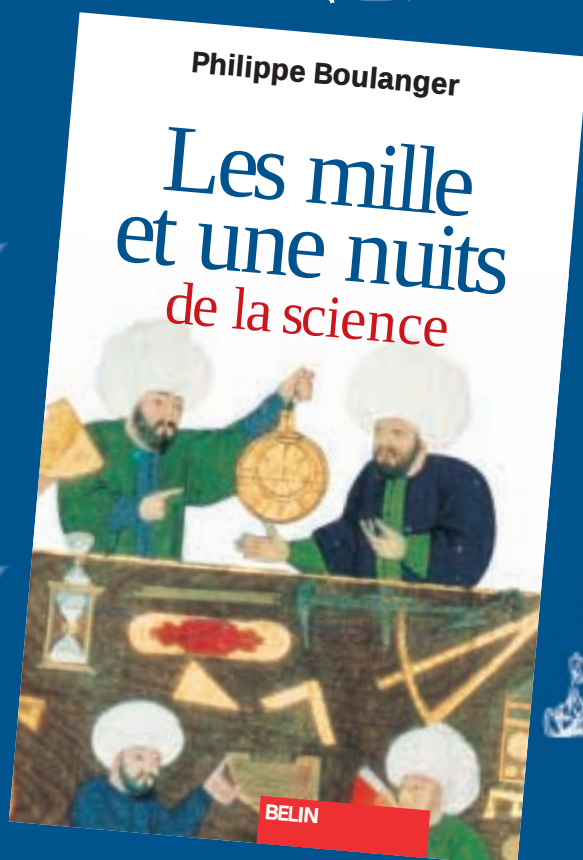


Entrez dans l'ambiance orientale
des mille et une nuits et laissez-vous
charmer par l'imagination
de Shéhérazade contant la science
et les tribulations des savants



«Dans ce livre, Philippe Boulanger,
Directeur de la revue Pour la Science,
réussit le tour de force de vulgariser des
concepts difficiles en charmant son lecteur
par une subtile danse... des neurones».

Hervé Ponchelet
Le Point

Code 2445 • 240 pages • Prix 100 F
Voir bon de commande p. 98

BELIN • POUR LA SCIENCE

les systèmes mobiles en 2003. En revanche, cette méthode imposerait une restructuration profonde des réseaux cellulaires actuels. Sera-t-elle une solution pour la quatrième génération de téléphones mobiles ?

Là est l'essentiel du problème posé par l'adoption d'une solution technique «3G» : chaque choix détermine les suivants, parce qu'il implique d'importants investissements dans les infrastructures. Vu le grand nombre de solutions techniques à l'étude, l'avènement d'une forme de télécommunication sans fil à haut débit dépendra surtout des ressources que les opérateurs ont ou sauront trouver (dans le porte-monnaie des utilisateurs). Quel que soit le choix technique qu'ils devront faire des compromis entre la largeur de bande disponible et le nombre d'utilisateurs qui la partageront : «L'essentiel du problème est dans le plan d'exploitation, pas dans la technique, estime Craig Mathias, de la Société d'études de marchés *MobileInsights*.

L'arrivée des systèmes 3G et leurs performances ne dépendent que des opérateurs. S'ils veulent fournir des réseaux à hauts débits de transmission de données, ils y arriveront. Toutefois, seules les communications vocales leur permettent aujourd'hui de gagner de l'argent.» D'où les nombreuses possibilités, qui nous vantent les performances d'infrastructures qui n'existent pas, et n'existeront peut-être que si leur démarrage se révèle assez rentable...

Selon M. Cooper, l'industrie des télécommunication est dominée par de grandes entreprises, trop souvent en situation de monopoles. Ces grands opérateurs pensent naturellement adopter un système unique pour tous les réseaux qu'ils exploitent, mais des réseaux plus variés et mieux adaptés aux divers usages seraient préférables. Les réseaux nationaux de communications vocales coexisteront sans doute avec des réseaux locaux de transmission de données. Certains seront chers et à haut débit, d'autres bon marché et à débit modeste. Enfin, les performances des réseaux sans fil devraient égaler un jour celles des réseaux câblés.

