

DISPOSITIFS MÉDICAUX
& PROGRÈS EN

ORTHOPÉDIE

Sommaire

3

PRÉFACE

4

L'orthopédie, une histoire française

7

PROTHÈSE TOTALE DE HANCHE

La mobilité retrouvée

11

PROTHÈSE TOTALE DE GENOU

L'ultime recours

15

PROTHÈSE D'ÉPAULE

Retrouver une mobilité complète

19

RACHIS

Rétablir le tuteur du corps humain

23

TRAUMATOLOGIE

Les os « mis sous tutelle »

27

SUBSTITUTS OSSEUX

Bientôt mieux que l'os lui-même

31

GLOSSAIRE

Les mots techniques ou scientifiques expliqués sont accompagnés dans le texte du symbole 

34

SOURCES et REMERCIEMENTS

Préface

Chirurgie orthopédique et évolution technologique



Professeur Norbert Passuti,

Président de la Sofcot

Ce fascicule présente l'histoire des principales innovations qui ont accompagné le développement de notre discipline et de leurs créateurs. Ces grands noms de la chirurgie orthopédique, forts de leur pratique et de leur capacité d'invention, ont créé, souvent avec l'aide d'ingénieurs compétents et spécialistes de la mécanique et des matériaux, les outils que nous utilisons aujourd'hui

au quotidien. Les praticiens français ont largement contribué à ces progrès et aujourd'hui encore, un hommage leur est rendu par la confrérie internationale des chirurgiens de la spécialité. Le rôle de notre société savante est surtout d'être tournée vers l'avenir et d'anticiper les grands axes de l'évolution potentielle de notre profession. Lesquels seront conditionnés par plusieurs défis essentiellement sociétaux, notamment l'aspiration des patients à des interventions moins invasives, éventuellement en ambulatoire, l'attente d'implants personnalisés - du « sur mesure » après le « prêt-à-porter » actuel - et l'assurance de les garder à vie ; et ce, alors que nous sommes confrontés à une démographie des chirurgiens en déficit chronique par rapport aux besoins de la population.

Seule la technologie pourra répondre et aider la discipline à relever ces défis avec des concepts fortement innovants. L'amélioration des dispositifs médicaux doit notamment permettre de développer les actes de chirurgie ambulatoire, ouvrant ainsi des perspectives très importantes dans le cadre du remplacement prothé-

tique et de la réparation ligamentaire et cartilagineuse. Cette évolution est un défi que devra relever notre discipline au cours des prochaines années. La robotique chirurgicale est l'un de ces outils avec son énorme potentiel de démultiplication de la dextérité du chirurgien dans des espaces contraints sans visibilité directe. Elle autorisera des interventions mini-chirurgicales alors que cette spécialité est réputée traumatisante compte tenu des territoires anatomiques et des organes concernés.

Les biomatériaux[®] et les structures composites[®] vont révolutionner le concept même de prothèse orthopédique en s'intégrant parfaitement à leur environnement anatomique sans en perturber le subtil équilibre physiologique. L'imagerie, en particulier l'extrême précision de ses reconstructions tridimensionnelles couplée à des imprimantes 3D, permettra de fabriquer *in situ* l'ancillaire[®], la prothèse ou son moule au plus près des contingences anatomiques d'un patient.

Ces avancées indiscutables ne doivent pas faire oublier que le geste du chirurgien, son expérience et son engagement auprès du patient resteront les clefs essentielles de la réussite d'une intervention toujours délicate dans un contexte d'asepsie[®] sensible au regard de la gestion des nombreux outils et des prothèses introduits dans le cadre du théâtre opératoire.

La réflexion des chefs de service, de département ou de pôle doit être permanente, parallèlement à l'introduction des progrès technologiques, pour améliorer l'organisation et les processus en vigueur dans leur unité de soins et surtout la sécurité du patient et des soignants. La mission principale de notre société savante et de ses partenaires est de les accompagner dans ces réflexions.

L'orthopédie, une histoire

L'orthopédie vise à entretenir toutes les composantes de l'appareil locomoteur (os, articulations, ligaments, muscles, tendons, colonne vertébrale) pour le maintenir en état de fonctionnement tout au long de la vie du patient. En ce début du XXI^e siècle, et bien qu'en apparence arrivée à maturité, cette discipline doit relever un défi de taille : celui de la lutte contre la dépendance d'une population vieillissante et toujours plus nombreuse.

Il semble que l'intérêt des hommes pour la traumatologie et les dégénérescences de l'appareil locomoteur soit aussi vieux que l'humanité elle-même : certains archéologues attestent de l'existence de prothèses et d'aides à la marche dès la Préhistoire ! Mais c'est réellement de l'Antiquité égyptienne puis gréco-romaine que datent les premières traces de l'intérêt porté aux problématiques traumatologiques. Le grand Hippocrate lui-même consacra six de ses livres aux traumatismes du rachis, un enseignement tiré de son observation des guerres médicales et du Péloponnèse. Hippocrate mit également au point ce qui pourrait presque apparaître comme le tout premier dispositif médical orthopédique, le célèbre banc d'Hippocrate : cet outil consistait en une planche de bois permettant d'immobiliser le membre démis pour qu'il se ressoude

dans le cas d'une fracture ou se remette en place dans le cas d'une luxation.

Toutefois, il fallut attendre le XVIII^e siècle pour que le mot « orthopédie » fasse son apparition. C'est un chirurgien français, Nicolas Andry de Boisregard, qui, le premier, utilisa le terme en 1741. La deuxième moitié du XVIII^e siècle et le XIX^e siècle virent quelques grandes figures s'intéresser à leur tour aux dégénérescences du squelette. Parmi eux, Léopold Ollier (disciple d'Amédée Bonnet qui consacra son ouvrage aux problèmes d'ossification et mit au point des appareillages de redressement des os), Gabriel Pravaz (qui n'eut pas comme seul fait d'armes d'inventer la seringue hypodermique à piston, lui qui se pencha également sur les luxations de la hanche) ou encore Jules-Émile Péan (qui mit au point la première prothèse articulaire d'épaule).

1741



Nicolas Andry de Boisregard invente le terme d'orthopédie.

1890



Première prothèse de genou de Thomas Gluck.

1893



Première prothèse d'épaule de Jules-Émile Péan.

1923



Prothèse de hanche de Marius Nygaard.

1939



Enclouage de Gerhard Küntscher.

1946



Première prothèse de hanche produite en nombre par Jean et Robert Judet.

française

TRAUMATOLOGIE, L'INNOVATION DANS LA GUERRE

Indubitablement, c'est le xx^e siècle qui marque l'âge d'or de l'orthopédie et de la traumatologie. Les progrès réalisés dans le domaine de l'anesthésie y participèrent grandement, permettant aux chirurgiens d'effectuer des opérations jusqu'alors inimaginables. En outre, les deux conflits mondiaux qui marquèrent le siècle ont joué un rôle important dans l'innovation chirurgicale orthopédique. Indéniablement, l'histoire de cette spécialité médicale est indissociable de celle des guerres : « *La chirurgie traumatologique a toujours existé, elle fait partie de l'Histoire. Et, en filigrane, il y a malheureusement les guerres : ce sont des périodes difficiles mais au cours desquelles les innovations des techniques d'anesthésie et de réparation ont évolué car >>>*

À SAVOIR

NICOLAS ANDRY DE BOISREGARD, UNE FIGURE CONTROVERSÉE

Nicolas Andry de Boisregard (1658-1742) fut le premier à reconnaître l'importance de considérer les déformations du corps des enfants comme un sujet d'étude à part. Ceci explique l'étymologie grecque du terme : ortho, qui signifie droit, et paidos, l'enfant. Son traité, intitulé « *Orthopédie, ou l'art de prévenir et corriger les difformités du corps chez les enfants, le tout par des moyens à la portée des pères et mères et toutes les personnes qui ont des enfants à élever* », ne s'adressait pas à proprement parler directement aux chirurgiens et médecins. Il ambitionnait alors exclusivement de

permettre le redressement des enfants tordus, c'est-à-dire souffrant de pied bot, de déformation du dos etc. Toutefois, ni son ouvrage ni sa personnalité ne firent l'unanimité, comme en témoigne le *Dictionnaire des Sciences Médicales* (édition Panckoucke, 1820) : « *S'il eût consacré à d'utiles travaux le temps qu'il a perdu dans les intrigues avilissantes, il aurait pu se placer au rang des plus célèbres médecins que la France a produits.* » Néanmoins, Nicolas Andry de Boisregard donna leur emblème aux orthopédistes, en l'occurrence « l'arbre tors » dont la gravure figure dans son livre.

1959



Introduction du ciment dans la fixation de la prothèse de hanche par John Charnley.

1961-1962



P. R. Harrington met au point un nouveau système de tige-crochets pour le rachis.

1963



Mise au point de la visée pédiculaire pour le rachis par Raymond Roy-Camille.

1975



L'école de Strasbourg met au point l'enclouage verrouillé.

1983



Instrumentation Cotrel-Dubousset pour le rachis.

1985



Prothèse inversée d'épaule de Paul Grammont.

1987



Première implantation mondiale de substitut osseux à Nantes.

>>> *depuis très longtemps, on a cherché à réparer les traumatismes et les fractures. Il fallait trouver, durant les conflits, des solutions réparatrices* » explique le Professeur Norbert Passuti, Président de la Société française de chirurgie orthopédique et traumatologique (Sofcot). En effet, c'est au cours de la Première Guerre mondiale que l'orthopédie cessa d'être exclusivement infantile. L'horreur des blessures de la Grande Guerre, leur grand nombre et leurs typologies différentes de ce qui était jusqu'alors connu confrontèrent les chirurgiens à de nouvelles exigences : l'amputation, longtemps l'alternative privilégiée ou du moins l'ultime recours, céda le pas à des techniques inspirées de l'orthopédie infantile. C'est durant cette période que l'on vit apparaître des centres opératoires des fractures, des centres orthopédiques et autres centres de physiothérapie pour soigner les très nombreux soldats victimes de fractures et de traumatismes. Les premières prothèses furent mises au point même si elles étaient relativement rudimentaires et avaient pour but de remplacer un membre amputé. C'est d'ailleurs en 1918 que fut fondée la Société française d'orthopédie, ancêtre de l'actuelle Sofcot. L'entre-deux-Guerres puis la Seconde Guerre mondiale apportèrent eux aussi leur lot d'innovations. Parmi elles, il faut citer les cupules fémorales⁶ de Smith-Petersen, le clou de Gerhard Küntscher (mis au point pour remettre sur pied les soldats au plus vite) et les incontournables frères Jean et Robert Judet qui conçurent, entre autres, une prothèse de hanche.

DE LA TRAUMATOLOGIE AU SERVICE RENDU AU PATIENT

« Puis, les décennies cinquante et soixante ont été significatives dans le développement de la chirurgie orthopédique : c'est à partir de ce moment-là que toutes les prothèses ont vraiment été développées. De la réparation et la traumatologie, nous sommes entrés dans l'ère de l'orthopédie adulte et infantile avec l'essor des prothèses et des nouveaux matériaux. Ce fut une véritable révolution dans le service rendu au patient », explique le Professeur Passuti. Et c'est la prothèse de hanche qui figure en tête du peloton avec la découverte historique de John Charnley en 1962. La France fut également le théâtre de nombreuses innovations orthopédiques avec, par exemple, l'instrumentation révolutionnaire pour le rachis d'Yves Cotrel et Jean Dubousset en 1983, la prothèse d'épaule inversée du Professeur Paul Grammond ou le travail mené sur les substituts osseux par l'École de Nantes depuis deux décennies. Et le Professeur Passuti de résumer : « En France, la chirurgie orthopédique est relativement ancienne en terme de reconnaissance. Dans chacune des branches de la discipline, il y a eu beaucoup d'innovations françaises. Et si beaucoup sont issues de concepts de chirurgiens orthopédistes, c'est aussi parce qu'il y a un lien avec l'industrie que cela a été rendu possible. Cette relation est en effet obligatoire pour permettre le développement et la mise en application des innovations. » Dans tous les cas, c'est toujours une aventure d'équipe. Chirurgiens et industriels ne peuvent travailler les uns sans

À SAVOIR

LES DÉFIS À VENIR

Si les techniques orthopédiques ont progressé à pas de géant au cours des soixante dernières années, des nouveaux défis restent à relever, comme l'explique le Professeur Norbert Passuti : « L'évolution de notre discipline, comme beaucoup d'autres disciplines chirurgicales, est liée à l'évolution de l'imagerie, du diagnostic, des gestes guidés et de l'utilisation d'outils percutanés. Nous nous tournons aussi de plus en plus vers les biomatériaux : l'évolution de notre discipline est liée à l'évolution de la biologie. »

Industriels et chercheurs se penchent également sur le concept d'une prothèse dite à vie. Car si les matériaux et les progrès réalisés en la matière ont effectivement augmenté l'espérance de vie des prothèses, le défi est aujourd'hui d'inventer celles qui vivront aussi longtemps que leur propriétaire.

les autres : il y a bien sûr la technique opératoire mais les instrumentations étant de plus en plus précises et compliquées, il y a également un degré de technicité qui implique un réel partenariat et une formation. Avec un même but : permettre au patient de recouvrer une qualité de vie normale. En cela, l'orthopédie lui rend un vrai service. ■

PROTHÈSE TOTALE DE HANCHE

La qualité de vie retrouvée

Des millions de gens ont subi la pose d'un implant prothétique de hanche. Cette généralisation du remplacement de l'articulation malade a considérablement changé la vie de ces patients, autrefois condamnés à l'immobilisation, si ce n'est pire. Loin d'être un dispositif de confort, la prothèse totale de hanche permet généralement de recouvrer une vie normale.

