

G. M. Jenkins ¹ Le corps et le carbone *

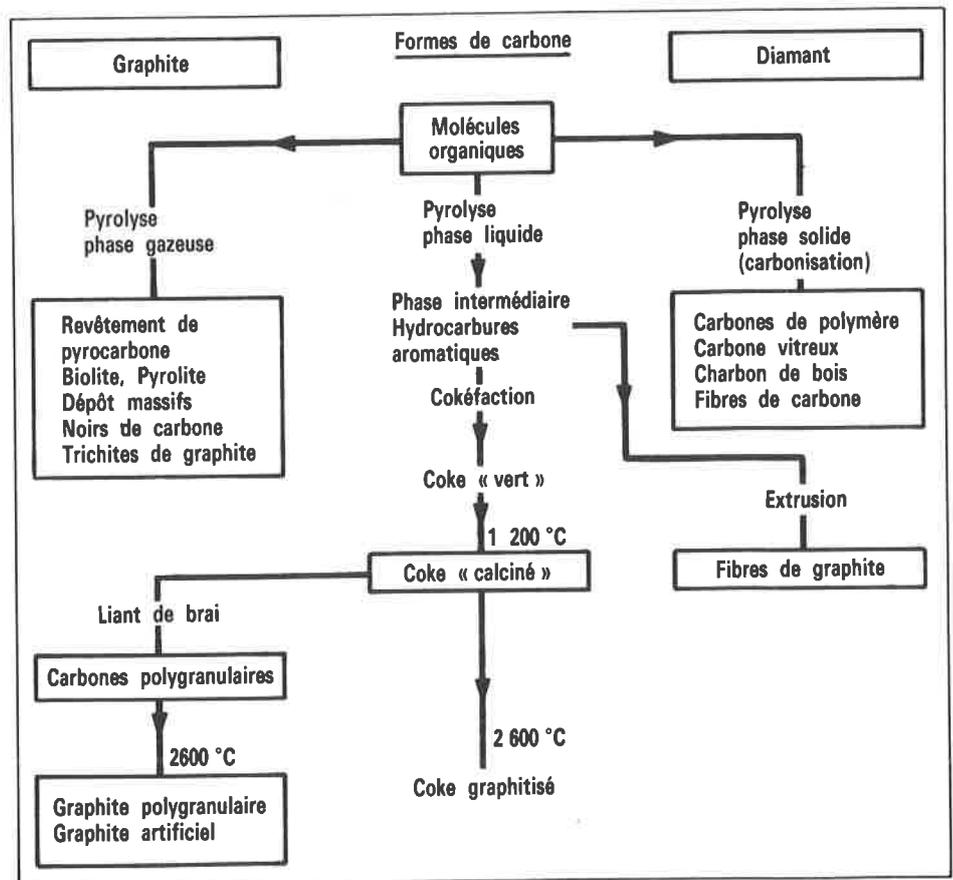
Les tissus vivants croissent de manière exubérante sur les surfaces de carbone et pénètrent par tous leurs pores. En outre, le carbone poli ne déclenche pas de processus entraînant la formation de caillots sanguins. Ces dix dernières années, de nouvelles formes de carbone ont été mises au point et leur forte résistance mécanique a permis la réalisation de toutes sortes d'implants.

Toutes les formes utiles du carbone, les diamants mis à part, consistent en diverses configurations défectueuses et déformées de feuillets de graphite. Chaque déformation confère au matériau un comportement mécanique caractéristique. Les feuilles de graphite peuvent être plates, à l'état d'énergie le plus bas, ou enroulées et constituent alors des « moustaches » ou trichites. Les carbones sont parfois sphéroïdaux (c'est le cas des pyrocarbones) ou formés de rubans disposés de manière irrégulière, comme dans le carbone vitreux, ou, au contraire, avoir une orientation privilégiée très nette, comme dans les fibres de carbone.

Les résistances des carbones varient et se classent en trois ordres de grandeur, depuis celles, relativement faibles, des graphites artificiels polygranulaires, utilisés pour la fabrication d'électrodes, jusqu'à celles de certains matériaux qui sont parmi les plus résistants que l'on connaisse, comme les trichites de graphite et les fibres de carbone. Il existe une étroite correspondance entre résistance et rigidité qui, l'une et l'autre, dépendent de la contribution relative que la chaîne atomique rigide C-C et le cisaillement interlamellaire faible apportent au comportement d'ensemble du matériau. Les carbones polygranulaires et le graphite artificiel sont les matériaux de carbone qui s'obtiennent le plus facilement et ils sont d'usinage aisé. On les fabrique en liant les grains de coke calciné dans un brai. L'agglomérat ainsi obtenu est cuit dans des fours portés à plus de 2 500 °C et donne des blocs d'un matériau polygranulaire d'une grande porosité à l'intérieur des grains et entre ceux-ci qui permet aux tissus vivants de se développer à travers ces pores ainsi formés. Les fabricants, comme Morganite, au Royaume-Uni, produisent des graphites artificiels classés parmi les matériaux de

haute résistance. Les difficultés qui surgissent dans les applications chirurgicales des graphites artificiels tiennent à leur faible résistance à l'abrasion. Les chirurgiens se trouvent déconcertés par un matériau qui s'effrite facilement sur leurs gants. Les grains sont aussi déplacés facilement par le tissu organique entourant

les gants. Les grains sont aussi déplacés facilement par le tissu organique entourant