Leander KAHNEY est rédacteur au journal californien *Wired News*.

À cœur battant

CORNELIUS BORST

Les chirurgiens opèrent aujourd'hui le cœur sans avoir à l'arrêter.

On doit généralement opérer les personnes âgées qui, au moindre mouvement, souffrent de douleurs dans la poitrine, qui mettent une heure à se lever et à s'habiller parce qu'elles se fatiguent vite : leurs douleurs résultent souvent de l'obstruction des artères coronaires, les vaisseaux qui alimentent le cœur en oxygène. Ces vaisseaux, issus d'une ramification de l'aorte, sont solidaires du cœur. L'opération est le pontage coronarien.

Celui-ci est banal : chaque année dans le monde, environ 800 000 personnes en subissent un. Toutefois, il fait courir des risques aux patients, sur-

tout quand ils ont des troubles pulmonaires, des maladies rénales ou des troubles de la coagulation sanguine. Techniquement, le chirurgien prélève des vaisseaux dans la poitrine ou dans la jambe du malade et il les greffe en parallèle du vaisseau endommagé, au-delà des rétrécissements. L'opération impose une ouverture de la poitrine (les chirurgiens parlent de «scier» la cage thoracique, car il coupent le sternum avec une scie et ouvrent la cage thoracique). Pendant environ une heure, ils arrêtent le cœur, car ils ne peuvent suturer correctement un vaisseau du cœur pendant que celui-ci bat.

Pendant cet arrêt du cœur, le malade est relié à une machine, nommée cœur-poumon, qui assure la circulation sanguine, dite extra-corporelle, et fournit de l'oxygène aux tissus jusqu'à ce que le cœur redémarre. Cette machine complexe a été introduite vers 1960 dans les blocs opératoires modernes de chirurgie cardiaque. C'est cette circulation artificielle déviée dans une machine cœur-poumon qui provoque parfois de graves complications, notamment chez les personnes âgées ou affaiblies. Ces complications expliquent les longs séjours postopératoires à l'hôpital – jusqu'à huit jours – et, souvent, des convalescences de deux à trois mois. De surcroît, certaines personnes supportent mal l'ouverture de la cage thoracique et, au cours de leur convalescence, elles deviennent plus sensibles à certaines infections, telles les pneumonies. Comment éviter ces conséquences des opérations ?

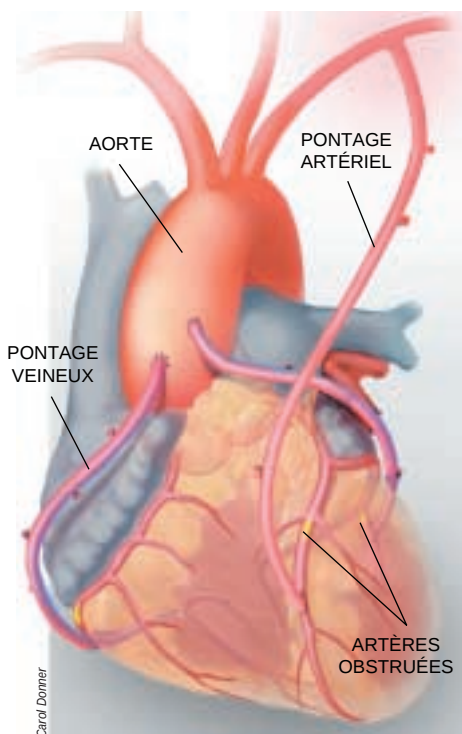
Vers le milieu des années 1990, les chirurgiens ont mis au point deux techniques chirurgicales pour faciliter les pontages coronariens. Avec d'autres médecins, nous avons été de ceux qui ont cherché à supprimer la machine cœur-poumon afin d'opérer un cœur battant. D'autres équipes ont testé la chirurgie cardiaque par endoscopie, une opération dont les incisions sont à peine plus grandes qu'un trou de serrure.