À QUOI ÇA SERT ?

La Prothèse totale de hanche (PTH) est préconisée pour remplacer l'articulation naturelle endommagée : « *Sa pose est recommandée quand l'articulation est usée et douloureuse. Lorsque les douleurs deviennent difficilement supportables et que le traitement médical (...) ne soulage plus, le remplacement prothétique devient la seule solution* » (fiche pratique « *Vivre avec une prothèse de hanche* », Sofcot, 2003). La fonction d'une prothèse totale de hanche est donc de supprimer la douleur et de permettre au patient de retrouver sa qualité de vie... La cause la plus importante des douleurs est l'arthrose, c'est-à-dire la destruction du cartilage soit au niveau de la tête fémorale, soit au niveau de la partie de l'os du bassin où vient s'articuler ladite tête fémorale, appelée le cotyle[®]. Mais la pose d'une prothèse peut également être nécessaire lors d'une luxation congénitale de la hanche (de plus en plus rare en Europe), une nécrose de la tête fémorale due à une altération de la circulation sanguine, certains cas d'obésité, la pratique intensive de



Prothèse totale de hanche sans ciment

certaines sports et, bien entendu, une fracture du col du fémur.

COMMENT ÇA MARCHE ?

La prothèse se compose de deux parties : l'une, la pièce fémorale, remplace la partie haute du fémur et comporte une tête sphérique ; elle s'emboîte dans la pièce cotyloïdienne, ou cupule, implantée dans l'os du bassin. Composée de divers matériaux, la PTH est soumise à des frottements provoquant une usure. On disait autrefois que la durée de vie d'une prothèse était de dix ans. Ceci n'est plus vrai à l'heure actuelle avec les nouvelles prothèses dont la fixation et la résistance à l'usure ont été très fortement améliorées au point, dans de nombreux cas, d'être implantées pratiquement à vie sous réserve d'un contrôle régulier.

UNE HISTOIRE D'INNOVATIONS

Dès le ^{xix}^e siècle et jusqu'aux années quarante, des tentatives pour réparer les dégâts articulaires de la hanche furent menées, quitte à employer des matériaux pour le moins étonnants : plâtre, buis, plomb, cuivre, feuilles d'or, argent, zinc, ivoire et même de la vessie de porc ! Toutes furent des échecs et il fallut attendre 1923 pour que des résultats tangibles fussent obtenus par l'Américain Marius Nygaard Smith-Petersen. Il mit en effet >>>

>>> au point des fines cupules fémorales en verre qu'il retirait au bout de deux ou trois ans, espérant ainsi guider la repousse du cartilage. Malheureusement, le matériau, très fragile, montrait vite ses limites et les interventions sur la hanche demeurèrent extrêmement marginales. En outre, un problème persistait : comment faire tenir cette tête fémorale ? Ce sont les frères Jean et Robert Judet qui, en 1946, conçurent la première prothèse de hanche censée surmonter l'obstacle : ils utilisèrent une sphère en plexiglas fixée sur une tige en acrylique qui traversait le col du fémur. Mais les résultats s'avèrent décevants en raison d'une intolérance aux débris d'acrylique provoqués par l'usure.

Les deux décennies suivantes furent en revanche marquées par plusieurs avancées avec l'arrivée du métal dans le dispositif. Ce furent d'abord les prothèses endofémorales de Freddie Thompson et, surtout, d'Austin Moore avec sa méthode de fixation révolutionnaire (tête en métal portée par une tige fichée dans le fémur) parfois encore utilisées



Système de tige fémorale courte de première intention sans ciment

Tige courte

aujourd'hui. Parallèlement, G.K. McKee et J. Watson-Farrar s'intéressèrent au traitement de l'arthrose et donc au remplacement de deux surfaces : ce fut la première prothèse totale, posée en 1951 et composée de deux pièces en chrome-cobalt. Entre 1956 et 1960, vingt-six personnes furent opérées avec, à la clef, un échec pour dix interventions en raison d'un descellement précoce de la prothèse.

JOHN CHARNLEY, LE PÈRE DE LA PROTHÈSE MODERNE

C'est alors que John Charnley, considéré comme le père de l'orthopédie de la hanche, proposa une autre approche. Il s'intéressa au frottement provoqué par le couple métal-métal et interposa une fine couche de plastique entre la pièce fémorale et la pièce acétabulaire, le téflon (puis le polyéthylène en 1962). Il proposa également l'utilisation d'une tête fémorale plus petite (22,2 mm), partant du principe que cela réduisait la surface de frottement et donc l'usure : ce fut la fameuse *low friction arthroplasty* toujours en vogue aujourd'hui.

Enfin, Sir Charnley se pencha sur le problème du descellement des prothèses. En 1959, s'inspirant d'une technique utilisée par les dentistes, il eut recours à une résine acrylique, qu'il appela ciment à os, pour fixer la prothèse. Ce fut l'avènement des prothèses cimentées. Parallèlement, l'école de Berne en Suisse, sous l'impulsion de Maurice Müller, rendit populaire la prothèse de hanche dite autobloquante largement utilisée durant plusieurs >>>

1923



Prothèse de Marieus Nygaard.

1946



Première prothèse produite en nombre par Jean et Robert Judet.

1959



Introduction du ciment dans la fixation de la prothèse par John Charnley.

1970



Apparition des cotyles double mobilité du Pr Gilles Bousquet

ANNÉES
1970



Apparition d'un nouveau matériau pour les PTH, la céramique.

ANNÉES
1990



Apparition des polyéthylènes réticulés®

ÉCLAIRAGE

« La prothèse de hanche n'est pas une vieille dame honorable sanglée dans des certitudes technologiques immuables »

Dr Jean-Alain EPINETTE,

Président de la Société française de la hanche et du genou (SFHG).

« Si la fixation des implants n'est plus vraiment un problème à l'heure actuelle, les phénomènes d'usure, de réaction d'ostéolyse[®] et de destruction osseuse réactionnelle sont, eux, au cœur des préoccupations à l'heure où nos patients sont de plus en plus jeunes et actifs avec une espérance de vie accrue. L'avenir se jouera certainement entre les deux principales options suivantes : les couples céramique-céramique et les HXLPE en qualité de challenger. Ceci est également vrai pour la prévention des instabilités prothétiques entre, d'une part, les « grosses têtes » limitant les possibilités de décoaptation[®] articulaire et, d'autre part, les systèmes à double mobilité, lesquels pourraient voir leurs indications étendues grâce aux nouveaux dessins et polyéthylènes disponibles aujourd'hui. Quant aux composants prothétiques eux-mêmes, si la cupule demeure sensiblement de même forme (en demi-sphère insérée dans l'os acétabulaire[®]), de multiples options ont été proposées en remplacement de la classique tige

enfouie dans la diaphyse[®] du fémur et surmontée de la tête. Si la tendance serait actuellement à la tige courte ou simplement raccourcie, voire quasiment inexistante, il est naturellement opportun, avant de juger, d'attendre les résultats à moyen et long terme. Par ailleurs, les implants sur mesure élaborés à partir des données radiologiques (scanner, IRM) obtenues pour chaque patient en préopératoire ne sont plus, à l'heure actuelle, un sujet de développement prometteur en raison de leur coût et de leurs résultats qui n'ont pas apporté un bénéfice réel par rapport aux implants conventionnels.

Demain plus que jamais, l'équipe chirurgicale aura besoin d'une instrumentation performante pour la mise en place des prothèses ainsi que de moyens d'optimisation de l'acte technique. En effet, le pronostic final pour le patient ne dépend pas seulement de l'habileté du chirurgien mais de sa capacité, avec l'instrumentation fournie, à mettre en place de façon appropriée les composants prothétiques. Les instruments sont soumis à des contraintes majeures, répétées et prolongées, et toute faillite peut être catastrophique. Les ancillaires sur mesure à usage unique pourraient être un

avantage appréciable en termes de sécurité anti-infectieuse et de coût de stérilisation moindre. Une dernière obligation pour l'industrie en matière d'innovation est la validation des résultats des prothèses qu'elle distribue : il faut plusieurs années pour évaluer réellement le devenir d'un implant prothétique de hanche et procéder à une estimation fiable de tel ou tel composant. La mise en place effective d'un véritable système de suivi post-implantation demeure sous la responsabilité conjointe des équipes médicales, des sociétés savantes, des autorités réglementaires mais aussi des acteurs de l'industrie, lesquels sont en première ligne dans ce défi permanent du savoir-faire associé au faire-savoir. La prothèse de hanche n'est pas une vieille dame honorable sanglée dans des certitudes technologiques immuables. De multiples défis restent à relever. Ceux-ci requièrent la poursuite d'un partenariat étroit et continu entre équipes chirurgicales et acteurs de l'industrie pour s'approcher au plus près des exigences légitimes des patients, à savoir la récupération d'une hanche fonctionnellement complète, autorisant la reprise de toutes leurs activités pour une période qui pourrait correspondre à leur espérance de vie. »

>>> décennies. La France ne fut pas absente des innovations en matière de prothèse de hanche. Le Pr Marcel Kerboull, formé par John Charnley lui-même, en développa et en améliora le mécanisme originel sous l'appellation de tige de Charnley-Kerboull encore largement implantée à l'heure actuelle.

LE POST-CIMENTÉ : NOUVEAUX MATERIAUX ET NOUVELLES APPROCHES

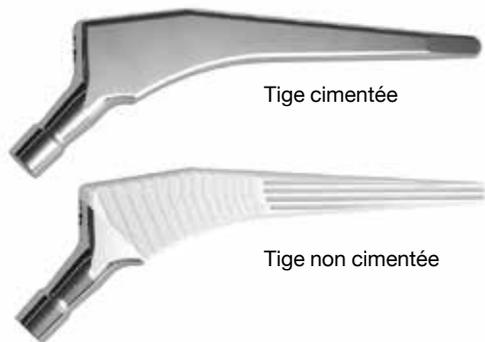
Au début des années soixante-dix, émergea la notion d'une repousse osseuse au contact direct du métal de la prothèse selon le principe d'un ancrage biologique. Ce fut l'avènement des prothèses dites sans ciment, avec notamment les prothèses à ancrage direct sur macrostructures poreuses[®] de Robert Judet et de Gerald Lord, les implants en titane poreux de Karl Zweimüller (1979) en Allemagne ou de Charles Engh aux USA. Les conflits d'élasticité entre métal rigide et os flexible conduisirent souvent à des échecs dus à des prothèses douloureuses

(classiques douleurs de cuisse). Cela ouvrit la voie à des implants bioactifs, revêtus d'une interface reproduisant la structure minérale de l'os, à savoir les composés phosphocalciques[®] dont le plus connu est l'hydroxyapatite (HA), avec comme but l'ostéointégration directement au contact de l'implant d'os néoformé susceptible d'assurer une liaison intime analogue au corail sur la roche : ce furent les travaux inauguraux de D.A. Osborne et de R. Furlong en Angleterre dès 1984, suivis d'expérimentations aux Pays-Bas et en France à partir de 1986.

Parallèlement, les innovations en matière de résistance à l'usure pour pallier les insuffisances du polyéthylène furent marquées par l'apparition de couples dur-dur, métal-métal ou céramique-céramique. C'est à Pierre Boutin que l'on doit, dès 1970, une alternative au polyéthylène puisqu'il mit au point la première prothèse de hanche composée d'une tête fémorale et d'un insert en céramique d'alumine massive. Ces couples ont depuis lors bénéficié de nombreuses améliorations pour réduire le risque de rupture des implants avec, à ce jour, un intérêt majeur pour les couples de friction céramique-

céramique, notamment chez le sujet jeune. Les combinaisons métal-métal, à l'origine en compétition avec les couples céramique-céramique, n'ont finalement pas connu le même succès en raison des risques (réels ou supposés) de relargage d'ions métalliques voire de carcinogénèse[®] sans oublier les récents problèmes d'immuno-allergie révélés par les systèmes de resurfaçage des hanches. Ces réticences pour les couples dur-dur ont permis la résurgence d'un procédé ancien de transformation de la structure cristalline du polyéthylène par irradiation contrôlée aux rayons gamma. Sous le nom de polyéthylènes ultra-réticulés (HXLPE), ce matériau est aujourd'hui capable de concurrencer la résistance des céramiques *in vitro* et *in vivo*.