Relations entre les diverses formes de carbone. Le diamant mis à part, toutes les formes utiles de carbone consistent en feuillets de graphite comportant des défauts et des configurations défectueuses qui confèrent au matériau des caractéristiques mécaniques propres

* De Spectrum 177

¹ Département de métallurgie et de technologie des matériaux de l'University College, Swansea

le matériau. Pour le rendre utilisable en chirurgie, il faut donc en modifier la surface par imprégnation et par revêtement. On peut produire des carbones polygranulaires plus résistants et plus durs en opérant à une phase intermédiaire de cuisson (en abaissant la température à 1 200 °C) mais ces produits sont alors difficiles à façonner.

Il est possible d'imprégner les graphites artificiels avec du brai, de l'alcool furfurylique, de la résine phénolique et ensuite de les carboniser pour obtenir un matériau à surface plus dure, résistant mieux à l'usure. Mais s'il y a des limites au renforcement des propriétés mécaniques que l'on peut obtenir en remplissant les pores de carbone, elles peuvent être dépassées si l'on introduit un second élément, comme le silicium. Les deux éléments réagissent alors l'un à l'autre et il y a diffusion entre eux.

Graphite artificiel à revêtement

J. Bokros, à San Diego, en Californie, a mis au point une technique pour revêtir d'un carbone pyrolytique, formé à partir d'hydrocarbure gazeux décomposé par la chaleur, les pièces fabriquées en graphite artificiel. Le cœur de la pièce est fabriqué en graphite artificiel, puis placé en un lit fluidisé dans lequel passe un mélange d'hydrocarbure gazeux, comme le méthane, et d'un gaz transporteur inerte. On maintient la température à moins de 1 500 °C pour s'assurer qu'un pyrocarbone d'aspect vitreux, ou carbone isotrope à basse température, est déposé uniformément sur toute la surface du graphite artificiel. La couche ainsi formée a, en général, une épaisseur d'un millimètre. Ce revêtement dote le matériau d'une résistance mécanique et d'une dureté exceptionnelles.

Les implants de carbone isotrope à basse température offrent une surface lisse au

tissu environnant. Une fois revêtue de cette couche, la surface de carbone présente de petites protubérances qui donnent une porosité superficielle; aussi, pour pouvoir l'utiliser pour la fabrication de valves auriculo-ventriculaires, faut-il polir ce matériau. Ce dernier a, par ailleurs, donné d'excellents résultats cliniques, notamment, dans la fabrication de pièces utilisées en chirurgie cardio-vasculaire et dentaire.

Un revêtement de carbone pur s'use rapidement contre le métal. On y remédie en fabriquant des « alliages » au silicium par introduction de silane dans les gaz envoyés dans le lit fluidisé. Le matériau ainsi revêtu de carbone-silicium, appelé « Pyrolite », est plus dur, plus rigide et beaucoup plus résistant à l'usure.

Carbones polymères vitreux

Le carbone vitreux est obtenu par pyrolyse contrôlée de certains polymères organiques. Nous avons mis au point une technique pour fabriquer des pièces de carbone vitreux en utilisant un précurseur de résine phénolique. Le « resol » liquide, qui est une résine synthétique, est versé dans des moules en matière plastique et durci par chauffage prolongé à 80 °C. Il est ensuite chauffé à plus de 1 200 °C ce qui le transforme en verre noir, de la forme de la pièce d'origine, mais de taille fortement réduite. Les pièces peuvent également être façonnées et polies à partir d'un bloc de résine moulé et, ensuite, cuites au four. Dans un cas comme dans l'autre, les pièces n'ont pas besoin de finition pour avoir une surface lisse, sans pores et d'un poli parfait. Bien que ce matériau soit d'une extrême dureté, il ne résiste pas à l'usure au contact des métaux, alors que seul ou associé à d'autres formes de carbone, l'usure est bien moins grande.

Le carbone vitreux ne provoque ni réaction inflammatoire au contact des tissus tendres

et osseux, ni aucune réaction de rejet ou réaction systémique dans les principaux organes, tissu, sang ou urine. Par suite de cette biocompatibilité exceptionnelle du carbone, avec les surfaces des tissus en contact avec l'air, le carbone vitreux est le matériau idéal pour les pièces de raccord traversant la peau.