Opérer un cœur qui bat

Les douleurs de poitrine qui imposent les pontages coronariens sont dues à l'athérosclérose, c'est-à-dire au durcissement des artères causé par des substances, tel le cholestérol, qui s'accumulent parfois sur les parois des artères, dont elles rétrécissent le diamètre. La maladie évolue progressivement et, vers la cinquantaine, une petite douleur dans la poitrine apparaît à l'effort, car le rétrécissement coronarien limite le débit de sang, qui devient insuffisant lors des activités soutenues. La vie de ces malades est alors menacée : en l'absence de traitement, ils risquent un infarctus.

Des millions de personnes dans le monde sont handicapées par ces douleurs dans la poitrine. Certains facteurs génétiques favorisent l'athérosclérose, mais une alimentation déséquilibrée ou un mode de vie stressant en sont plus souvent responsables. Nous examinerons ici l'amélioration des traitements des maladies coronariennes, mais nous prôtons avec vigueur une alimentation saine, la pratique de l'exercice physique et l'absence de tabac.

Lorsqu'un diagnostic d'athérosclérose est posé, le médecin prescrit des médicaments ou opte pour l'angioplastie, c'est-à-dire l'insertion d'un petit ballon oblong dans l'artère obstruée : le gonflement du ballon étire les parois défectueuses et dilate le vaisseau. Le cardiologue place aussi parfois dans le vaisseau une minuscule structure métallique en forme de ressort, qui le maintient ouvert. Cependant, quand les traitements précédents sont trop risqués ou lorsque le cardiologue prévoit que l'artère se rétrécira de nouveau après l'angioplastie, il doit envisager un pontage pour rétablir un débit sanguin adéquat jusqu'au cœur. Lors de ces pontages coronariens, on doit généralement greffer deux à cinq vaisseaux sur les artères du cœur. Pour chaque greffe, les chirurgiens



1. LORS D'UN PONTAGE SUR LE CŒUR, on relie par des vaisseaux des grosses artères, telle l'aorte, aux artères coronaires en aval des rétrécissements, afin que le sang contourne les zones obstruées. Les chirurgiens utilisent soit des greffons artériels (des artères déviées à proximité du cœur), soit des greffons veineux (des segments de veines prélevés dans la jambe).

effectuent une suture entre un vaisseau donneur et l'artère coronaire bouchée : chaque greffe dure quelques minutes.

Nous l'avons vu, la machine cœur-poumon est l'une des principales sources des complications de la chirurgie cardiaque. Pour mettre en place ce dispositif, le médecin le connecte, d'une part à l'oreillette droite du cœur (qui reçoit le sang veineux) et, d'autre

part, à l'aorte, qui véhicule le sang après son oxygénation. Puis il introduit dans l'artère coronaire une solution paralysante qui stoppe les battements cardiaques. Ces manipulations décrochent parfois des fragments de plaques athéromateuses dans l'aorte. Si ces fragments sont emportés dans le cerveau, ils provoquent une attaque cérébrale en obs-

truant des capillaires. En outre, la machine cœur-poumon perturbe les défenses naturelles de l'organisme : les opérations provoquent parfois des fièvres, des lésions d'organe et des hémorragies. Après l'opération, le malade requiert quelquefois une assistance respiratoire et, lorsque le cœur bat de nouveau, ses contractions sont parfois anormales (arythmie). Enfin,



Owen Franken, Corbis

2. LES PONTAGES CORONARIENS CLASSIQUES imposent de scier la cage thoracique : on arrête le cœur et on relie le malade à une machine cœur-poumon qui fait circuler le sang et l'oxygène dans l'organisme. Une telle opération est très éprouvante.

les malades souffrent parfois d'hypotension, d'une diminution du débit sanguin et de la production d'urine. Dans quelques cas rares, on doit remplacer la machine cœur-poumon débranchée par une pompe mécanique.