Quant au risque d'instabilité prothétique, désormais considéré comme la deuxième ou troisième cause la plus fréquente d'échec prothétique (après le descellement et l'infection), il a été considérablement réduit grâce au Pr Gilles Bousquet qui définit, en 1975, le concept de double mobilité (allier une tête prothétique mobile dans un polyéthylène rétentif, lui-même mobile dans une cupule en métal). Ce système acétabulaire, initialement considéré comme une méthode de sauvetage pour personnes âgées ou fragiles, connaît actuellement un regain d'intérêt, notamment aux États-Unis, grâce à la mise à disposition de nouveaux dessins prothétiques avec fixation optimisée à l'os receveur et surtout grâce à l'apport des nouvelles propriétés des HXLPE. ■



Implant cotyloïdien sans ciment avec insert céramique



PROTHÈSE TOTALE DE GENOU

L'ultime recours

Le genou est l'une des articulations les plus complexes du corps humain.

Ses mouvements reposent sur l'interaction entre structures osseuses, ligamentaires, méniscales et musculaires.

Dès lors, tenter de reproduire à l'identique le mécanisme de cette articulation par une prothèse constituée, depuis un demi-siècle, un défi permanent pour l'industrie.

À QUOI ÇA SERT ?

Située entre le fémur et le tibia, l'articulation du genou doit être en même temps mobile en flexion-extension et stable dans les trois directions : avant-arrière, intérieur-extérieur et en rotation. Ceci est permis par des ligaments situés de chaque côté du genou et également au centre de l'articulation



Prothèse totale de genou à charnière

(ligaments croisés). Par ailleurs, l'extension de la jambe sur la cuisse est effectuée à l'aide d'un muscle très puissant, le quadriceps, situé sur la partie antérieure de la cuisse et relié à la jambe par le tendon rotulien. Ce tendon est lui-même relié au muscle par un petit os rond, la rotule, sur la partie antérieure du genou. Elle joue un rôle de poulie de transmission en glissant sur la partie antérieure du fémur (trochlée). Chaque portion du fémur (condyles fémoraux), du côté intérieur mais aussi du côté extérieur, s'articule avec la partie correspondante de la partie supérieure du tibia (plateaux tibiaux). En fait, il existe donc au niveau du genou trois compartiments et donc trois articulations : fémoro-tibiale interne, fémoro-tibiale externe et fémoro-patellaire (entre le fémur et la rotule).

La pose d'une Prothèse totale de genou (PTG) est la seule solution chirurgicale pour en traiter les dégénérescences graves. Elle vise à supprimer les douleurs que peuvent causer l'usure ou la détérioration du cartilage articulaire et à restaurer la mobilité de l'articulation. Ces symptômes sont souvent causés par une arthrose primitive (gonarthrose) mais peuvent aussi être la conséquence d'une arthrose secondaire due à un traumatisme (fracture, lésions) ou d'une maladie inflammatoire. Comme l'explique la Haute autorité de santé (HAS) dans son rapport d'évaluation de novembre 2012 intitulé « *Implants articulaires du genou* », « *l'enjeu est de trouver un compromis acceptable entre contrainte, stabilité et mobilité tout en assurant la pérennité de la fixation à long* >>>

>>> *terme* ». Cependant, ce geste chirurgical ne doit être envisagé qu'en ultime recours, c'est-à-dire dans le cas d'une résistance de l'arthrose aux traitements thérapeutiques classiques.

COMMENT ÇA MARCHE ?

« Contrairement à la hanche qui fonctionnera toujours selon le principe d'une sphère pleine dans une demi-sphère creuse, les prothèses de genou vont correspondre à une grande variété de modèles en fonction du degré d'atteinte ostéo-articulaire mais aussi des caractéristiques du patient lui-même », explique le Dr Jean-Alain Epinette, Président de la SFHG (Société française de chirurgie de la hanche et du genou). On distingue ainsi plusieurs types de prothèse. Tout d'abord, la PTG (ou prothèse tricompartmentale) qui est composée de trois parties à l'image de l'articulation qu'elle remplace : un implant fémoral (généralement

composé d'un alliage de chrome et de cobalt), un implant tibial (le plus souvent dans un alliage de chrome-cobalt ou dans certains cas de titane) et une interface en polyéthylène. Un implant rotulien peut également être mis en place. « *Le mécanisme de fonctionnement de la prothèse peut consister soit en de simples surfaces de glissement (prothèses à glissement standard) si les ligaments sont conservés, soit en un mécanisme de substitution des ligaments centraux du genou (prothèses à glissement contraintes dites postéro-stabilisées) ou dans, les cas très évolués, en un véritable mécanisme de charnière avec ou sans rotation dans le mécanisme (prothèses charnière simple ou charnière rotatoire)* », détaille le Docteur Epinette.

Ce type de prothèse, le plus répandu, est à distinguer de la prothèse unicompartmentale qui ne remplace que l'une des trois articulations. Cette dernière peut être fémoro-tibiale médiale ou latérale, ou fémoro-patellaire.

UNE HISTOIRE D'INNOVATIONS

Si plusieurs chirurgiens se sont intéressés à la prothèse de genou dès le XIX^e siècle tels les Français Péan et Verneuil ou l'Allemand Thémistocle Glück, les innovations qui ont marqué l'histoire de la PTG sont globalement très récentes. C'est en effet dans la première moitié du XX^e siècle que l'on note une première avancée notable avec l'amélioration des alliages métalliques comme le vitallium[®] (Venable et Stuck, 1938). Puis, « *l'introduction de la première prothèse à charnière en 1951 (Shiers, Walldius) signe les débuts de l'ère moderne pour l'arthroplastie du genou* », précise le Président de la SFHG.

Les années soixante marquent un tournant capital avec la formalisation de fondamentaux que l'on retrouve d'ailleurs encore aujourd'hui dans les principes mécaniques de la prothèse. Ainsi, le chirurgien américain John Insall, véritable pionnier dans le domaine de la prothèse de genou, énonça le principe de restauration-substitution des ligaments croisés et inventa un système postéro-stabilisé : on installe une butée en plastique sur le tibia qui, lors de la flexion, entre en contact avec une barre sur le fémur, bloquant le genou et évitant ainsi la luxation. Ce système bénéficia par la suite de quelques améliorations, notamment au niveau du point de contact, et est aujourd'hui encore très utilisé.

1890



Première prothèse de Thémistocle Glück.

1960



John Insall invente un système postéro stabilisé.

1959



Introduction du ciment dans la fixation de la prothèse par John Charnley.

1990-95



Apparition des fixations sans ciment et codification de la technique opératoire.



Prothèse totale
du genou



Prothèse totale du
genou postéro stabilisé
à plateau rotatoire

« Les premières prothèses à glissement non contraintes et préservant le pivot central ont été développées par Gunston à la fin des années soixante. La prothèse Imperial college London hospital ou ICLH (Freeman & Swanson, 1972) puis la prothèse Total condylar (Insall, 1974) étaient deux modèles semi-contraints sacrifiant les ligaments croisés et assurant la stabilité par la congruence des cuvettes tibiales. La prothèse Total condylar a longtemps été considérée comme un gold standard du fait de sa longévité. La prothèse Insall-Burstein fut quant à elle présentée en 1978 comme une amélioration du modèle Total condylar, postéro-stabilisé par un système de pivot tibial-cage fémorale tentant de recréer artificiellement la fonction du LCP, en facilitant le mouvement de roll-back. Quant aux prothèses unicompartimentales, leur concept fut véritablement introduit en

1972 par Leonard Marmor. Il est également essentiel de rendre hommage aux travaux de Philippe Cartier puis de Gérard Deschamps, en France, lesquels ont grandement contribué à préserver ce mode prothétique, son droit de cité dans l'arsenal thérapeutique », retrace Jean-Alain Epinette.

DE LA QUESTION DE LA FIXATION DE L'IMPLANT À LA MODULARITÉ DES COMPOSANTS

La troisième génération de prothèses est arrivée sur le marché dans la deuxième moitié des années quatre-vingt : on vit alors émerger de nombreux nouveaux modèles mais les innovations ne portaient plus seulement sur l'implant lui-même. « Plus que pour toute autre prothèse articulaire, l'industrie a dû se mobiliser, en partenariat avec les scientifiques, pour tenter de résoudre au mieux cette quadrature

du cercle représentée par, d'un côté, la cinésiologie[®] spécifique du genou et, de l'autre, la résistance aux contraintes et à l'usure des composants », explique Jean-Alain Epinette. Comme pour la hanche, le premier problème à résoudre a été la fixation des implants. La prothèse de genou, qui a bénéficié de l'expérience de sa grande sœur de la hanche, a longtemps été fixée grâce au ciment acrylique. Puis, en 1985, un nouveau procédé de maillage de fibres en titane est apparu. Enfin, dès les années quatre-vingt-dix, des implants recouverts d'hydroxyapatite ont été utilisés dans l'arthroplastie du genou tout comme, plus récemment, de nouvelles interfaces trabéculaires en tantale ou titane.

Quant au mécanisme de contrainte entre composants fémoral et tibial, « il est loin d'être univoque, remplaçant ou non, dans les prothèses totales, le ligament croisé postérieur étant entendu que le ligament croisé antérieur est systématiquement sacrifié dans ce type de remplacement total, rappelle le Docteur Epinette. Les chercheurs et les ingénieurs ont fait appel aux technologies les plus performantes telles que la fluorocinétique[®], les simulateurs de marche ou des techniques sophistiquées d'imagerie 3D. Toutefois, depuis les premiers temps de la prothèse ICLH sans réel guidage des composants jusqu'aux modèles les plus récents, il est encore difficile de statuer à l'heure actuelle sur la supériorité des prothèses à conservation du croisé postérieur sur celles impliquant la substitution >>>

>>> *du croisé postérieur et, pour ces dernières, sur l'intérêt comparatif des différents dispositifs de came[®], de plateau ultra-congruent ou encore de troisième condyle[®]... Il ne faut pas non plus oublier la compétition entre plateaux fixes ou mobiles à propos de laquelle le rapport 2012 de la HAS ne permet pas de conclure à la supériorité d'une option par rapport à l'autre. »*

Une autre difficulté rencontrée a été celle générée par la rotule. Il s'agit, pour certains, de procéder à un simple toilettage pour qu'elle puisse s'adapter à la courbure de l'implant métallique fémoral. Pour d'autres, le resurfaçage de la rotule par « le scellement d'un médaillon rotulien glissant sur la trochlée fémorale[®] » peut s'avérer nécessaire. Reste que cette dernière technique « n'a pas non plus fait la preuve formelle de sa supériorité clinique dans le long terme et dépend essentiellement du dessin de la trochlée prothétique fémorale en regard », nuance le Docteur Epinette. Enfin, un dernier défi industriel est constitué par la nécessité d'une modularité des pièces métalliques : en théorie, l'avantage est essentiel pour le chirurgien avec, à la clef, une plus grande souplesse d'utilisation et d'adaptation à

l'anatomie du patient, notamment en cas de révision, au risque d'une usure ou d'une rupture des pièces par microfriction.

DES INSTRUMENTATIONS À LA HAUTEUR

Depuis plusieurs années, la codification de la technique opératoire a permis une meilleure fiabilité et reproductibilité grâce à une instrumentation qui a considérablement évolué. Il en résulte, pour le chirurgien, une sécurité et une précision accrues, conditions *sine qua non* de la réussite de l'intervention. En effet, de par sa complexité, l'articulation du genou et, *a fortiori*, son remplacement réclament un matériel extrêmement performant : « *Cela explique les multiples améliorations proposées par l'industrie, notamment le recours à l'informatique. Si l'on prend en compte les énormes quantités de boîtes d'instruments nécessaires pour chaque arthroplastie, on peut être séduit par les ancillaires personnalisés, fabriqués en usine à partir de l'imagerie préopératoire des genoux (scanner et IRM) et par essence en mesure de faciliter la réalisation des coupes osseuses et l'implantation prothétique. De nombreux progrès restent naturellement à faire pour rendre ces ancillaires sur mesure compétitifs par rapport au matériel standard, surtout en termes de prix mais aussi de fiabilité sur le long terme. Et si le robot-chirurgien n'a pas concrétisé les espoirs placés en lui, la navigation informatisée peropératoire, elle, conserve de nombreux adeptes dans l'optique d'optimiser la mise en place des implants et de favoriser leur durée* », conclut Jean-Alain Epinette. ■

À SAVOIR

L'ENJEU DES MATÉRIAUX OFFRANT LES QUALITÉS MÉCANIQUES REQUISES

Les matériaux utilisés pour les parties métalliques sont le plus souvent des alliages à base de chrome et de cobalt car ils possèdent de nombreuses qualités mécaniques requises pour une prothèse de genou : résistance élevée à la rupture, déformabilité quasiment nulle et surtout, propriétés de glissement qui comportent plus d'avantages comparés aux matériaux actuellement disponibles, hormis la céramique. Cette dernière n'est pas utilisée pour les prothèses de genou car il n'est, à ce jour, pas possible d'en élaborer des formes complexes à des prix accessibles. Le titane a quant à lui été utilisé pour certains plateaux tibiaux en raison de ses propriétés mécaniques et biologiques. Il est adapté à une fixation non cimentée. En revanche, il n'offre pas de surfaces de glissement optimales et est plus vulnérable aux déformations. Enfin, les matériaux en plastique sont fabriqués en polyéthylène à haute densité. La recherche s'efforce d'ailleurs de concevoir des polyéthylènes améliorés de plus en plus résistants, tels les polyéthylènes ultraréticulés.

