur.

Grâce à ces informations, l'opération est une réussite. Quelques jours plus tard, la patiente quitte l'hôpital, convalescente, mais prête à commencer une nouvelle vie.

De réels progrès

Cette description s'applique à n'importe laquelle des opérations (environ 250 au cours des trois dernières années) qui ont été effectuées par notre équipe à Boston. Le système de guidage dans l'appareil d'imagerie par résonance magnétique à aimant ouvert est né d'une collaboration entre le Laboratoire d'intelligence artificielle de l'Institut de technologie du Massachusetts, l'Hôpital de Boston et la Société General Electric Corporation. D'autres appareils analogues sont utilisés en Europe.

La chirurgie vidéo-assistée renforce la vision du chirurgien, qui peut alors proposer des traitements plus efficaces. Elle facilite l'identification des contours d'une tumeur et de la voie d'accès la plus sûre et la moins traumatisante. Ainsi, le chirurgien peut retirer



3. LES RECONSTRUCTIONS D'UN CERVEAU (ci-dessus) et de la base d'une colonne vertébrale (ci-dessous) ont été «segmentées» : les structures identifiées apparaissent avec des couleurs différentes. On peut effectuer des rotations, ou encore atténuer ou supprimer certains éléments. Dans le cerveau, on voit les vaisseaux sanguins (en rouge),

les ventricules (en bleu), une tumeur (en vert) et un kyste dans la tumeur (en jaune). Les clichés de la colonne vertébrale montrent l'os (en blanc), les muscles (en rose), les espaces intervertébraux (en jaune), les méninges qui entourent la moelle épinière (en bleu clair), une tumeur (en vert clair) et des zones tumorales suspectées (en vert foncé).



totale certaines tumeurs ou, en cas de cancers trop diffus ou trop invasifs, éliminer un plus grand nombre de tumeurs et améliorer ainsi la vie du patient. De plus, il raccourcit les protocoles opératoires, donc minimise l'anesthésie et la perte de sang. Des interventions qui auraient été trop risquées il y a quelques années, sont aujourd'hui possibles.

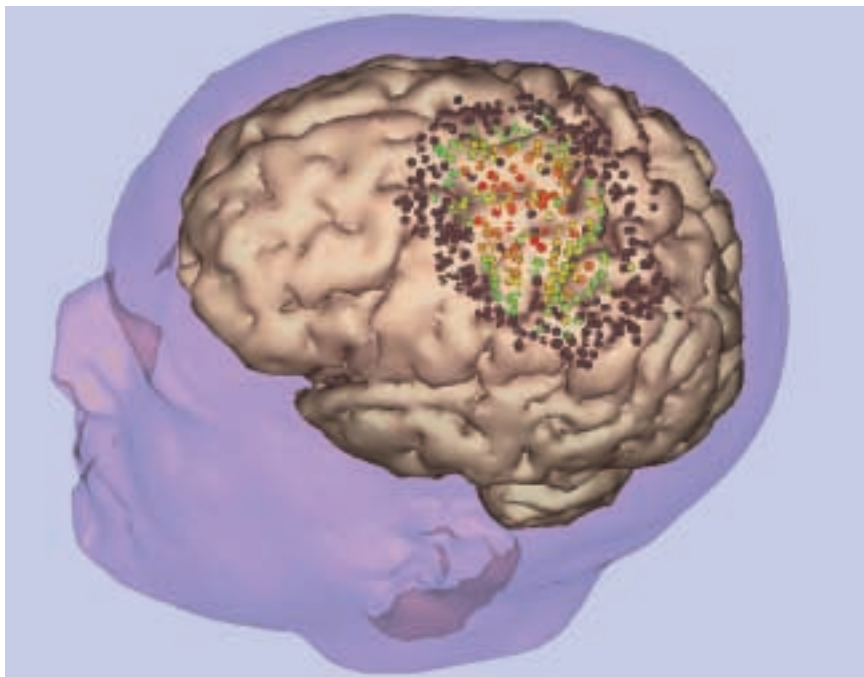
Visitions l'envers du décor et découvrons les principales techniques utilisées. La première étape est la construction, non invasive, d'une représentation en trois dimensions de la surface et de l'anatomie interne de la partie du corps ou du volume à traiter.