Les risques sont aujourd'hui mieux connus. La probabilité d'un décès peu après un pontage coronarien augmente avec l'âge. En France, par exemple, ce risque passe de un à trois pour cent entre 20 et 50 ans à 10 pour cent entre 81 et 90 ans. Un malade sur quatre manifeste au moins une complication opératoire. En 1998, parmi les malades de plus de 65 ans, trois à cinq pour cent d'entre eux sont morts à l'hôpital. Souvent, les malades ne reprennent des activités normales qu'après deux à trois mois au moins, parfois à cause de pertes de mémoire et d'attention, ainsi que d'une grande faiblesse physique ou d'un état dépressif. Depuis 15 ans, nous étudions des solutions pour mieux traiter les maladies coronariennes. Avec mes collègues, nous avons mis au point un dispositif mécanique qui immobilise uniquement la zone du vaisseau obstrué, et non le cœur tout entier.

Une pieuvre sur le cœur

Le premier système chirurgical à cœur battant a été présenté en mars 1993 : Richard Satava, qui était médecin de l'armée américaine, a exposé le prototype d'un robot que des chirurgiens commanderaient à distance pour une chirurgie d'urgence sur les champs de bataille. Parallèlement, nous avons cherché à opérer sur un cœur actif sans équipement complexe.

Au printemps 1994, avec Erik Jansen, cardio-chirurgien à Utrecht, nous avons reproduit sur des cochons un acte de chirurgie sur cœur battant qui avait été proposé par Federico Benetti, du Centre de chirurgie cardiovasculaire de Buenos Aires, et par Enio Buffolo, de l'École de médecine de São Paulo.

Afin de ponter l'artère coronaire, les deux médecins Sud-américains immobilisaient une petite région de la surface du cœur par des points de suture de stabilisation pratiqués sur le tissu adjacent au site du pontage et par une pression exercée par une grosse pince chirurgicale maintenue manuellement. Ainsi, seuls quelques centi-

mètres carrés du cœur étaient immobilisés, et la fonction de pompage était à peine diminuée. Cependant, malgré l'élégance du procédé, F. Benetti et E. Buffolo ont fait peu d'émules dans l'immédiat.

En mai 1994, à Utrecht, lors d'une opération expérimentale sur un porc, j'étais chargé de tenir la pince. Malheureusement, la région du cœur où nous souhaitions effectuer le pontage n'était pas complètement immobile. Pourquoi ne pas remplacer les points de suture et la main humaine par un dispositif mécanique rigide ? Après quelques semaines, E. Jansen a utilisé avec succès un prototype de stabilisateur cardiaque construit par la Société *Rik Mansvelt Beck*.

Peu après, avec Paul Gründeman, nous avons inventé un stabilisateur cardiaque, nommé Octopus, qui immobilise n'importe quelle petite zone de la surface d'un cœur battant (voir la figure 4). Le nom provient des coupelles de succion qui fixent l'instrument sur le cœur. En septembre 1995, nous avons utilisé pour la première fois l'Octopus pour un pontage sur un malade humain ; depuis, plus de 50 000 personnes dans le monde ont été opérées avec un Octopus. Parmi les 400 malades qui ont été opérés à Utrecht, le taux de mortalité est nul au cours de l'opération ou pendant les 30 jours suivants.

D'autres chirurgiens ont mis au point d'autres dispositifs de stabilisation mécanique différents (par exemple, par pression) et, aujourd'hui, les cardio-chirurgiens disposent de 13 sortes d'appareils.