Prothèse de genou



PROTHÈSE D'ÉPAULE

Retrouver une mobilité complète

La prothèse totale d'épaule est un dispositif médical relativement jeune, comparativement à celle de la hanche, par exemple.

Cependant, quelques avancées majeures et successives lui ont permis d'acquérir rapidement ses lettres de noblesse.

À QUOI ÇA SERT ?

La Prothèse totale d'épaule (PTE) remplace l'articulation gléno-humérale pathologique. Il peut s'agir d'une arthrose primitive, comme pour la hanche et le genou, avec les lésions classiques de destruction du cartilage, géodes[Ⓞ] et ostéophytes[Ⓞ] parfois volumineux. Cliniquement, le patient se plaint de douleurs et de limitations fonctionnelles liées à la douleur et parfois à un authentique enraidissement (limitation des mobilités passives). L'indication d'une prothèse anatomique peut alors être envisagée à condition d'avoir vérifié l'intégrité de la coiffe des rotateurs, indispensable à son fonctionnement. Il s'agit le plus souvent d'une prothèse totale (remplacement de la tête humérale et de la glène[Ⓞ]) ou, parfois, d'une prothèse humérale simple. Dans tous les cas de pathologie chronique, l'indication d'une



Prothèse d'épaule

prothèse d'épaule ne doit être prise qu'après l'échec d'un traitement médical complet. Il n'en est pas de même des indications traumatiques où la mise en place d'une prothèse peut être une alternative intéressante en urgence.

COMMENT ÇA MARCHE ?

L'épaule est un ensemble fonctionnel très élaboré (trois articulations et deux plans de glissement) dont les secteurs de mobilité sont les plus importants parmi toutes les articulations de l'organisme. Son bon fonctionnement exige l'intégrité de ses différents éléments constitutifs et tout particulièrement de l'articulation omo-humérale (omoplate/humérus) plus souvent appelée gléno-humérale (la glène étant la surface articulaire de l'omoplate) ainsi que des structures musculo-tendineuses périarticulaires. Il s'agit de la coiffe des rotateurs qui fonctionne en synergie avec le muscle deltoïde. >>>



Prothèse d'épaule inversée

>>> Envisager la problématique d'une arthroplastie d'épaule impose donc une évaluation précise des dégâts articulaires et de la qualité des parties molles c'est-à-dire de la coiffe et de la capsule articulaire (laxité ou raideur). En cas d'atteinte isolée de la tête humérale (ostéonécrose), le remplacement isolé de celle-ci est possible. En cas d'atteinte de la tête humérale et de la glène, l'indication est celle d'une PTE. Du côté huméral, la tête est remplacée par une tête en métal ou en céramique. Sa fixation est classiquement confiée à une tige endo-médullaire cimentée ou non. Les modèles les plus récents utilisent des fixations uniquement métaphysaires[®] et non cimentées. Enfin, des implants de resurfacing sont également disponibles épargnant ainsi au maximum le capital osseux. Du côté glénoïdien, il s'agit essentiellement d'implants cimentés, en polyéthylène, à quille ou à plots, mis en place après une préparation osseuse minutieuse. Les implants dits métal back (embase métallique vissée et polyéthylène clipsé) ont été proposés mais leur longévité reste incertaine.



Prothèse d'épaule inversée

En cas d'atteinte sévère de la coiffe des rotateurs (rupture massive conduisant à l'omarthrose[®] excentrée), les implants dits anatomiques n'ont pas leur place. C'est là tout l'intérêt des implants inversés mis au point plus récemment, avec une pièce glénoïdienne convexe et une surface humérale concave fonctionnant sur un centre de rotation fixe (au contact de la glène) avec le deltoïde comme moteur principal.



Prothèse d'épaule

En cas de traumatisme (fracture comminutive de l'extrémité supérieure de l'humérus chez les sujets âgés), l'implantation d'une prothèse d'épaule peut être la meilleure alternative. Il s'agira soit d'une prothèse humérale anatomique, soit d'une prothèse totale inversée (pour les sujets plus âgés). Durant l'intervention chirurgicale, le plus souvent sous anesthésie générale, le patient est placé en position semi-assise sur une table adaptée permettant en particulier de bien exposer la glène (après une luxation de la tête humérale).

1893



Première prothèse d'épaule posée par Jules-Émile Péan.

1953



Débuts de l'arthroplastie de l'épaule moderne sous l'égide de Charles Neer.

1985



Prothèse inversée de Paul Grammont.

ANNÉES
2000



Recherche sur des nouveaux matériaux inusables et non allergisants.

UNE HISTOIRE D'INNOVATIONS

D'une manière générale, l'histoire des prothèses a bien souvent été une succession de tentatives hasardeuses plus ou moins couronnées de succès ! Les prothèses d'épaule ne dérogent pas à la règle.

27

C'est le nombre de muscles
qui entourent l'épaule !

Ainsi, le chirurgien allemand Thémistocle Glück, inventeur du concept de prothèse totale articulaire, dessina-t-il la première PTE en ivoire en 1890. Cependant, c'est au Français Jules Péan qu'est généralement attribuée la première pose. S'inspirant des travaux de Glück, il réalisa en 1893 l'implantation d'une tige humérale en platinite reliée à un système de cardan articulé sur une tête en caoutchouc enduite de paraffine dans un cas de tuberculose. Si, un temps, la prothèse s'est montrée fonctionnelle, elle a dû être retirée au bout de deux ans de suites infectieuses.

Il fallut alors attendre le début des années cinquante pour entrer véritablement dans l'ère moderne de l'arthroplastie de l'épaule. L'Américain Charles Neer mit au point, en 1951, la première prothèse humérale : simple, non contrainte, monobloc et reproduisant l'anatomie de l'extrémité supérieure de l'humérus. Vingt ans plus tard, il conçut la première glène en polyéthylène. Les décennies qui suivirent furent marquées par la reprise et l'amélioration des concepts de Charles Neer avec l'avènement, au début des années quatre-vingt-dix, sous l'impulsion de chirurgiens français et d'après des travaux anatomiques précis, de prothèses modulaires s'adaptant parfaitement à l'anatomie du patient.

« Ces prothèses anatomiques permettent de remplacer les surfaces articulaires de la tête de l'humérus et de la glène de l'omoplate, altérées en cas d'arthrose, de pathologies rhumatismales ou d'ostéonécroses. On reconstitue ainsi l'anatomie la plus proche possible de chaque patient avec, en particulier, le respect de l'offset médial[®] et postérieur de la tête humérale explique le Dr Cécile Nérot, chirurgien-orthopédiste et Présidente de la Société française de l'épaule et du coude (Sofec). Globalement, cela fonctionne un peu comme une prothèse de hanche mais avec la condition indispensable d'avoir une bonne souplesse articulaire et de bons muscles, c'est-à-dire essentiellement une bonne coiffe » (voir encadré ci-contre).

L'APOGÉE : PAUL GRAMMONT OU LA RÉVOLUTION DE L'INVERSION

Pour remédier à ces problèmes de la coiffe des rotateurs, plusieurs tentatives ont été faites de prothèses contraintes, inversées ou non. Elles se sont soldées par des échecs précoces. Dans les années quatre-vingt, le Professeur français Paul Grammont proposa un nouveau dessin de prothèse inversée qui, au lieu de reproduire l'anatomie de l'épaule, inverse la géométrie de l'articulation. Son originalité a été de mettre en place un hémisphère de gros diamètre du côté glénoïdien. « Le Professeur Grammont a proposé quelque chose de très différent de ce qui se faisait jusqu'alors et cela été à l'origine d'un progrès majeur », confirme le Dr Cécile Nérot. Ainsi la prothèse fonctionne autour d'un

ÉCLAIRAGE

« Redonner indolence et fonctionnalité à l'articulation »

Dr Cécile NÉROT,

Chirurgien-orthopédiste, Présidente de la société française de l'épaule et du coude.

« Comme pour les autres prothèses, la prothèse d'épaule a pour but de redonner de l'indolence et de restaurer la fonction. Mais avec une contrainte particulière et absolue qui est de respecter les parties molles. Si l'on se limite à poser les implants sans tenir compte de l'environnement musculaire à respecter ou à réparer, la prothèse ne fonctionnera pas. On dit d'ailleurs souvent que la chirurgie prothétique de l'épaule est une chirurgie des parties molles. Reste le difficile problème de la raideur articulaire que l'on ne récupère jamais complètement même après une arthrolyse extensive. Il faut en avertir les patients. »

centre de rotation fixe au contact de la zone d'implantation de la pièce glénoïdienne, le moteur en étant le muscle deltoïde. La prothèse inversée est une véritable révolution dans la chirurgie de l'épaule. Elle permet aux patients de retrouver une excellente mobilité même si les tendons ou les muscles sont endommagés. >>>

>>> « Actuellement, il existe environ une trentaine de modèles de ce type de prothèse, tous issus de l'idée du Pr Grammont. Cette prothèse a réellement révolutionné la chirurgie de l'épaule. Elle permet au chirurgien de proposer à des patients souvent très âgés, en perte d'autonomie et sujets à des douleurs, une prothèse efficace tant pour ce qui est de la douleur et que de la fonction. Or, jusque-là, il n'existait aucune solution. Néanmoins, il reste des progrès à faire pour améliorer la fonction et éviter certaines complications précise le Dr Cécile Nérot. Si, pour les pionniers de l'épaule, il ne fut pas aisé de se faire une place car cette articulation intéressait peu, désormais, on se rend compte que les prothèses fonctionnent et ce, dans des indications différentes. Le travail se poursuit pour concevoir des modèles

encore plus adaptés. Le domaine de l'arthroplastie d'épaule reste ainsi particulièrement dynamique. »

UNE LÉGITIMITÉ À CONFIRMER

Au regard de sa croissance fulgurante au cours des dix dernières années, la prothèse totale d'épaule semble *a priori* reposer sur un concept arrivé à maturité. Or, il n'en est rien, affirme Cécile Nérot : « Dans tous les cas, il faut rester prudent quant à l'évaluation des résultats. Un recul minimum de cinq ans est indispensable. D'après les études des courbes de survie, un délai de dix ans est le plus significatif. » Comme pour les autres prothèses, il reste par exemple à travailler sur les matériaux. La céramique est une piste en particulier pour les prothèses humérales simples. En effet, elle userait moins le cartilage glénoïdien que les prothèses métalliques. Le pyrocarbone, qui ne se fixe pas sur l'os, est déjà utilisé dans la chirurgie de la main. Il est en cours d'étude sous forme de sphère placée dans l'espace articulaire. En ce qui concerne la glène, des polyéthylènes hautement réticulés chargés en vitamine E (anti-oxydante) sont à l'étude. La fixation de la glène reste un problème crucial qui justifie une technique d'implantation précise.

En outre, plusieurs recherches sont en cours, en particulier pour parvenir à une fixation sans ciment. Enfin, le futur de la PTE pourrait bien passer par l'imagerie avec les dispositifs PSI (Patient specific instruments). Il s'agit d'un principe mis au point initialement en matière de chirurgie du genou.

Prothèse totale
d'épaule inversée



À SAVOIR

PROTHÈSE MYTHOLOGIQUE

La légende raconte que Tantale, expulsé de l'Olympe par les dieux pour avoir volé l'ambrosie, voulut se venger et les convia à un banquet. Pour éprouver leur sagacité, « Tantale servit aux dieux les membres de son fils Pélopes. Une épaule déjà mangée par Déméter fut remplacée par une articulation d'ivoire », raconte Ovide dans « Les Métamorphoses ». On dit que les descendants de Pélopes conservèrent une tache blanche à l'épaule en souvenir de cette tragédie tandis que Tantale fut condamné au terrible supplice auquel il donna son nom.

D'après un scanner ou une IRM réalisés selon des protocoles spécifiques, des dispositifs ancillaires sont confectionnés spécialement pour chaque patient. Pour les prothèses d'épaule, il s'agit en particulier d'optimiser la mise en place des instruments pour la préparation glénoïdienne : centrage de la broche avant fraisage, précision de la pose des vis et, finalement, ajustement le plus précis possible de la prothèse. Ce n'est donc pas la prothèse qui est sur mesure mais les guides d'instrumentation afin que la prothèse soit positionnée de façon optimale pour chaque patient. Cette innovation dans la technique opératoire est, aujourd'hui, l'une des principales voies de recherche. ■

RACHIS

Rétablir le tuteur du corps humain

Le rachis, ou colonne vertébrale, est littéralement la structure sur laquelle repose entièrement l'équilibre du corps humain. Il est aussi le protecteur de la moelle épinière et de l'émergence des racines nerveuses. Mais suite à des déformations, traumatismes ou maladies, la colonne peut parfois subir des dommages importants et ne plus assurer son rôle de charpente et de protection. C'est là que les dispositifs médicaux interviennent.