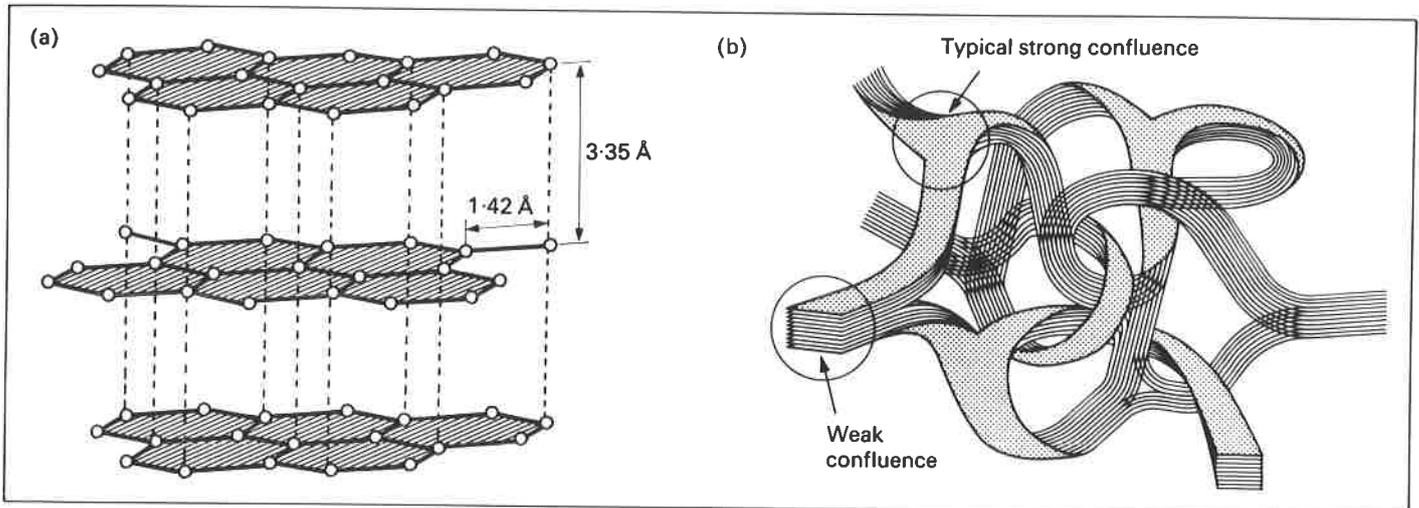
Fibres de carbone

Beaucoup de fibres polymères, comme celles de polyacrylonitrile (fibre Courtelle), une fois carbonisées, sont converties en fibres de carbone, forme fibreuse du carbone polymère. Leur rigidité et leur résistance dépendent du niveau d'orientation privilégiée des rubans de carbone du composant, laquelle dépend elle-même de leur élasticité et de la température du traitement thermique utilisé. Le procédé a été inventé par W. Watt, actuellement à l'Université du Surrey. Ces fibres sont fabriquées en fibres courtes ou en fils continus par Courtaulds, entreprise du Royaume-Uni, qui fabrique deux qualités de fibre, l'une de haute résistance, ayant un module de Young de 260 giganewtons au m² et une résistance axiale de 3 000 méganewtons au m² et une autre d'un haut module d'élasticité de 400 giganewtons au m² pour une résistance axiale de 2 000 méganewtons au m².

Une fibre de haute résistance a été utilisée avec succès, à Cardiff, pour réparer des ligaments. Elle sert de support autour duquel s'opère la régénération du nouveau tissu. La fibre de carbone est trop rigide pour remplacer directement le ligament. On la fabrique actuellement à l'échelle commerciale sous forme de fils retors souples.

Composites carbone-carbone

Des matériaux de carbone de haute résistance sont fabriqués à partir de fibre de



(a) A gauche : structure du graphite. Quand les feuillets sont à plat, ils se trouvent sous leur forme d'énergie la plus basse. Au contraire, ils sont parfois enroulés (en « moustaches », comme dans les graphites) ou sous forme sphéroïdale (comme dans les polycarbonés) ou sous forme de rubans répartis au hasard (comme dans le carbone vitreux) ou encore avec une orientation privilégiée très nette (comme dans les fibres de carbone).

(b) A droite : structure du carbone vitreux. Convergence forte typique. Convergence faible.

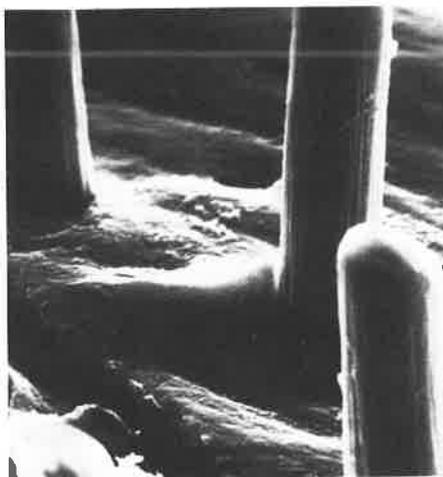
carbone, dont les interstices sont remplis avec du carbone. Au Royaume-Uni, les précurseurs à liant de résine et les matériaux à revêtement thermique ont été utilisés pour la fabrication d'implants chirurgicaux. A Swansea, nous nous concentrons sur une technique utilisant les précurseurs phénoliques à liant de résine mis au point conjointement avec British Petroleum.