Des études sur les 200 000 malades qui ont subi un pontage coronarien sur cœur battant avec l'aide d'un stabilisateur mécanique montrent qu'ils ont eu moins de complications au cours de l'intervention chirurgicale, que l'opération a nécessité moins de transfusions sanguines, que les patients sont restés moins longtemps sous respiration artificielle ou en unité de soins intensifs et qu'ils ont quitté l'hôpital et repris leurs activités normales plus rapidement que les malades opérés selon les techniques classiques. De plus, le coût global de l'opération est réduit d'environ un tiers.

En 1999, près de dix pour cent des opérations coronariennes dans le monde se sont faites sans machine cœur-poumon, et nous espérons que les stabilisateurs mécaniques seront utilisés dans plus de 50 pour cent des



Chris Timmers, Utrecht University Medical Center

3. LES MACHINES CŒUR-POUMON assurent l'irrigation sanguine et l'oxygénation des tissus de l'organisme lorsque le cœur est arrêté, au cours des opérations classiques.

opérations de pontage en 2005. Dans des hôpitaux démunis de machines cœur-poumon, tels ceux des pays en développement, ces systèmes permettent une chirurgie coronarienne, qui serait autrement inaccessible. Si les machines cœur-poumon sont superflues, l'ouverture de la cage thoracique l'est-elle également ?

F. Benetti a encore amélioré la chirurgie sur cœur battant en réduisant la taille de l'incision à huit centimètres seulement, entre les côtes du côté gauche de la poitrine, pour des malades qui ne requièrent qu'un seul pontage de l'ar-

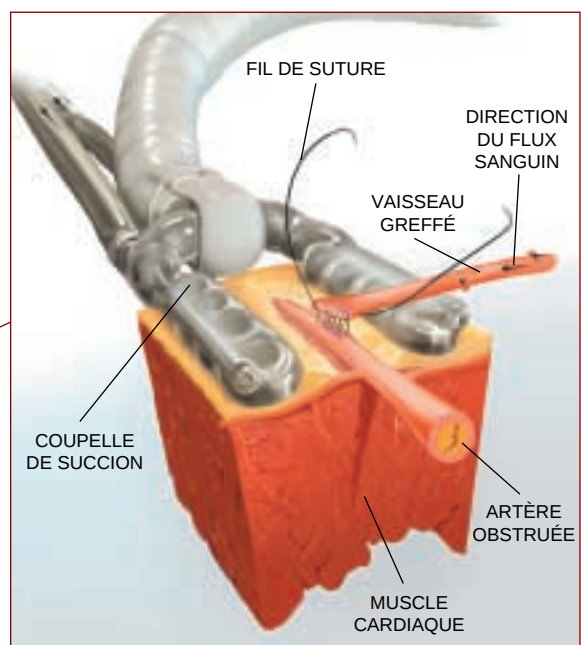
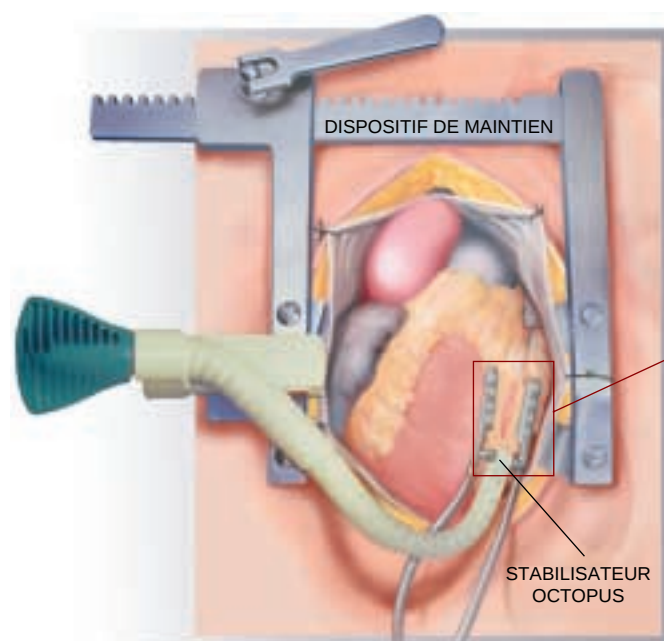
rière coronaire principale, sur le devant du cœur. Le chirurgien écarte encore les côtes adjacentes, mais le procédé est moins préjudiciable que l'ouverture de la cage thoracique tout entière.