À QUOI ÇA SERT ?

À chaque pathologie rachidienne son dispositif médical : tiges, crochets, vis pédiculaires[®], plaques, cyphoplastie, vertébroplastie, prothèses discales, cages... La fonction première des DM rachidiens est de traiter les pathologies traumatiques, dégénératives ou les déformations de la colonne vertébrale. Celles-ci peuvent être dues à l'avancée en âge, à une hernie discale, à une lésion du rachis, à une lombalgie ou, de plus en plus fréquemment, à des tumeurs. Une autre fonction de cette famille de dispositifs médicaux est de corriger les déformations pathologiques chez l'enfant, l'adolescent et l'adulte : dans ces cas précis, la colonne vertébrale n'a pas une courbure naturelle et le corps est déséquilibré. Il faut donc « refixer » le dos pour



Prothèse de disque lombaire modulaire

retrouver cet équilibre. Enfin, comme pour n'importe quelle autre prothèse, on recourt à celles du rachis pour essayer de faire ce que l'articulation originelle ne peut plus faire lors de certains cas précis de lésions dégénératives.

COMMENT ÇA MARCHE ?

Selon les pathologies, une première approche va consister à fixer en bonne position la colonne vertébrale pour permettre une fusion entre les vertèbres. Et ce, au moyen d'une tige et de crochets (technique la plus ancienne, de moins en moins utilisée). En effet, de plus en plus souvent, les crochets sont remplacés par des vis pédiculaires maintenant des tiges (ou, de moins en moins fréquemment, des plaques). On peut procéder à une vertébroplastie (technique mise au point par Pierre Galibert et Hervé Deramond à la fin des années quatre-vingt et qui consiste également >>>

Cage plaque cervicale pour arthrodèse cervicale



>>> à injecter du ciment par voie percutanée mais sans ballonnet) par une cyphoplastie (technique opératoire datant de la fin des années quatre-vingt-dix et consistant à gonfler des ballonnets dans la partie spongieuse de l'os puis à y introduire un ciment acrylique ou phosphocalcique pour renforcer la colonne antérieure de la vertèbre). Dans d'autres cas, il faut en revanche remplacer le disque au moyen d'une prothèse discale mobile (2 plaques de métal comprenant un plastique de haute densité au milieu avec un noyau mobile permettant à l'articulation de continuer à fonctionner) ou d'une cage (sorte de bague de maintien) lorsque l'on veut souder deux vertèbres adjacentes.

UNE HISTOIRE D'INNOVATIONS

La chirurgie du rachis est relativement récente même si des essais ont été menés notamment au XIX^e siècle. « En effet, la colonne vertébrale est longtemps restée quelque chose de très mythique,



Prothèse de disque cervical pour la chirurgie du rachis

un arbre de vie très sacralisé, un peu comme le cœur, explique le Pr Jean-Charles Le Huec, responsable de l'unité d'orthopédie et traumatologie du rachis du CHU de Bordeaux et Trésorier de la Société française de chirurgie rachidienne. Avant la Seconde Guerre mondiale, on cherchait essentiellement à corriger les déformations en utilisant des systèmes d'élongation et des corsets. Des systèmes au demeurant très contraignants et à l'efficacité très



Rehaussement des plateaux vertébraux par ballonnets de cyphoplastie

relative, voire nulle. » Parallèlement, dans les années trente et quarante, apparut le diagnostic de l'hernie discale et on relia la douleur de la sciatique dans les jambes à une lésion d'un disque vertébral. On assista alors aux débuts de la chirurgie dans ce domaine. Malgré quelques tentatives chirurgicales pour traiter des déformations après la Seconde Guerre mondiale, consistant à souder les vertèbres entre elles, le patient restant dans le plâtre postopératoire pendant plusieurs mois, ce n'est qu'en 1960 et concomitamment aux progrès de l'anesthésie, qu'eut lieu la première grande évolution en la matière : le système de Harrington. Il consiste à poser une tige crantée comportant un crochet à chaque extrémité que l'on fixe aux vertèbres situées en haut et en bas de la déformation de la scoliose. Il nécessite tout de même le port d'un corset plâtré pendant quelques mois. Sur les radios, ce système donnait l'impression d'être particulièrement

1960



Paul Harrington met au point un nouveau système de tige-crochets.

1963



Mise au point de la visée pédiculaire par Raymond Roy-Camille.

1983



Première opération de scoliose neurologique avec l'instrumentation Cotrel-Dubousset.

5 %

C'est la proportion d'enfants en âge d'être scolarisés et atteints de déformations plus ou moins importantes de la colonne vertébrale en France, selon la Fondation Yves Cotrel pour la recherche en pathologie rachidienne.

efficace, si bien qu'il fut le traitement de référence de la scoliose jusqu'au milieu des années quatre-vingt.

DE LA VISÉE PÉDICULAIRE DE ROY-CAMILLE À L'INSTRUMENTATION CD

En 1963, le Pr Raymond Roy-Camille opéra un patient incapable de s'asseoir à cause d'une fracture du rachis lombaire. Utilisant deux plaques de Sherman et des vis alors employées pour les fractures de jambes, il adapta ainsi, un peu par hasard, le procédé à la colonne en soudant les vertèbres entre elles. Fort du succès de l'opération, il procéda ensuite à une analyse anatomique plus précise et décrivit la visée pédiculaire qui consiste à mettre des vis dans la partie la plus résistante de la vertèbre, le pédicule⁶. Il mit donc au point une instrumentation rachidienne spécifique et cartographia les marqueurs du point d'entrée des vis permettant d'atteindre le corps vertébral par une voie d'abord postérieure (c'est-à-dire en abordant le rachis par derrière) sans toucher les nerfs. C'est de cette approche révolutionnaire qu'est tiré le >>>

ÉCLAIRAGE

« Penser en trois dimensions »

Professeur Jean DUBOUSSET,
Chirurgien-orthopédiste pédiatre et membre de l'Académie de chirurgie.

« Au début des années soixante-dix, mon maître, Pierre Queneau, m'avait confié l'étude de cas de bassins obliques d'enfants. Quand je comparais, d'une part, ce que je voyais sur les radiographies de mes patients et ce qui était écrit dans les livres et, d'autre part, ce que j'observais sur mes patients, je constatais bien que cela ne concordait pas : le patient n'était pas seulement déformé de face mais également de profil. C'est ainsi que je compris que la radio n'était qu'une projection de la réalité et qu'elle ne reflétait que l'ombre chinoise du squelette. Ce fut là mon apport à l'orthopédie : penser en trois dimensions, même si Pol Le Cœur en avait déjà apporté l'idée en faisant son ostéotomie sans mettre de mot dessus et si René Perdriolle l'avait parfaitement décrit en 1979 dans son livre « La scoliose tridimensionnelle ». Lorsque Georges Charpak est venu en 1998 à l'Hôpital Saint-Vincent-de-Paul voir le Professeur

Gabriel Kalifa (radiologie pédiatrique) pour vérifier que le détecteur qu'il avait mis au point réduisait bien la quantité d'irradiation des enfants qui ont besoin de radiographies squelettiques, c'est grâce aux travaux que j'avais menés depuis longtemps avec les ingénieurs de l'Ensam (École nationale supérieure d'arts et métiers) que tous ensemble, nous avons mis au point un système qui permet de prendre simultanément une radio de face et une radio de profil du même patient. Non seulement cela permet la reconstruction 3D de tout le squelette mais de plus, grâce au système inventé par Georges Charpak, cela provoque une irradiation dix fois moins importante qu'une radiographie classique. Ce qui lui valut d'ailleurs le prix Nobel en 1992. En 1999, c'était révolutionnaire ! Cela paraît très logique aujourd'hui : par exemple, on ne saurait imaginer qu'un architecte ne passe pas par la 3D pour concevoir un projet ! Et tous les travaux actuels en orthopédie qui veulent traiter de la morphologie des éléments découlent de ce constat tridimensionnel. »

>>> célèbre « *droit devant!* » de Raymond Roy-Camille. Cette technique reste la base de toutes les ostéosynthèses[©] postérieures même si l'on recense quelques améliorations (plaques à trous ovalaires de Fuentes, système complexe du domino de Raymond Roy-Camille lui-même, vis tulipes, vis polyaxiales, utilisation de tiges modulables...). Parallèlement, le système de traitement des scoliozes de Paul Harrington montra ses faiblesses : des crochets qui se détachent en bas du dispositif, des pertes de réduction, des corrections pas pleinement satisfaisantes... En 1975, un chirurgien de Berck-sur-Mer, le Dr Yves Cotrel, qui traitait depuis de longues années des scoliozes avec le plâtre d'Abott qu'il avait perfectionné grâce à la technique de l'EDF (Élongation, Dérotation, Flexion), mit également au point quelques procédés pour améliorer le fonctionnement du dispositif de Harrington. Mais il tomba malade et ne put plus exercer. Retraité contre son gré, il se retira dans sa maison secondaire où il conçut, seul dans son petit atelier de bricolage, le prototype d'une instrumenta-

tion qui permettait de réaliser une correction tridimensionnelle et, surtout, de supprimer le port du plâtre. Il s'associa à Jean Dubousset qu'il avait rencontré plusieurs fois quand il exerçait à Berck et qui travaillait depuis longtemps sur le tridimensionnel. Le 21 janvier 1983, les deux hommes opérèrent avec succès une scoliose neurologique à l'hôpital Saint-Vincent-de-Paul (Paris), première opération d'une longue lignée qui révolutionna littéralement la chirurgie du rachis. Par la suite, toutes les pathologies vertébrales furent opérées même si l'Instrumentation Cotrel-Dubousset (CD) dut, pour cela, subir quelques adaptations.

REMOBILISER : LE DÉFI RELEVÉ PAR LES PROTHÈSES DISCALES

Ainsi la chirurgie du rachis connut-elle des avancées fondamentales. Toutefois, force est de constater que ces avancées consistaient toujours à procéder à des fusions : « *On bloquait la colonne vertébrale dans le cas de scoliose ou de rachis dégénératif ou on la stabilisait dans les cas de fracture*, raconte le Professeur Le Huec. *La dernière innovation a été de rétablir une certaine souplesse du rachis : ce fut le développement des prothèses discales.* » Si quelques essais peu concluants furent menés au début des années cinquante puis au milieu des années soixante, ce n'est que depuis une petite vingtaine d'années qu'elles ont véritablement été mises au point et diffusées. Et, encore aujourd'hui, elles restent relativement confidentielles : « *Avec quinze ans de recul sur les prothèses discales, on*

À SAVOIR

DÉJÀ, LES ÉGYPTIENS...

Le premier papyrus évoquant une blessure au rachis cervical date du XVI^e siècle avant Jésus-Christ. Les Égyptiens y constatèrent déjà le rôle primordial de la colonne vertébrale : « *Un homme qui a une luxation de son cou tandis qu'il n'a plus le contrôle de ses deux jambes et de ses deux bras (...), c'est une maladie pour laquelle on ne peut rien faire.* » Il s'agit du plus ancien document traitant de chirurgie : long d'une vingtaine de pages, c'est un véritable traité de diagnostic pour des lésions et des traumatismes qu'un médecin d'aujourd'hui pourrait même reconnaître. Il permettait aux chirurgiens de savoir comment agir et réagir face à des blessures caractérisées. Pas question au demeurant de s'éloigner de ces directives sous peine de... mort !

sait aujourd'hui qu'elles ne peuvent être prescrites que dans certains cas très précis, uniquement pour les rachis lombaire et cervical, chez des sujets relativement jeunes, posées par des mains expertes et dans des centres spécialisés, poursuit Jean-Charles Le Huec. *La recherche de demain porte sur des prothèses en polymère qui auraient un effet de coussin entre les vertèbres et qui reproduiraient exactement l'anatomie du disque.* » ■



Cage
interstomatique
lombaire

TRAUMATOLOGIE

Les os mis sous tutelle

La traumatologie est l'ensemble des blessures ou lésions causées par des accidents. C'est aussi une médecine d'urgence. Ce domaine de l'activité médicale fait appel à plusieurs dispositifs médicaux et techniques orthopédiques selon la gravité et la cause des traumatismes (domestique, professionnelle, routière, due au sport...).

À QUOI ÇA SERT ?

L'ensemble des procédés permettant de traiter les fractures et les problèmes mécaniques du squelette relèvent de l'ostéosynthèse. Contrairement à la chirurgie orthopédique à proprement parler, on ne retire pas de matière osseuse et on ne remplace pas tout ou partie d'une articulation endommagée. La fonction du dispositif traumatologique est d'assurer un rôle de tuteur de la structure osseuse, le temps que les cellules de l'os cassé à la suite d'un traumatisme jouent leur rôle et reconstituent le tissu. L'implant a donc là un rôle d'aide à la reconstruction pour que l'os redevienne autonome et retrouve sa fonction initiale.