Pour fabriquer des clous de fractures arrondis avec des fibres composites alignées dans l'axe de la tige, des fibres de carbone sont noyées dans une solution de résine phénolique et d'éthanol, contenant une dispersion colloïdale de graphite pour conserver la résistance de la matrice au cours de la carbonisation. Il est possible, ainsi, d'obtenir une feuille préimprégnée à partir du « résol » et du tissu en fibre de carbone.

Pour de multiples applications, comme le remplacement des os de la face et du crâne, les chirurgiens doivent disposer d'un implant de la forme analogue à la partie à remplacer ou à remodeler, dont le contour est parfois très compliqué. On fabrique, alors, un modèle en cire qui sert à faire un moule en plâtre de Paris, lequel est ensuite coupé en deux à l'aide d'une fine scie. Une feuille préimprégnée du matériau ci-dessus est placée entre les deux sections du moule et chauffée à 150 °C entre les plateaux d'une presse. A cette température et sous l'effet de cette légère pression, le matériau peut alors adopter facilement des formes complexes par thermoformage. On obtient ainsi un matériau, d'une résistance et d'une rigidité analogues à celles de l'os à remplacer, qui offre aux tissus des parties voisines une surface fibreuse poreuse propice à leur croissance, ce qui achèvera de maintenir en place « l'os » de remplacement.

Autres substrats

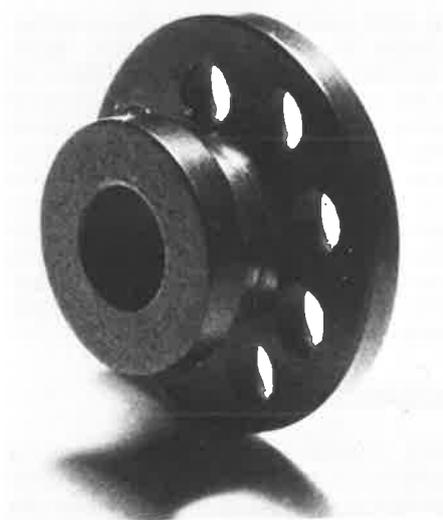
On pallie le manque de résistance et de plasticité du carbone et son façonnage difficile en utilisant des matériaux plus classiques revêtus d'une fine pellicule de carbone. Cette pellicule se forme par dépôt de vapeur, sur un substrat froid, qu'on obtient en faisant évaporer les atomes provenant d'une source de carbone au moyen d'un faisceau d'électrons à haute énergie. Les polymères, les céramiques et les métaux peuvent être revêtus ainsi d'une couche carbone imperméable de moins d'un micromètre d'épaisseur qui ne modifie pas la topographie de la surface ni les propriétés mécaniques du substrat. Cette technique sert, par exemple, à fabriquer des alvéoles pour l'implant de dents ou les cages valvulaires dans les opérations du cœur. Il est possible, à présent, de produire des tissus textiles habillés de carbone qui supportent la flexion et la vapeur des autoclaves sans se craqueler et sans écaillage du revêtement.



Tissu osseux poussant autour de filaments de carbone renforcés de fibre de carbone. Les fibres ont un diamètre de 8 μm . (Photo de D.H.R. Jenkins).

Le carbone et les tissus

Les travaux réalisés à la Faculté de médecine de Cardiff ont démontré que la croissance naturelle d'un tissu à la suite de sa rupture n'est nullement inhibée par les surfaces de carbone. Au contraire, la régénération des tissus est si vigoureuse que les grains des pièces en graphite artificiel implantées sont délogés sous leur poussée (comme les racines qui écartent les pavés en poussant) et arrivent rapidement, sans effet de rejet, jusqu'aux ganglions lymphatiques les plus proches. Le professeur O. Mack, de l'Eastman Clinic de Londres, a constaté que les carbones poreux les plus résistants sont les charbons de bois obtenus



Dispositif usiné (à Swansea) en résine phénolique, photographié avant d'être cuit au four d'où il sortira sous forme de carbone vitreux. Le trou central est prévu pour les raccords des vaisseaux sanguins ou du système nerveux central. Les petits trous de la périphérie permettent au tissu de se reformer en s'y accrochant, constituant ainsi un ancrage définitif.

avec les bois durs africains. Il a réalisé des pivots pour l'implantation de dents avec ce matériau et s'est aperçu que la croissance du tissu, à sa surface, était si vivace que le carbone poreux était déchiré sans qu'une inflammation puisse être tenue pour responsable des dégâts.