La chirurgie par un trou de serrure

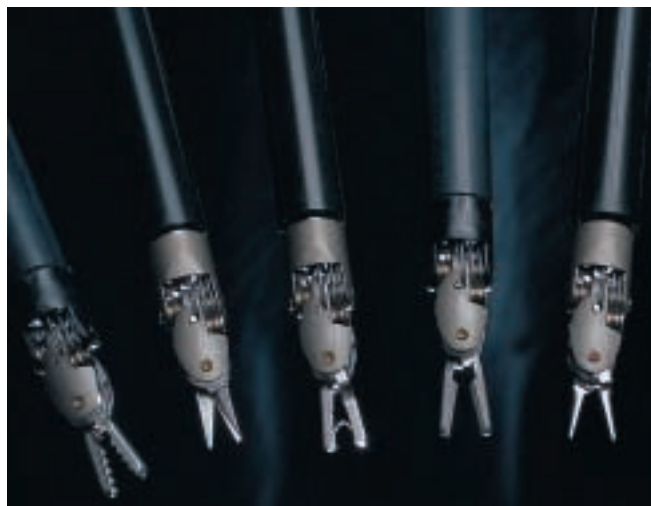
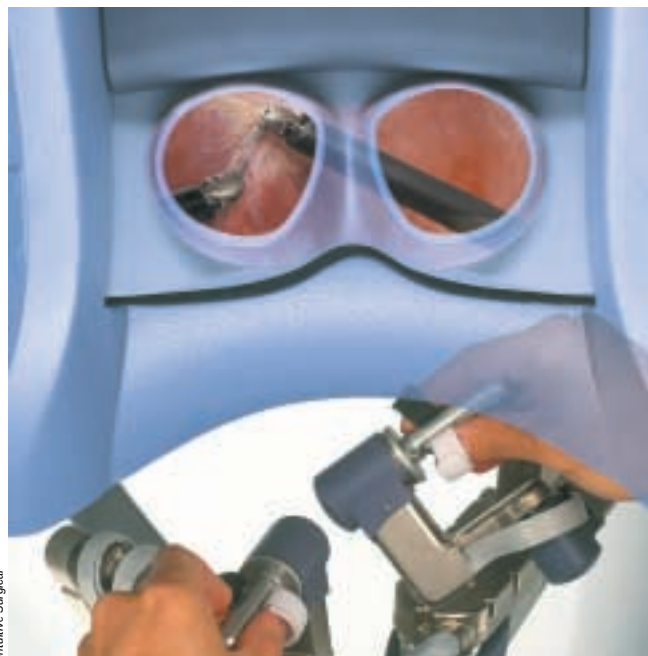
Les chirurgiens ont évidemment été très intéressés par ce progrès. En novembre 1994, lors d'un colloque à Rome, Valavanur Subramanian, de New York, a projeté un film de présentation de cette technique : celle-ci

s'est développée en Europe. Depuis le premier colloque international sur la chirurgie coronarienne à invasion minimale, à Utrecht, en septembre 1995, plusieurs milliers de personnes ont été opérées ainsi.