COMMENT ÇA MARCHE ?

Si les dispositifs utilisés en traumatologie sont très proches voire identiques à ceux usités dans d'autres

branches de l'orthopédie, leur utilisation et leur mise en place, elles, diffèrent quelque peu. L'implant posé en cas de traumatisme est temporaire et est appelé à être retiré après consolidation. On distingue trois grandes familles de dispositifs médicaux auxquels on a recours en traumatologie : l'enclouage, les plaques et vis et les fixateurs externes. Dans le premier cas, on utilise un clou dit centromédullaire (puisque'il est introduit dans le canal médullaire qui contient les cellules de moelle osseuse) qui fonctionne un peu comme une attelle interne. Il permet de stabiliser la fracture. Il est utilisé pour les os longs comme le fémur ou le tibia. Dans le cas d'une ostéosynthèse par plaque et vis, la fracture est réduite puis une plaque est posée contre l'os cassé avant d'être maintenue par des vis. Enfin, dans le dernier cas, celui de la fixation externe, des fiches de métal sont implantées dans l'os à travers la peau et reliées entre elles à l'extérieur par une barre métallique maintenue par des étaux serrés lors de l'intervention. La fixation externe n'est donc pas un dispositif implantable. >>>



Plaque d'ostéosynthèse à vis pour radius

UNE HISTOIRE D'INNOVATIONS

L'histoire de la traumatologie est indissociable des guerres qui en ont accéléré les progrès. Auparavant, la quantité et le développement moindres du matériel médical entraînaient *de facto* l'immobilisation voire l'amputation. Dès le XIX^e siècle, néanmoins, quelques concepts traumatologiques furent imaginés. Ainsi, l'Allemand Johann Friedrich Dieffenbach songea à des clous en ivoire dès 1830. Mais il fallut attendre la première moitié du XX^e siècle pour constater une évolution probante avec l'apport de Gerhard Küntscher qui dessina le premier clou moderne en 1904 mais qui ne réalisa le premier enclouage sur un fémur humain qu'en 1939. Dès 1922, Henri Judet publia un traité de médecine dans lequel il évoqua pour la première fois des fixateurs externes dans le traitement des fractures. Puis, son disciple Émile Letournel se pencha, lui, sur le traitement des fractures du cotyle et joua, dans ce domaine, un rôle incontournable. En 1938, le Suisse Raoul Hoffmann mit au point des fixateurs externes modulaires et



Plaque traumatologique de poignet



Clou centromédullaire

versatiles : les fiches étaient mises en place dans l'os puis on adaptait les composants externes du fixateur en fonction des fiches définies. Les années cinquante furent quant à elles marquées par l'influence du chirurgien soviétique Gavril Ilizarov qui

mit au point un fixateur totalement différent des instrumentations que l'on pouvait trouver en Europe occidentale : il se composait de plusieurs anneaux circulaires situés autour de la jambe et fixés par des tiges métalliques traversant la jambe de part en part.

1938



Fixateur externe de Raoul Hoffmann.

1939



Enclouage de Gerhard Küntscher.

1951



Fixateur de Gavril Ilizarov.

1975



L'école de Strasbourg met au point l'enclouage verrouillé.

ANNÉES
1980



Invention de l'Embrochage centromédullaire élastique stable (ECMES)® pour les enfants.

85 000

C'est environ le nombre de fractures du fémur recensées chaque année en France. Les fractures de cet os sont les plus nombreuses.

Mais c'est la Suisse qui donna une impulsion décisive au domaine de la traumatologie dans les années soixante avec la fondation de l'Association pour l'ostéosynthèse (AO). Tandis que, jusqu'alors, chaque praticien avait tendance à mettre au point sa propre instrumentation et à la faire fabriquer de son côté, l'Association les regroupa pour formaliser leurs pratiques. Ce fut le réel point de départ de l'innovation en traumatologie. Durant cette décennie, l'AO prôna le recours à l'usage de plaques et vis pour la synthèse des fractures proximales (aux extrémités des os). >>>

1987



Clou verrouillé inversé : le clou gamma.

ANNÉES 2000



Adaptation des dispositifs au vieillissement de la population (plaque et tête de vis solidaires).

ÉCLAIRAGE

« Une approche orthopédique propre à l'enfant »

Dr Claude KARGER, Président de la Société française d'orthopédie pédiatrique (Sofop)

« Là où un chirurgien orthopédiste pour adulte va avoir cinq à six indications opératoires pour dix patients consultés, notre ratio en orthopédie pédiatrique sera de moins de un sur dix ! Nous utilisons peu de dispositifs implantables car la plupart de ceux utilisés pour les adultes sont indiqués pour des mécanismes d'usure comme l'arthrose que l'on ne connaît pas chez l'enfant. Dans la mesure du possible, on essaie de pratiquer une

chirurgie conservatrice. Dans cet état d'esprit, on peut être amené à utiliser des dispositifs, comme des systèmes d'allongement des membres, qui n'ont rien à voir avec les prothèses qui remplacent des articulations. Toutefois, dans le cas de tumeur osseuse, il peut nous arriver d'y recourir. Mais notre spécificité est d'utiliser des prothèses capables d'allongement afin d'accompagner la croissance de l'enfant. »

« L'approche révolutionnaire de l'École nancéenne »

Pr Jean-Michel CLAVERT, Président de la Commission médicale d'établissement (CME) des Hôpitaux universitaires de Strasbourg.

« La révolution de l'imagerie, à la fin des années soixante-dix et au début des années quatre-vingt, a imposé l'ostéosynthèse chez les enfants car les réanimateurs ont demandé aux orthopédistes pédiatres de les stabiliser. On a d'abord mis des plaques et des vis comme chez l'adulte mais on a vite constaté que cela provoquait un allongement des os, ce qui n'était pas acceptable. C'est à l'École nancéenne, conduite par Jean-Paul Métaizeau, que l'on doit le concept qui a révolutionné l'approche traumatologique pédiatrique : l'Embrochage

centromédullaire élastique stable (ECMES). Il s'appuie sur le principe qui veut que non seulement, il n'y a pas tellement de difficulté à obtenir une consolidation osseuse chez l'enfant - la pseudarthrose étant extrêmement rare chez eux - mais que l'os consolide d'autant mieux chez l'enfant quand la fracture bouge de quelques millimètres car le mouvement irrite le périoste et produit de l'os. L'ECMES utilise donc des broches mises à des endroits où elles respectent le périoste[®]. Cela stimule donc la croissance mais pas de façon exagérée. »

>>> L'ÉCOLE STRASBOURGEOISE ET LA SOCIÉTÉ FRANÇAISE D'ORTHOPÉDIE À LA POINTE DE L'INNOVATION

Au milieu des années soixante-dix, c'est vers l'est de la France qu'il fallut se tourner pour voir apparaître une évolution majeure en traumatologie : une équipe de chirurgiens de Strasbourg, conduite par Arsène Grosse et Ivan Kempf et comptant notamment dans ses rangs Gilbert Taglang, développa la notion de verrouillage des clous avec des vis situées en haut et en bas du dispositif. Ce qui avait l'avantage de bloquer les fragments osseux. En les empêchant ainsi de bouger les uns par rapport aux autres, on évitait leur translation et donc des raccourcissements. Puis, dans les années quatre-vingt, cette même école strasbourgeoise mit au point le clou verrouillé inversé, le fameux clou Gamma. Parallèlement, la Société française d'orthopédie développa un concept de plaque anatomique : là où, auparavant, on ne trouvait que des plaques avec une surface plane que le chirurgien devait déformer pour l'adapter à l'os fracturé, un nouvel implant vit le jour dans les années quatre-vingt. Il consistait en une plaque crantée comprenant de multiples petits picots, si bien que le dispositif comprimait moins l'os. Cette technique permit de préserver la vascularisation de l'os et d'en éviter la nécrose. Dans la foulée, la Société française de chirurgie orthopédique et traumatologique (Sofcot) se pencha à son tour sur le cas des fractures des extrémités des os longs : l'os n'étant pas, à cet endroit, longitudinal mais avec des courbures et des angulations, elle eut l'idée de poser des implants préformés, modelés sur

la base d'une anatomie moyenne. Les plaques et les vis standard furent donc remplacées par des implants pré-adaptés synonymes de gain de temps et d'efficacité pour les praticiens. Aujourd'hui encore, tous les implants, hormis ceux pour les os longs et les petits os des mains et des pieds, sont anatomiquement préformés.

LA TRAUMATOLOGIE FACE AU DÉFI DU VIEILLISSEMENT

Depuis le début des années 2000, le fait de rendre solidaires la plaque et la tête de vis constitue le grand progrès dans le domaine de la traumatologie, le but étant que la tête ne puisse plus se dévisser de la plaque. En effet, avec le défi lancé par le vieillissement de la population, il est apparu nécessaire d'imaginer une nouvelle génération d'implants car la qualité de l'os se dégradant malheureusement inexorablement avec l'âge, surtout en raison de l'ostéoporose, l'implant dispose de moins de prise dans l'os. D'où la mise au point de vis solidaires et divergentes permettant d'exercer des contraintes sur tout un segment d'os. Les fixateurs externes ont eux aussi connu une évolution récente avec des fixateurs hybrides permettant de traiter des fractures épiphysaires^⑤, ce qui était jusqu'alors difficile en raison du trop gros diamètre des fiches. Enfin, on trouve également aujourd'hui des fixateurs permettant de traiter certaines déformations congénitales ou des premières fractures mal remises en place. Le patient visse ou dévisse alors lui-même son appareil pour que l'os se reforme de manière linéaire. ■

ÉCLAIRAGE

« La chirurgie assistée par ordinateur, le futur de la traumatologie »

Dr François LOUBIGNAC

Secrétaire du Groupe d'étude en traumatologie ostéo-articulaire (Getraum).

« La chirurgie assistée par ordinateur est, selon moi, l'avenir de notre discipline, particulièrement pour la traumatologie lourde. Cela commence à se développer mais il est impératif de progresser encore dans ce domaine, en particulier en ce qui concerne le rachis et la visée pédiculaire car il y a alors une réelle augmentation des risques dans le cadre d'une pose de vis non assistée par ordinateur. La fréquence de malposition des vis à main levée est de l'ordre de 15 à 20 % quand elle est de moins de 4 % avec la chirurgie assistée ! Une autre avancée, notamment pour les fractures complexes du bassin, est l'utilisation de la 3D : on a ainsi une image réelle, dans les trois plans de l'espace, du foyer de fracture, ce qui permet de limiter les voies d'abord nécessaires à l'ostéosynthèse. »

SUBSTITUTS OSSEUX

Bientôt mieux que l'os lui-même

Tissu humain le plus greffé au monde, l'os est aussi, avec les dents, le plus dur de l'organisme. L'un des grands défis de l'orthopédie a été d'élaborer un dispositif médical capable de préserver la solidité et les fonctions vitales de ce tissu vivant. Et bientôt de faire mieux.

À QUOI ÇA SERT ?

Simplement à remplacer l'os ou des morceaux d'os dont la principale mission est d'assurer une fonction de maintien tout en protégeant certains organes. Or, « *bien que le tissu osseux possède la capacité de se régénérer, le processus de réparation osseuse est tributaire de nombreuses situations cliniques et pathologiques* », explique Guy Daculsi, Directeur de recherche de classe exceptionnelle à l'Inserm et à l'Université de Nantes. En effet, à la suite de traumatismes, de fractures, de tumeurs ou à cause de maladies dégénératives telles que l'ostéoporose, les cellules ne peuvent parfois plus former assez de substance osseuse. Il faut donc recourir à des greffons afin de combler ces lacunes. « *Très souvent, en chirurgie orthopédique et en traumatologie,*



Substituts osseux

logie, on a besoin de faire des greffes pour reconstruire des structures osseuses et en permettre la consolidation », résume le Professeur Passuti, Président de la Sofcot (Société française de chirurgie orthopédique et traumatologique).

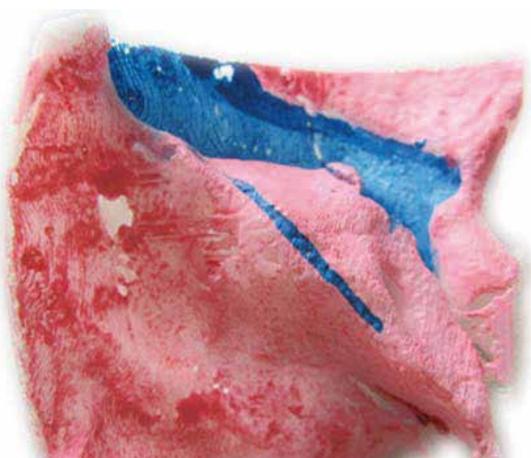
Une option est l'autogreffe : on prélève un fragment d'os du patient - la plupart du temps sur la crête iliaque[®] en raison de la quantité d'os qui y est disponible - que l'on réimplante en lieu et place du déficit. Le donneur étant receveur, il n'y a aucun risque de rejet. L'opération n'est toutefois pas dénuée d'inconvénients liés à la quantité nécessaire et au caractère extrêmement invasif et douloureux du prélèvement. Il est donc nécessaire de chercher des alternatives aux greffes autologues. Les substituts en sont une.