Des travaux réalisés au Pays de Galles ont montré que les carbones poreux sont rapidement envahis par les tissus environnants, dans les ligaments, les muscles et les os. En outre, si une tige de carbone renforcé à la fibre de carbone est insérée dans un tissu tendre vivant et y est laissée pendant deux mois, avec une des extrémités de la tige ressortant d'environ 5 mm de la peau, les tissus repoussent à la surface du carbone exposée à l'air et la recouvrent bientôt d'une nouvelle enveloppe saine. Une régénération de ce genre sur des implants métalliques est très rare. Les tiges de matériau analogue, transperçant un tissu tendre et dépassant de la peau de plus de 15 mm se retrouvent fermement ancrées par les tissus environnants, après un mois seulement. Cette propriété propre au carbone d'établir une interface cohérente avec les tissus vivants, dans les implants qui dépassent de la peau, a été utilisée pour l'implantation de raccords intraveineux permanents et pour la fixation de prothèses dentaires.

Une autre propriété distinctive du carbone est qu'il ne déclenche pas de réactions enzymatiques en chaîne dans le sang, entraînant la formation de caillots. Cette propriété est particulièrement utile dans la fabrication des valvules et pour les appareils auxiliaires associés au système cardiopulmonaire. Les surfaces les plus compatibles avec les substances entrant dans la composition du sang sont les carbones purs qui ont été polis.

Applications orthopédiques

Les clous de fracture servent à fixer, de manière rigide, les fragments d'os pendant que la réduction de la fracture se fait naturellement. Ils sont fabriqués, en général, en acier inoxydable et ressortent de la chair pendant ce processus. Des infections ont lieu fréquemment à l'entrée et à la sortie du clou, spécialement quand une réaction du tissu épidermique vient agrandir les orifices de passage du clou.

Des jeux de clous en carbone renforcé de fibre de carbone (CFRC) ont été fabriqués avec de la fibre à « haut module » pour des techniciens de São-Paulo, dans le cadre d'un marché conclu avec le gouvernement britannique. La rigidité et la résistance des clous étaient analogues à celles des clous d'acier inox.

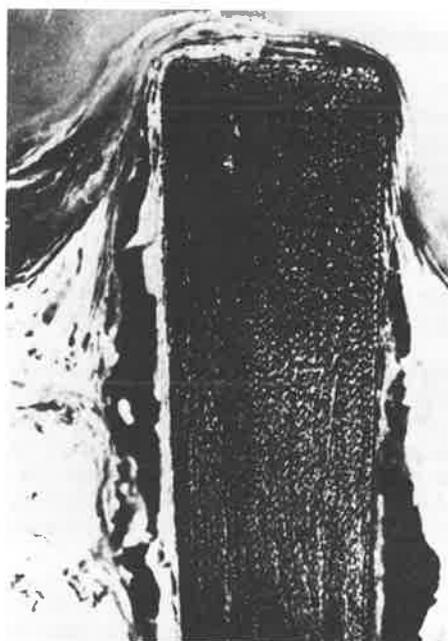
Les forces appliquées sont étonnamment peu importantes : la force de traction n'étant exercée que par le muscle en relaxation et l'épiderme, la résistance des clous est amplement suffisante. Les clous en CFRC ont été utilisés avec succès en

chirurgie et ni phénomène de rejet, ni inflammation due à une infection n'ont été constatés.