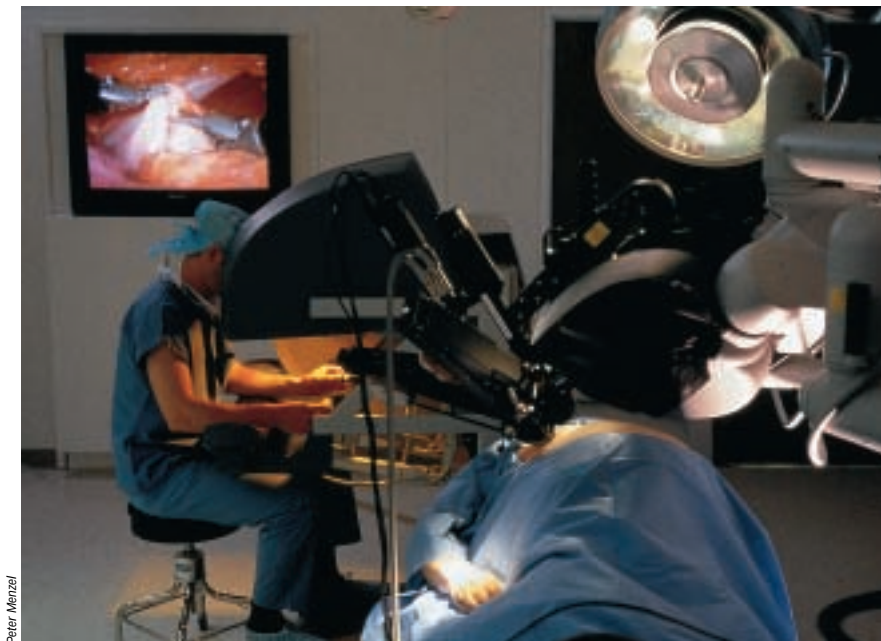
Cependant, la chirurgie sur cœur battant ne supplante pas totalement les pontages par chirurgie classique : pour de nombreux malades, l'opération classique reste la meilleure solution. Par exemple, lorsqu'un pontage à l'arrière du cœur est nécessaire, la chirurgie sur cœur battant est souvent délicate, car le chirurgien doit extraire le cœur partiellement



4. LE STABILISATEUR CARDIAQUE OCTOPUS immobilise par succion (à droite) une petite région du cœur battant pendant que les chirurgiens suturent le greffon de pontage. L'Octopus est fixé au dispositif métallique utilisé pour écarter la paroi thoracique (à gauche).



5. LE CHIRURGIEN VOIT aujourd'hui l'intérieur de la cavité thoracique grâce à une caméra insérée par une petite ouverture entre les côtes. Assisté par un robot, le pontage coronarien est effectué par de minuscules instruments (à droite, en taille réelle). Les mouvements de la main du chirurgien sur la console d'un ordinateur sont transmis aux instruments chirurgicaux (à gauche).



Peter Menzel

6. PENDANT UN PONTAGE CORONARIEN avec un robot, le chirurgien (à gauche) est assis à quelque distance du malade. Les autres membres de l'équipe chirurgicale observent le déroulement de l'opération sur un écran (en haut, à gauche).

de la cage thoracique : cette manœuvre déforme l'organe et diminue la quantité de sang qu'il pompe.

Pourtant, ces dernières années, des chirurgiens ont découvert des mesures simples qui évitent ces accidents. Mon collègue P. Gründeman a montré qu'une inclinaison de 15 à 20 degrés vers le bas de la table d'opération empêche une chute excessive de la pression sanguine. À l'hôpital de Recife, Ricardo Lima utilise le péricarde (la membrane qui entoure le cœur) pour soulever partiellement l'organe hors de la cage thoracique et accéder à l'envers du cœur sans compromettre la pression sanguine. Il a été suivi par de nombreux confrères.

D'autres solutions sont étudiées. Ainsi, en chirurgie abdominale, des opérations, telle l'ablation de la vésicule biliaire, s'effectuent par des incisions de la taille d'un trou de serrure, grâce à la chirurgie endoscopique : les chirurgiens insèrent un tube rigide relié à une caméra vidéo miniature (l'endoscope) par une incision et les instruments chirurgicaux par deux autres incisions : l'image de l'endoscope guide les mouvements du chirurgien. Pourquoi n'opérerait-on pas le cœur ainsi ?