La construction du modèle

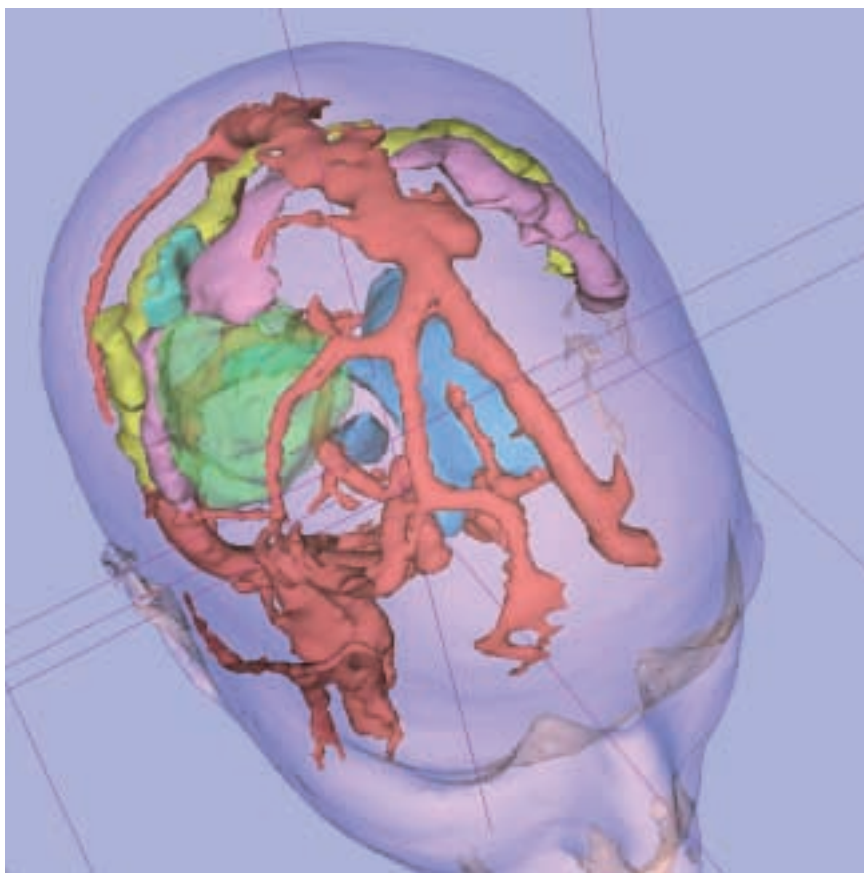
Quand on irradie le corps à l'aide de rayons X, ceux-ci sont différemment absorbés par les os et par les organes. Ainsi, certaines zones apparaissent plus foncées que d'autres sur la plaque radiographique. Cependant, l'image est plane : des structures tridimensionnelles, principalement les os, sont projetées en deux dimensions.

En revanche, le scanner et l'imagerie par résonance magnétique nucléaire fournissent une série de coupes virtuelles à des profondeurs déterminées (voir le bandeau en haut de l'article). Le médecin dispose de centaines de coupes minces, dont chacune peut être visualisée individuellement. Stockées dans la mémoire d'un ordinateur, elles se combinent en un modèle tridimensionnel où chaque point est défini par un numéro de ligne et un numéro de colonne sur une coupe et par le numéro de la coupe. L'imagerie par résonance magnétique distingue mieux les diverses structures anatomiques. Mesurant les réactions de l'organisme à des champs magnétiques, elle évite en outre l'exposition des patients à des rayonnements ionisants.

Dans le champ magnétique constant qui est appliqué par les deux anneaux, certains protons (chargés positivement, ces particules constituent, avec les neutrons, les noyaux des atomes) tournent sur eux-mêmes à la façon de toupies. Les impulsions d'un second champ magnétique dévient l'axe de rotation des protons, qui retrouve progressivement son orientation initiale, à la fin de l'impulsion : on mesure l'énergie libérée lors de ce retour afin de



Michael Leventon



Arya Nabavi et Alexandra V. Chabrier, Brigham and Women's Hospital, David Gering, MIT

4. LA CARTOGRAPHIE FONCTIONNELLE révèle les zones corticales qui commandent des muscles spécifiques. On obtient ces images à l'aide d'un dispositif, qui envoie des impulsions électriques inoffensives en des points précis du cerveau, et d'électrodes réparties sur l'ensemble du corps, qui indiquent quels muscles sont activés. Dans le cerveau (en haut), les points indiquent les centres qui commandent des réactions fortes (en rouge), moyennes (en orange et en jaune), faibles (en vert) et nulles (en marron) des muscles de la main droite. On peut fusionner les cartes fonctionnelles avec des modèles structuraux. Dans le cerveau d'une personne atteinte d'un cancer (en bas), une partie du cortex moteur (en rose et en turquoise) a été déplacée par la tumeur (en vert).