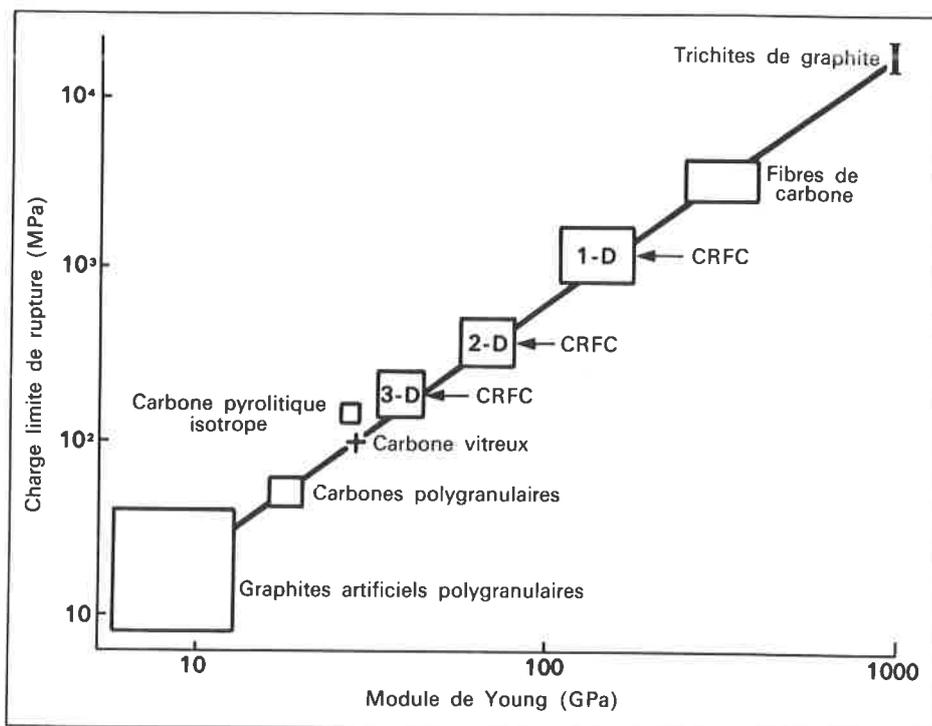
Dans certains cas de fractures osseuses, des plaques métalliques sont utilisées pour retenir les parties brisées. Ce sont des bandes de métal incurvées de forme prévue pour l'adaptation à un os de diamètre ordinaire. Des trous sont ménagés pour recevoir les vis de même métal qui traversent l'os diamétralement. Un écart entre la rigidité de l'os et de la plaque provoque de l'ostéoporose et un mode de croissance osseuse particulier provenant des efforts anormaux qui s'exercent à l'endroit de la plaque et autour de celle-ci. Les tissus osseux n'ont pas d'autre information génétique régissant leur croissance qu'une réaction à un mode d'effort reconnaissable. Comme la rigidité des matériaux de carbone correspond assez bien à celle de l'os, on les utilise désormais pour la fabrication de ces plaques.

Le meilleur matériau « tout carbone » pour cette application est le carbone renforcé de fibre de carbone (CRFC). Bien qu'il ne soit pas aussi résistant que les métaux et ne puisse pas être déformé plastiquement par les chirurgiens pour s'adapter au contour des os, sa biocompatibilité supérieure en fait un matériau de choix pour la réduction osseuse, lorsque la fracture de l'os est si mauvaise qu'une partie du tissu tendre extérieur doit être éliminée. Les nouveaux tissus tendres repoussent mieux à la surface du carbone qu'à la surface du métal.

Les vis de fixation métallique mises en contact avec le carbone, dans le milieu liquide salin de l'organisme, créent un effet de pile électrique pouvant provoquer la corrosion du métal et libérer des ions



Section d'une tige en CRFC enfoncée dans la peau recouverte par la régénération des tissus. (Photo by D.H.R. Jenkins).



Résistances des diverses formes de carbone à propriétés mécaniques variant en fonction de leur élasticité exprimée en module de Young : Trichites de graphite. Fibres de carbone. CRFC. Carbone pyrolitique isotrope. Carbone vitreux. Carbones polygranulaires. Graphites artificiels polygranulaires.

métalliques. Seul le titane, qui entraîne rapidement un phénomène de passivation, peut être associé de manière acceptable au carbone. Les plaques et vis métalliques à revêtement de carbone apportent donc une solution au problème, bien qu'il soit difficile de conserver leur habillage intact au cours des manipulations et pendant leur mise en place.

Un autre système, innové au Royaume-Uni, consiste à utiliser des résines époxy renforcées à la fibre de carbone. Elles sont faciles à travailler, mais comme les fibres de carbone sont entièrement recouvertes, l'excellente biocompatibilité du carbone reste inutilisée. La fibre de verre serait alors tout aussi indiquée. En outre, les résines époxy ne donnent pas toujours de bons résultats cliniques, encore qu'une maison internationale assure avoir trouvé une formule de matériau n'endommageant pas les tissus.

Articulations artificielles

Dans l'opération de la coxarthrose, la technique chirurgicale couramment utilisée consiste à ôter la partie supérieure du fémur, à en vider la moelle et à laisser exposé le tissu spongieux de l'os puis à remplir la cavité ainsi formée d'une pâte de plastique. La tige de la prothèse est enfoncée dans la pâte qui se polymérise ensuite et forme un manchon maintenu fermement, car le plastique pénètre dans la couche spongieuse du fémur. La tête de la prothèse consiste en une sphère métallique polie qui vient s'emboîter dans une coupelle

de polyéthylène maintenue par collage à l'os pelvis. Cette technique a été mise au point par Charnley à Wigan, dans le nord de l'Angleterre. Le phénomène de rejet, un relâchement à l'interface métal adhésif et les fractures dues à la corrosion ont conduit à remettre la méthode en question. On espère qu'en remplaçant les matériaux utilisés jusqu'ici par du carbone, on réussira à réaliser des progrès importants. Pour la tige de la prothèse il faut utiliser du CRFC ayant des fibres alignées parallèlement à l'axe de l'os et pour la partie arrondie, un carbone dur pyrolite ou carbone vitreux. La cavité articulaire pourrait être en CRFC et devrait s'emboîter dans un cylindre court de même matériau, usiné en prévoyant un pas de vis permettant de visser la pièce dans la cavité de l'articulation de la hanche. Nous avons déjà réalisé des têtes de fémur en carbone vitreux qui ont donné de bons résultats.