À Stanford, des médecins ont mis au point des procédés de chirurgie cardiaque par endoscopie dans un thorax fermé et sur cœur arrêté, tandis que le malade est relié à une machine cœur-poumon.

La connexion à une machine cœur-poumon, ainsi que l'arrêt du cœur sans ouverture de la cage thoracique requièrent divers tubes et des cathéters manipulés à partir de l'aîne. Cependant, l'opération n'est pas toujours bien supportée. De plus, la suture d'un pontage est très exigeante, mais la panoplie des instruments actuels de la chirurgie endoscopique est restreinte, et la marge de manœuvre dans une cage thoracique fermée est étroite : les essais d'opération cardiaque par endoscopie ont été abandonnés après trois tentatives. Apparemment, on doit effectuer des ouvertures plus grandes (de six à neuf centimètres) pour obtenir des sutures fiables des greffons aux artères coronaires : au milieu de l'année 2000, plus de 6 000 malades avaient subi une telle opération des coronaires.

Un robot chirurgien

Les chirurgiens opéreront-ils un jour un cœur battant dans la cage thoracique fermée ? Les insuffisances de l'endoscopie classique seront peut-être compensées par des robots qui manipuleraient à distance des instruments chirurgicaux. Avec un tel équipement, les médecins visualisent en trois dimensions l'intérieur de la cavité thoracique, et les actions de l'opérateur sur une console seraient transmises aux instruments chirurgicaux dans le

thorax, sans tremblement et avec plus de précision.

Alain Carpentier et Didier Loulmet, de l'hôpital Broussais, à Paris, puis Friedrich Mohr, Volkmar Falk et Anno Diegeler, de l'Université de Leipzig, ont été les pionniers d'une telle chirurgie coronarienne à thorax fermé, avec cependant l'assistance d'une machine cœur-poumon. En 1998, ils ont combiné le procédé mis au point à l'Université de Stanford et le système de chirurgie endoscopique robotisé, nommé da Vinci.

En septembre 1999, à l'Université de l'Ontario, Douglas Boyd a effectué la première opération assistée par ordinateur, sur cœur battant et dans une cage thoracique close. Toutefois, l'opération a duré presque une journée. Au milieu de l'année 2000, des chirurgiens de Munich, de Leipzig, de Dresde et de Londres ont réduit le temps d'opération à moins de cinq heures pour des pontages coronariens simples, sur cœur battant et cage thoracique fermée ; les opérations ont été satisfaisantes.

Les techniques robotiques s'imposent progressivement. Bientôt les chirurgiens devront s'entraîner à la pratique des opérations coronariennes par endoscopie, de la même manière que les pilotes s'exercent dans des simulateurs de vol. Ensuite, d'autres innovations faciliteront sans doute la chirurgie des maladies cardiaques coronariennes : par exemple, grâce à un système à pression en cours de mise au point, les chirurgiens fixeront rapidement un pontage sans point de suture.

Les pontages coronariens seront peut-être un jour « dépassés » ; en attendant, la prévention des maladies cardiaques coronariennes et le perfectionnement constant des techniques restent des priorités.

Cornelius BORST est professeur de cardiologie expérimentale au centre médical de l'Université d'Utrecht, aux Pays-Bas.

Cornelius BORST et Paul F. GRÜNDEMANN, *Minimally Invasive Coronary Artery Bypass Grafting : An Experimental Perspective*, in *Circulation*, vol. 99, n° 11, pp. 1400-1403, 23 mars 1999.

Minimally Invasive Cardiac Surgery, sous la direction de Robbin G. Cohen et al., Quality Medical Publishing, 1999.

Minimal Access Cardiothoracic Surgery, sous la direction d'Anthony P.C. Yim et al., W.B. Saunders Company, 2000.