En l'absence de définition officielle, la Société française de recherche orthopédique et traumatologique (Sofrot) propose de les définir ainsi : « *Peut être considéré comme un substitut osseux tout biomatériau d'origine humaine, animale, végétale ou synthétique destiné à l'implantation chez l'homme, dans la perspective d'une reconstitution du stock osseux par le renforcement d'une structure osseuse ou le comblement d'une perte de substance osseuse d'origine traumatique ou orthopédique. Il conviendrait que ce substitut osseux possède une macroporosité pour favoriser la réhabilitation cellulaire et l'ostéoconduction, et qu'il puisse être biodégradable.* »

>>>

COMMENT ÇA MARCHE ?

« Les substituts osseux sont une large famille de produits d'origines extrêmement diverses et se présentent sous de multiples formes », explique Didier Mainard, vice-Président de la Sofrot. L'objectif est donc d'utiliser un substitut capable de faire aussi bien que l'os. « Certes, la famille des céramiques de phosphate de calcium est majoritaire. Mais on trouve aussi le sulfate de calcium ou plâtre de Paris ; la famille des DBM (Matrice osseuse déminéralisée) qui sont un dérivé de l'os et ont la capacité d'en produire en dehors du milieu osseux ; le ciment phosphocalcique que l'on injecte et qui se solidifie ensuite dans la perte de substance osseuse, présentant parfois l'avantage d'une chirurgie percutanée ; le corail issu du squelette des polypes marins ; les hydrogels à base de nanocristaux d'hydroxyapatite qui offrent une grande bioréactivité ; ou encore les éponges et membranes de collagène », poursuit le Professeur Mainard. Et Guy Daculsi de détailler : « Les trois fonctions principales



Os temporal synthétique

de l'os sont les suivantes : mécanique, métabolisme phosphocalcique et moelle osseuse. Si on veut un dispositif médical qui puisse régénérer cela, il faut un matériau qui devienne progressivement de l'os naturel, un matériau intelligent qui s'adapte aux contraintes mécaniques et qui évolue. »



Substitut osseux synthétique en seringue

UNE HISTOIRE D'INNOVATIONS

Les Grecs et les Romains utilisaient déjà du corail pour réparer certains traumatismes, notamment dentaires. Si les premiers documents relatant des transplantations de tissus datent du xv^e siècle, il semble que l'on doive la première autogreffe à l'Italien Gaspare Tagliacozzi qui, à la Renaissance, mit au point une méthode de reconstruction du nez. Visionnaire, il écrivit : « Le caractère singulier de

1668



Première xéno greffe[®] par Job Van Meekeren.

1821



Première autogreffe par Philip Von Walter.

1867



Léopold Ollier soulève le problème de la conservation des greffons dans les cas d'allogreffe.

1920



Première utilisation des phosphates de calcium.

1975



Hideki Aoki utilise pour la première fois des biocéramiques[®] en phosphate de calcium.

1981



M. Jarcho développe les premières utilisations de biocéramique en phosphate de calcium.

50 %

C'est le pourcentage de fractures qui ne cicatrisent pas seules et qui ont besoin d'une reconstruction osseuse chirurgicale, selon l'Inserm. Cela représente 1 million de patients par an en Europe.

l'individu empêche fondamentalement de prélever des tissus d'une personne pour les transplanter sur une autre. » Il soulevait l'une des impasses de la médecine de transplantation : le rejet.

Dès 1668, le Hollandais Job Van Meekeren relata la première xéno greffe consistant à implanter un fragment de crâne canin sur un humain. La légende raconte que le patient, effrayé par la menace d'excommunication qui planait sur lui à la suite de cette intervention, demanda que l'implant lui fût retiré. Il n'en fût rien, celui-ci s'étant « déjà fondu dans la masse » ! Les essais de transplantation, dont

certains furent couronnés de succès, se succédèrent notamment sous la houlette de l'Écossais John Hunter au XVIII^e siècle (illustre pour ses travaux sur les transplantations dentaires), de l'Allemand Philip Von Walter (auteur de la première autogreffe) et du Français Léopold Ollier. « On a recouru à l'allogreffe dès le XIX^e siècle car il est bien entendu que la première chose à laquelle les chirurgiens ont pensé pour remplacer de l'os est... l'os lui-même ! On peut dire que le premier substitut osseux est l'os. Ce sont d'ailleurs les Français qui ont inventé la première banque d'os », rappelle Didier Mainard. Mais la greffe osseuse montra aussi ses limites, notamment en raison du risque sanitaire existant. « Actuellement, les allogreffes massives cryoconservées sont incontournables pour les pertes de substances osseuses structurales. Certaines allogreffes, en particulier les têtes fémorales, font l'objet d'un traitement de sécurisation microbiologique qui évite tout risque de transmission infectieuse, ce qui peut les assimiler à des substituts osseux synthétiques quant à leur facilité d'utilisation. La majorité des

têtes de banque[®] utilisées en France le sont d'ailleurs sous cette forme », conclut le Professeur Mainard.

LES DÉBUTS DE LA BIOCÉRAMIQUE

Il a donc fallu imaginer un dispositif médical capable de « remplacer le prélèvement par quelque chose d'équivalent sinon supérieur. Deux mots qui vont expliquer le développement du dispositif médical entre ce qui a été élaboré au début et ce qui se fait aujourd'hui », explique Guy Daculsi. Ce furent les débuts de la biocéramique : « La France a été pionnière. Les premières applications élaborées par les écoles toulousaines remontent aux années soixante-quinze et quatre-vingt. Ce furent les premiers substituts osseux alors utilisés directement chez l'homme. On avait des matériaux qui, certes, pouvaient satisfaire l'application mais n'avaient de propriétés ni de résorption ni de contrôle de la colonisation ou de bioactivité contrôlée[®]. Puis, vers 1985-1986, nous avons été sensibilisés à l'aspect biomimétique[®] et à ce concept de bioactivité contrôlée. » En 1987, Guy Daculsi, qui en était encore à l'étape des essais précliniques, fut sollicité par le Pr Norbert Passuti. En charge d'une patiente de 12 ans atteinte d'une maladie de Lobstein (connue aussi sous le nom de maladie des os de verre, qui provoque chez le patient de nombreuses fractures du fait de la fragilité des os, N.D.L.R.), ce dernier venait chercher une ultime solution après de multiples opérations. Arrivé au bout des réponses thérapeutiques >>>

1983



Klaas de Groot rédige le premier ouvrage sur les biocéramiques.

1987



Première arthrodèse vertébrale avec substitut osseux à Nantes par le Professeur Norbert Passuti.

ANNÉES 2000-2020



Projet européen REBORNE sur l'utilisation de biomatériaux et de supports synthétiques sur lesquels sont cultivées des cellules souches.

>>> classiques, il était prêt à tenter un essai clinique avec sa jeune patiente. Utiliser le substitut osseux ne permettrait pas à la jeune patiente de recouvrer une vie totalement normale car elle devrait vivre en fauteuil roulant « *mais elle pourra aller à l'école et avoir une vie sociale. Si, en revanche, on ne fait rien, son seul horizon jusqu'à la fin de sa vie, c'est le plafond de sa chambre. On en fait une grabataire, a argumenté le Professeur Passuti pour me convaincre* », se souvient Guy Daculsi. C'est ainsi que la première greffe de substitut osseux couronnée de succès fut réalisée au CHU de Nantes, bientôt suivie de nombreuses autres.

Progressivement, le procédé a fait des adeptes : « *Cela a mis du temps car il a fallu persuader les chirurgiens et changer les habitudes. Il y a toujours une peur de l'inconnu et du risque* », tempère Guy Daculsi. « *Les substituts osseux ont été longs à convaincre et, aujourd'hui, des orthopédistes raisonnent encore principalement par allogreffes ou autogreffes. Mais à force d'enseignement, de pédagogie et de force de conviction, ils ont fini par faire partie de la panoplie thérapeutique des chirurgiens orthopédistes dans les cas de perte de substance* », renchérit Didier Mainard.

ALLIANCE DES DM ET DES CELLULES SOUCHES

Toutefois, Guy Daculsi appelle à la prudence : « *Il ne faut pas prêter aux substituts osseux des capacités qu'ils n'ont pas encore et il reste à améliorer leurs propriétés mécaniques. On peut tout faire à*

condition d'y associer une technologie chirurgicale et une ostéosynthèse adaptées et optimisées. D'où l'intérêt de combiner deux dispositifs médicaux : une ostéosynthèse résorbable ou non et le substitut osseux qui devient de l'os naturel. Dès lors, là où nous faisons équivalent, il est possible d'imaginer mieux. »

C'est le dessein du projet européen Reborne qui s'inscrit dans le programme Coopération du 7^e PCRD (Programme-cadre de recherche et développement) Santé (2010-2014). « *Le projet Reborne vise à trouver une alternative aux greffes biologiques au travers de l'utilisation de biomatériaux et de supports synthétiques sur lesquels sont cultivées des cellules souches capables d'opérer une cicatrisation tissulaire (...). C'est un projet de recherche clinique : il s'agit, in fine, d'implanter, au niveau d'une fracture, des cellules souches associées à des granulés en céramique de phosphate de calcium. Servant ainsi d'échafaudage, le biomatériau doit favoriser la prolifération des cellules souches qui régénéreront le tissu osseux une fois qu'elles se seront différenciées en cellules osseuses* », explique Pierre Layrolle, Directeur de recherche à l'Inserm et coordinateur du projet sur le site de Reborne.

Ces recherches sur les cellules mésenchymateuses^⑥ - présentes dans le tissu embryonnaire produisant diverses cellules des tissus du squelette dont le cartilage et les os mais aussi de la graisse - permettent « *autant de traiter l'ostéonécrose de la*

À SAVOIR

LÉOPOLD OLLIER, LE PRÉCURSEUR

Le Français Léopold Ollier (1830-1900) s'autoproclama « *chirurgien ostéo-articulaire ou pratiquant la chirurgie réparatrice* ». Alors que l'orthopédie était encore l'apanage des « *bandagistes, fabricants de corsets* » et autres rééducateurs, il s'employa à démontrer le rôle du périoste et de la couche périostée dans la reconstruction tissulaire. Pionnier des résections osseuses, on lui doit de nombreux ouvrages dont un mémoire intitulé « *Recherches expérimentales sur la production artificielle de l'os au moyen de la transplantation du périoste et des greffes osseuses* » (1859).

tête fémorale que d'intervenir sur la fente palatine de l'enfant (communément nommé « bec de lièvre », N.D.L.R.) ou encore d'agir sur la croissance osseuse avant la pose d'implants dentaires », précise Pierre Layrolle. D'autres pistes intéressantes sont à considérer, comme le souligne Didier Mainard : « *Il y a beaucoup à faire dans la recherche dans ce domaine, notamment le fait d'associer une molécule active, par exemple comme facteur de croissance, au substitut osseux. C'est le cas des BMP (Bone morphogenetic protein) qui existent déjà et qui ne comblent pas une perte mais aident à la consolidation.* » ■

GLOSSAIRE

Acétabulaire

Qui se rapporte à la cavité cotyloïde de l'os iliaque dans la hanche.

Asepsie

Désigne l'absence de micro-organismes dans un organisme ou un environnement ainsi que les méthodes permettant d'y parvenir.

Ancillaire

Instrument chirurgical qui permet la pose d'un implant.

Bioactivité contrôlée

Lors de l'implantation d'une biocéramique, un processus chimique intervenant à sa surface favorise l'adhésion cellulaire et la repousse du tissu osseux. Le concept de bioactivité contrôlée fait référence à cette propriété directement liée à la composition chimique de la biocéramique.

Biocéramiques

Catégorie de biomatériaux non organiques et non métalliques très solides, utilisés pour la substitution osseuse et dans la fabrication de prothèses ou d'implants. On distingue les céramiques inertes, conçues pour ne pas interagir avec l'environnement biologique et ne pas susciter de rejet de l'organisme, et les céramiques bioactives ou biocéramiques qui favorisent l'intégration du matériau à l'os.

Biomatériau

Substance destinée à être en contact avec des tissus vivants et utilisée entre autres pour fabriquer des prothèses et des revêtements prothétiques. Il en existe quatre grandes catégories : les métalliques, les céramiques, les polymères de synthèse (plastiques) et les biomatériaux d'origine naturelle (caoutchouc, cellulose...).

Biomimétique

Se dit d'un matériau conçu en s'inspirant de la structure et des mécanismes à l'œuvre dans le monde vivant. L'approche biomimétique définit un domaine de recherche à la jonction entre biotechnologies et science des matériaux. Elle suppose de comprendre et de décortiquer les processus de formation ainsi que les règles et les modes de construction des objets biologiques.