Têtes de fémur fabriquées en carbone vitreux.



La régénération du tendon s'effectue au-dessus d'une prothèse en fibre de carbone. A gauche le « néo-tendon » comparé au tendon naturel, à droite. Photo by D.H.R. Jenkins).

Ligaments et tendons

Les techniciens de l'Université du Pays de Galles ont déjà utilisé, avec succès, de la fibre de carbone pour refaire des ligaments défectueux ou déchirés. Au cours des premières expériences, on a pu remplacer des tendons d'Achille, chez le mouton, par une bande de fibre de carbone formant une double tresse.

En quelques jours, les animaux pouvaient supporter leur propre poids et, dans les trois semaines suivant l'opération, ils couraient normalement. Six mois plus tard, le carbone était enfoui sous une nouvelle couche de tissus analogues au tendon, dotés des fonctions physiologiques et d'une forme anatomique normales. Un an après, un nouveau tendon était reconstitué, en tout point équivalent au tendon non traité.

L'équipe de Cardiff a réussi à remplacer certains ligaments chez les personnes souffrant de faiblesse chronique des ligaments. Elle a aussi remplacé ou renforcé des ligaments chez des sujets souffrant de faiblesses des genoux ou des chevilles. Les autres applications cliniques à citer sont le renforcement des ligaments du poignet et de l'articulation de l'épaule.

Valvules du cœur

On utilise actuellement, en chirurgie, deux types de valvules auriculo-ventriculaires construites en matériaux synthétiques, l'un de type « boule-cage », l'autre à disque basculant. Le premier type est de plus en plus utilisé car il n'offre pas d'obstruction à l'écoulement du sang. Un dispositif d'occlusion, formé par un disque de plastique pivote à l'intérieur d'un anneau

métallique encerclé lui-même par un anneau prévu pour coudre l'armature au tissu cardiaque qui l'entoure. Ces matériaux peuvent provoquer des thromboses que l'on prévient par l'administration permanente de médicaments antithrombogènes. Les surfaces polies de carbone pourraient éliminer la difficulté, mais il faut élaborer un matériau pouvant supporter les turbulences et les milliers de cycles d'effort sans usure, sans dégradation et sans provoquer de rupture due à la fatigue, ce que les nouveaux carbones permettent d'obtenir.

Les anneaux et les cages métalliques des dispositifs d'occlusion en carbone forment une pile électrique. Les surfaces métalliques obligent donc les patients à recevoir des médicaments antithrombogènes. On a cherché à remédier à cela en habillant les anneaux de couture et le métal avec une fine pellicule de carbone déposée en phase vapeur.

L'autre solution, qui s'impose, consiste à fabriquer des valvules tout carbone. Au cours de notre collaboration étroite avec l'Institut de cardiologie de São-Paulo, il nous fut demandé d'utiliser un dispositif à disque basculant et anneau, par suite de la faible résistance qu'il oppose à l'écoulement sanguin. Le disque devait avoir une surface parfaitement polie et pouvait basculer à des angles de près de 90° pour assurer le débit maximal du sang. Il devait aussi pouvoir se déplacer par rotation sur son axe, assez facilement, afin d'éviter que la croissance de nouveaux tissus ne le recouvre ou qu'il y ait usure en un point donné. Il était précisé de ne pas utiliser de charnières afin que le sang ne soit pas soumis à des efforts locaux de « cisaillement » très élevés.

La valvule artificielle retenue possédait un disque de carbone vitreux pivotant librement autour d'un axe central, mais d'ouverture limitée par une paire de broches arrondies en CRFC prévues sur l'anneau extérieur. Celui-ci a été fabriqué en graphite artificiel renforcé et durci par imprégnation répétée de résine



Valvule du cœur fabriquée au Brésil en carbone vitreux. De forme complexe, la prothèse est fortement polie. C'est un exemple remarquable des pièces que l'on fabrique en carbone monolithique.



Exemples d'implants dentaires en carbone vitreux fabriqués à Swansea, mais que l'on pourrait facilement façonner en atelier dans les hôpitaux. L'implant, à droite, peut servir de prothèse dentaire une fois sa couronne garnie d'une jaquette de porcelaine à l'aide d'un mastic ordinaire. La pièce à gauche est rainurée, pour permettre aux tissus de la muqueuse de pousser autour et de s'y accrocher. Un trou prévu dans son axe permet d'adapter un tenon en or et une couronne de porcelaine.

phénolique suivie d'une carbonisation à 1 000 °C. L'angle d'ouverture obtenu était supérieur à 70°.

Nous avons également fabriqué un autre dispositif d'occlusion en carbone vitreux, à l'aide d'un moule de polysiloxane. Il a été dessiné par le docteur N. McLeod de l'Université d'Edimbourg qui en a étudié minutieusement la configuration pour obtenir un débit de sang calculé. Il pivote sur des crochets en saillie prévus sur l'anneau de l'armature.