Came

Pièce dont le dessin est déterminé pour transformer un mouvement circulaire en un mouvement de translation.

Carcinogénèse

Processus de transformation progressive et de prolifération des cellules et d'induction de cancer par le biais de substances chimiques, radiations ou virus oncogènes. Synonyme : cancérogénèse.

>>>

>>> Cellules mésenchymateuses

Issues du mésenchyme, forme jeune du tissu conjonctif. Il s'agit de cellules souches, encore indifférenciées, présentes notamment dans la moelle osseuse. Elles sont capables, selon l'environnement auxquelles elles sont soumises, de produire plusieurs types de cellule appartenant aux tissus squelettiques tels que le cartilage, les os et la graisse.

Cinésiologie

Étude des mouvements d'un point de vue physiologique.

Condyle

Surface articulaire convexe en tous sens, d'aspect allongé.

Cotyle

Cavité articulaire de l'os iliaque située de chaque côté du bassin où se loge la tête du fémur pour constituer l'articulation de la hanche. Synonymes : cavité cotyloïde, acétabulum.

Crête iliaque

Bord supérieur du bassin où est prélevée la moelle épinière.

Cupule

Structure métallique ou en céramique en forme de coupe ou de dôme constituant la partie supérieure d'une prothèse totale de hanche.

Décoaptation

Manipulation qui fait sortir de leur position normale les éléments qui composent une articulation, puis les laisse revenir en contact.

Diaphyse

Partie médiane d'un os long située entre les épiphyses et séparées de celles-ci par les métaphyses.

Embrochage centromédullaire élastique stable (ECMES)

Technique d'ostéosynthèse adaptée aux fractures diaphysaires de l'enfant et de l'adolescent. La technique chirurgicale utilise deux broches en acier ou en titane disposées en double arc qui se croisent à l'intérieur de l'os de façon à assurer une stabilité de la remise en place obtenue.

Épiphytaire

Qui se rapporte à l'épiphyse de l'os, c'est-à-dire l'extrémité des os longs comme le fémur, le tibia ou encore l'humérus.

Fluorocinétique

Étude de la marche sous amplificateur de brillance.

Géode

Cavité osseuse pathologique se traduisant radiologiquement par une lacune aux contours bien définis.

Glène

Surface articulaire de l'omoplate avec la tête humérale.

Macrostructure poreuse

Ensemble des structures essentielles d'un organisme présentant des points de contact permettant des échanges.

Métaphysaire

Qui se rapporte à la métaphyse de l'os, située entre l'épiphyse et la diaphyse et porteuse du cartilage de conjugaison, très important pendant la croissance de l'os.

Offset Médial

Latéralisation, excentration vers l'intérieur.

Omarthrose

Arthrose de l'articulation gléno-humérale (épaule) : elle correspond à une usure du cartilage entre la tête humérale et l'omoplate.

Ostéolyse

Destruction ou résorption progressive d'une ou plusieurs pièces osseuses.

Ostéophyte

Excroissance osseuse développée sur le pourtour d'une surface articulaire dont le cartilage est altéré par l'arthrose.

Ostéosynthèse

Réparation d'un foyer de fracture à l'aide de clous, boulons, vis, fils ou plaques métalliques que l'on abandonne au milieu des tissus ou que l'on retire au bout d'un certain temps. Le terme désigne également l'opération destinée à provoquer l'ankylose (impossibilité absolue de mouvement) d'une articulation.

Pédicule

Partie rétrécie et allongée de la vertèbre servant d'attache sur la colonne vertébrale.

Périoste/couche périostée

Membrane fibreuse recouvrant l'os, à l'exception des surfaces articulaires, richement vascularisée. Elle joue un rôle fondamental dans la nutrition, dans la croissance en longueur et en circonférence de l'os et, le cas échéant, dans la réparation osseuse.

Phosphocalcique

Relatif au calcium et au phosphate dans l'organisme.

Polyéthylène réticulé

Matériau de la famille des polymères de synthèse ayant subi une réticulation (formation de réseaux tridimensionnels) dans le but d'améliorer ses propriétés physico-chimiques, notamment la résistance à l'usure des prothèses articulaires.

Structure composite

Structure formée de plusieurs constituants pour obtenir des propriétés mécaniques particulières.

Tête de banque

Expression désignant ici une tête d'os fémoral conservée dans une banque d'os et destinée à une greffe.

Trochlée fémorale

Structure osseuse en forme de poulie située sur la face inférieure du fémur au niveau de l'articulation avec la rotule.

Vitallium

Alliage de chrome, de cobalt et de molybdène.

Xénogreffe

Greffe dans laquelle le greffon (organe ou tissu) provient d'une espèce animale différente, par exemple le chien ou plus fréquemment le porc. Synonyme : hétérogreffe.

SOURCES

Principales sources ayant contribué à nourrir les textes de ce document

OUVRAGES

- « *L'instrumentation Cotrel-Dubousset. Historique, développement et évolution* », Philippe Bancel.
- « *Les premières prothèses articulaires de la hanche chez l'homme, 1890 – 1960* », par Louis-Paul Fischer, Wilfrid Planchamp, Bénédicte Fischer, Frédéric Chauvin.
- « *Dictionnaire de sciences médicales* », éd. Panckoucke, 1820.
- « *Encyclopédie médicale Quillet* ».

ARTICLES

- *Gazette de la Société française d'orthopédie pédiatrique*, n°18 (juin-juillet 2006).
- « *Prothèses d'épaule* », sous la direction de Michel Mansat, Expansion scientifique publications, *Cahiers d'enseignement de la Sofcot*, collection dirigée par J. Duparc.
- « *Médecine régénérative : lancement d'un essai clinique pour traiter les fractures non consolidées* », <http://presse-inserm.fr>
- « *Chercheurs européens* », n°7 (numéro spécial) octobre 2013.
- « *Réparer l'os : bio-ingénierie de l'os* », dossier réalisé en collaboration avec Hervé Petite, Laboratoire de bioingénierie et biomécanique ostéo-articulaire (Inserm/Université Paris-Diderot) et Laurent Sedel, Laboratoire de recherches orthopédiques, CNRS/Université Paris-Diderot (www.inserm.fr).

SITES INTERNET

- Site officiel de la Sofcot : www.sofcot.fr
- *Maîtrise orthopédique*, le journal orthopédique sur le web : www.maîtrise-orthop.com
- Site officiel de la société française de chirurgie rachidienne : www.sfcr.fr
- Bibliothèque interuniversitaire santé : www.bium.univ-paris5.fr (Histoire des sciences médicales)
- « *e-mémoires* » de l'Académie nationale de chirurgie : www.academie-chirurgie.fr
- Campus de neurochirurgie : campus.neurochirurgie.fr
- www.le-rachis.com (notamment tome 5, n°2, mars-avril 2009).
- Site officiel de l'Institut du rachis : www.institutdurachis.com
- Site officiel de la Fondation Yves Cotrel : www.fondationcotrel.org
- Office fédéral de la santé publique (OFSP) : <http://www.bag.admin.ch>
- Projet Reborne : www.reborne.org

RECOMMANDATIONS ET BONNES PRATIQUES

- Rapports d'évaluation de la Haute autorité de santé (HAS) : service d'évaluation des dispositifs et service d'évaluation des technologies de santé.
- Avis de la Commission d'évaluation des produits et prestations, ANSM, Unité des dispositifs médicaux.

LES PRINCIPALES SOCIÉTÉS SAVANTES EN ORTHOPÉDIE

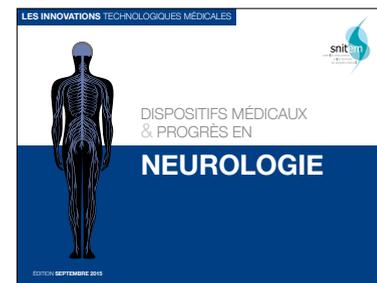
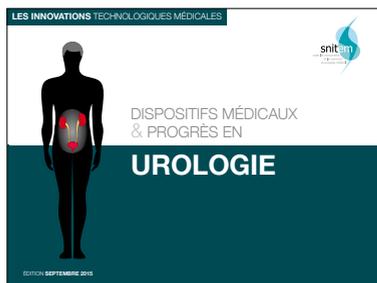
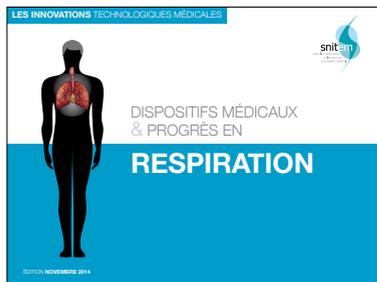
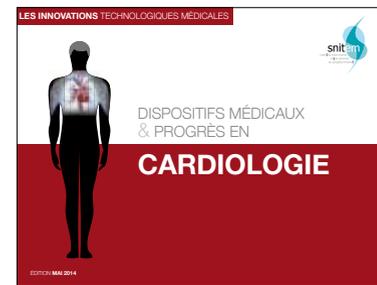
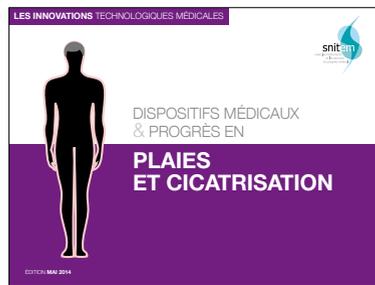
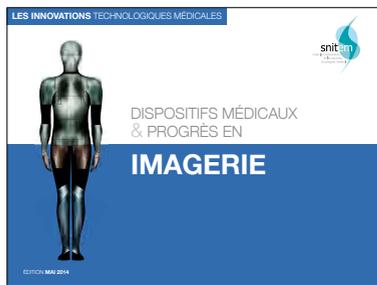
- Société française de chirurgie orthopédique et traumatologique (Sofcot).
- Société française de la hanche et du genou (SFHG).
- Société française de l'épaule et du coude (Sofec).
- Groupe d'étude en traumatologie ostéoarticulaire (Getraum).
- Société française d'orthopédie pédiatrique (Sofop).
- Société française de la chirurgie rachidienne (SFCR).
- Société européenne du rachis.
- Académie d'orthopédie et de traumatologie (AOT).
- Fondation pour l'innovation en chirurgie orthopédique et traumatologique (Ficot).
- Association Orthorisq.
- American academy of orthopaedic surgeons (AAOS).
- Computer assisted orthopedic surgery (CAOS).
- Groupe sarcome français - Groupe d'étude des tumeurs osseuses (GSF – Geto).
- Société française de recherche en chirurgie orthopédique (Sofrot).

REMERCIEMENTS

La réalisation de ce document a été rendue possible grâce à la disponibilité et aux apports de nombreux acteurs. Qu'ils en soient tous ici remerciés, en particulier, par ordre alphabétique : **Loïc Aden**, Stryker France • **Professeur Jean-Michel Clavert**, Directeur du service d'orthopédie pédiatrique du CHU de Strasbourg, Président de la Commission médicale d'établissement des Hôpitaux universitaires de Strasbourg et du Conseil national des universités de chirurgie pédiatrique • **Claire Daculsi**, Biomatlante • **Guy Daculsi**, Directeur de recherche Inserm de classe exceptionnelle (DRE) à l'Université de Nantes • **Hubert Delance**, Zimmer France • **Professeur Jean Dubousset**, chirurgien orthopédiste, membre de l'Académie de médecine • **Professeur Jean-Alain Epinette**, Président de la Société française de la hanche et du genou (SFHG) • **Chantal Gobin**, Biomatlante • **Docteur Claude Karger**, Président de la Société française d'orthopédie pédiatrique (Sofop) • **Professeur Rémi Kohler**, Président 2014 de l'AOT • **Ana Lazaro**, DePuy Synthes J&J • **Professeur Jean-Charles Le Huec**, Chef du service orthopédie au CHU de Bordeaux, vice-Président de la Société européenne du rachis, Trésorier de la Société française de chirurgie rachidienne (SFCR) • **Docteur François Loubignac**, secrétaire du Groupe d'étude en traumatologie ostéo-articulaire (Getraum) • **Professeur Didier Mainard**, vice-Président de la Société française de recherche en chirurgie orthopédique (Sofrot) • **Docteur Cécile Nérot**, chirurgien orthopédiste, Présidente de la Société française de l'épaule et du coude (SPFEC) • **Professeur Laurent Obert**, responsable du service de chirurgie orthopédique et traumatologique au CHU de Besançon • **Professeur Norbert Passuti**, Président de la Sofcot • **Marie-Eve Pence**, Stryker France.

Dans la même collection

Documents téléchargeables sur le site du Snitem www.snitem.fr



Donnez nous votre avis sur ce document sur le site www.snitem.fr



Quand l'épopée de l'innovation des dispositifs médicaux se confond avec l'extraordinaire histoire de l'orthopédie.

SNITEM

92038 Paris - La Défense cedex

Tél. : 01 47 17 63 88

Fax : 01 47 17 63 89

www.snitem.fr

info@snitem.fr

 [@snitem](https://twitter.com/snitem)