Réalisations futures

Depuis longtemps, on utilise du charbon de bois pour filtrer les poisons du sang. Quand on se sert de charbon de bois dans les reins artificiels, on le revêt de substances cellulosiques pour prévenir la fragmentation. Il semble que l'on pourra remplacer, à l'avenir, le charbon de bois des reins artificiels par des carbones polymères se présentant sous forme de fibres ou de verres poreux. Une gamme de textiles en fibre de carbone activée, permettant d'absorber toute une série de poisons sanguins, a été élaborée dans l'un des laboratoires de recherche du Gouvernement du Royaume-Uni.

Il est fort possible qu'en ayant recours à des valvules du cœur tout carbone, l'administration permanente de médicaments antithrombogènes devienne inutile. Les pas de vis en CRFC pourront être utilisés pour fixer des appareils sur les os, au lieu des vis de métal ou des adhésifs utilisés jusqu'ici, ce qui amènera à fabriquer des prothèses « tout

carbone » permettant aux chirurgiens de remplacer les articulations de la hanche chez les jeunes atteints de coxarthrose. La biocompatibilité des prothèses de carbone, qui traversent l'épiderme, offre la possibilité de raccorder de manière permanente des pièces détachées artificielles du corps directement aux os. On pourra, ainsi, faire des raccords permanents des vaisseaux sanguins pour

éliminer les poisons de manière artificielle par une prothèse extérieure au corps, ainsi que du système nerveux, en particulier dans les aires corticales de la vue et de l'ouïe, par exemple.

Il est évident que, le meilleur moyen d'encourager les progrès est de faire connaître aux chirurgiens et à leurs

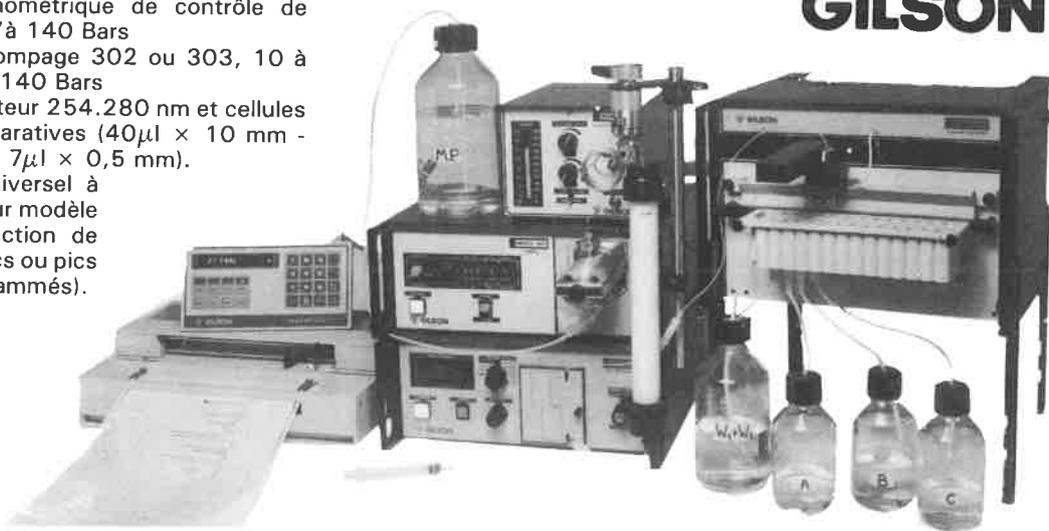
techniciens, les techniques qui leur permettent de fabriquer eux-mêmes des prothèses de carbone. Un grand nombre de pièces détachées répondant à des fins spécifiques peuvent être fabriquées sur place. L'art prétendument « noir » de la technologie du carbone est donc un mythe qu'on a intérêt à faire disparaître pour en exposer les vertus au grand jour.

CHROMATOGRAPHIE LIQUIDE SEMI PREP. OU PREPARATIVE DE ROUTINE

• Ensemble isocratique GILSON

- 1 module manométrique de contrôle de pressions jusqu'à 140 Bars
- 1 module de pompage 302 ou 303, 10 à 100 ml/mn - 0-140 Bars
- 1 module détecteur 254.280 nm et cellules de mesure préparatives ($40\mu\text{l} \times 10\text{ mm}$ - $10\mu\text{l} \times 2\text{ mm}$ - $7\mu\text{l} \times 0,5\text{ mm}$).
- 1 collecteur universel à micro-processeur modèle 201 pour collection de pics (tous les pics ou pics choisis et programmés).

*Ensemble
pour l'isocratique
préparative.*



GILSON France un constructeur français à votre service
72, rue Gambetta 95400 VILLIERS LE BEL Tél: (3) 990-54-41